



## Экономический и Социальный Совет

Distr.: General  
23 January 2015  
Russian  
Original: English

### Европейская экономическая комиссия

Исполнительный орган по Конвенции  
о трансграничном загрязнении воздуха  
на большие расстояния

#### **Руководящий документ по методам ограничения выбросов серы, оксидов азота, летучих органических соединений и дисперсного вещества (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и черный углерод) из стационарных источников\***

##### *Резюме*

На своей тридцать первой сессии (Женева, 11–13 декабря 2012 года) Исполнительный орган по Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния принял решение 2012/8 о принятии руководящего документа по методам ограничения выбросов серы, оксидов азота, летучих органических соединений и дисперсного вещества (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и черный углерод) из стационарных источников (см. ECE/EB.AIR/113/Add.1).

Принятый руководящий документ содержится в настоящем документе.

\* Настоящий документ издается без официального редактирования.



## Перечень сокращений и акронимов

УВ-НИМ	уровни выбросов при применении НИМ
ВАУ	впрыскивание активированного угля
Нм <sup>3</sup>	нормальный кубический метр
СПВ	ступенчатая подача воздуха
КШП	кольцевая шахтная печь
НИМ	наилучшие имеющиеся методы
НСС	нестехиометрическое сжигание
ЧУ	черный углерод
ДП	доменная печь
КК	кислородный конвертер
УДС	упрощенное двухступенчатое сжигание
БУ	бурый углерод
БРЭФ	справочник по наилучшим доступным технологиям
БТЭК	бензол, толуол, этилбензол и ксилол (диметилбензол)
°C	градус Цельсия
Уэк	углеродный эквивалент
СаО	оксид кальция (негашеная известь)
СаСО <sub>3</sub>	карбонат кальция
Са(ОН) <sub>2</sub>	гидроксид кальция
СЗ+	ион углерода
ПГТ	парогазовая турбина
УХУ	улавливание и хранение углерода
СТК	сухое тушение кокса
СЦКС	сжигание в циркулирующем кипящем слое
АЦПОС	абсорбер с циркулирующим псевдоожиженным слоем
КГП	компактный гибридный пылеуловитель
КГ	коксовый газ
КГЗ <sup>TM</sup>	компактный гибридный золоуловитель
КОНКАВЕ	Европейская организация нефтяных компаний по вопросам окружающей среды, здоровья и безопасности при переработке и сбыте
Со	кобальт
СО	моноксид углерода
СО <sub>2</sub>	диоксид углерода
КОС	конденсирующееся органическое соединение
ЕФСП	Постоянный комитет Европейской федерации стекольной промышленности
Cr	хром
Cu	медь
ДТ	двухкомпонентное топливо

МТГ	сухие малотоксичные (с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> ) горелки
СФД	сажевый фильтр дизельного двигателя
ЖПВ	железо прямого восстановления
евро/кВт	евро на киловатт
евро/кВт·ч	евро на кВт·час
евро/т	евро на тонну
ЭДП	электродуговая печь
ЕЭК	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
ЭЭП	энергоэффективное проектирование
РВГ	рециркуляция выхлопных газов
ПЗВ	предельное значение выбросов
ЕМЕП	Совместная программа наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе
АООС	Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов Америки
ЭФ	электрофильтр
СКС	сжигание в кипящем слое
ФКК	флюид-каталитический крекинг
Fe	железо
ТФ	тканевый фильтр
ДДГ	десульфуризация дымовых газов
РДГ	рециркуляция дымовых газов
ТСС	трехступенчатое сжигание
СПТ	ступенчатая подача топлива
ГД	газовый дизель
ПГ	парниковые газы
ГДж	гигаджоуль
АГВ	абсорбер газовзвесей
НСI	соляная кислота
H <sub>2</sub> S	сероводород
ПФТО	пылевой фильтр тонкой очистки
HF	фтористый водород
ТНТ	тяжелое нефтяное топливо
H <sub>2</sub>	водород
Hg	ртуть
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	серная кислота
МФК	Международная финансовая корпорация
ИВЦГ	интегрированная внутрицикловая газификация
КПКЗ	комплексное предупреждение и контроль загрязнений
ИПТИ	Институт перспективных технологических исследований
К	кельвин

кПа	килопаскаль
кВ	киловольт
кВт <sub>эл</sub>	электрический киловатт
ПОУУ	программа обнаружения и устранения утечек
СНИВ	сжигание с низким избытком воздуха
ЛНТ	легкое нефтяное топливо
ЖДУ	жидкий диоксид углерода
ГМВИ	горелка с многоступенчатым вводом известняка
МТГ	малотоксичные горелки (горелки с низкими уровнями выбросов NO <sub>x</sub> )
СНГ	сжиженный нефтяной газ
ДВП	длинная вращающаяся печь
мг/л	миллиграмм на литр
мг/м <sup>3</sup>	миллиграмм на кубический метр
мг/Нм <sup>3</sup>	миллиграмм на нормальный кубический метр
мг/т	миллиграмм на тонну
МДМ	максимальная длительная мощность
ШПКД	шахтная печь с комбинированным дутьем
Мг	мегаграмм, метрическая тонна
Ni	никель
Mn	марганец
Mo	молибден
КБТО	коммунально-бытовые твердые отходы
МВт	мегаватт
МВт <sub>тепл</sub>	тепловой мегаватт
МВт <sub>эл</sub>	электрический мегаватт
мг/Нм <sup>3</sup>	микрограмм на нормальный кубический метр
мкм	микрометр
N <sub>2</sub>	азот
NaHCO <sub>3</sub>	бикарбонат натрия
NO <sub>x</sub>	оксид азота
ЦМ	цветной металл
НМЛОС	летучие органические соединения неметанового ряда
O <sub>2</sub>	кислород
ОС	органический углерод
ВВ	вторичный воздух
ПШП	прочая шахтная печь
ПАУ	полициклический ароматический углеводород
ПХДД/Ф	полихлорированные дибензодиоксины и полихлорированные дибензофураны
ПХДФ	полихлорированные дибензофураны

СКСД	сжигание в кипящем слое под давлением
ППРП	параллельно-поточная регенеративная печь
PM	дисперсное вещество
PM <sub>2,5</sub>	дисперсное вещество (2,5 мкм)
PM <sub>10</sub>	дисперсное вещество (10 мкм)
ppm	частей на миллион
ppmv	частей на миллион по объему
ВППП	вращающаяся печь с предварительным подогревателем
RAINS	Информационно-имитационная модель регионального загрязнения воздуха
СПВ	сниженный подогрев воздуха
СКВ	селективное каталитическое восстановление
ИЗ	(газовые двигатели) с искровым зажиганием
СНКВ	селективное некаталитическое восстановление
ДССС	добавки, снижающие содержание серы
УРС	установка регенерации серы
SO <sub>2</sub>	диоксид серы
TA-LUFT	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Технические инструкции по контролю качества атмосферного воздуха)
ТКК	термокаталитический крекинг
ООУ	общий органический углерод
ОВЧ	общее содержание взвешенных частиц
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
ЛОС	летучее органическое соединение
ВМО	Всемирная метеорологическая организация

## Содержание

	<i>Пункты</i>	<i>Стр.</i>
I. Введение . . . . .	1–14	15
II. Общие вопросы, касающиеся всех загрязнителей, рассматриваемых в настоящем докладе . . . . .	15–20	21
A. Мониторинг и представление данных . . . . .	15–17	21
B. Энергосбережение, энергоэффективность, структура энергоносителей . . . . .	18–20	21
III. Общие вопросы, касающиеся серы . . . . .	21–47	22
A. Общие вопросы . . . . .	21–23	22
B. Содержание серы в топливах . . . . .	24–26	23
C. Переход на другие виды топлива . . . . .	27	23
D. Очистка топлива . . . . .	28	23
E. Технологии сжигания . . . . .	29–32	24
F. Вторичные меры – процессы десульфуризации дымовых газов . . . . .	33–42	25
G. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов SO <sub>2</sub> . . . . .	43–44	27
H. Побочные продукты и последствия . . . . .	45–47	27
IV. Общие вопросы, касающиеся NO <sub>x</sub> . . . . .	48–76	28
A. Общие вопросы . . . . .	48–51	28
B. Переход на другие виды топлива . . . . .	52	29
C. Очистка топлива . . . . .	53	29
D. Первичные меры . . . . .	54–63	29
E. Вторичные меры . . . . .	64–69	32
F. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов NO <sub>x</sub> . . . . .	70–73	35
G. Побочные последствия . . . . .	74–76	36
V. Общие вопросы, касающиеся ЛОС . . . . .	77–116	37
A. Общие вопросы . . . . .	77–90	37
B. Знания о выбросах и план регулирования использования растворителей . . . . .	91–98	40
C. Общие подходы к сокращению выбросов ЛОС . . . . .	99–113	41
D. Затраты . . . . .	114–115	47
E. Побочные последствия . . . . .	116	47
VI. Общие вопросы, касающиеся пыли (включая PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> и ЧУ) . . . . .	117–158	49
A. Общие вопросы . . . . .	117–132	49
B. Переход на другие виды топлива . . . . .	133–138	55
C. Очистка топлива . . . . .	139–142	56
D. Первичные меры . . . . .	143–145	56

E.	Вторичные меры . . . . .	146–151	57
F.	Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов пыли . . . . .	152–155	64
G.	Побочные последствия . . . . .	156–158	65
VII.	Имеющиеся технологии для различных видов деятельности . . . . .	159–1119	68
A.	Установки для сжигания мощностью <1 МВт, включая бытовые установки для сжигания . . . . .	159–236	68
B.	Установки для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт . . . . .	237–245	79
C.	Установки для сжигания мощностью более 50 МВт . . . . .	246–293	83
D.	Выбросы SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и пыли (включая PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> и черный углерод) на нефтеперерабатывающих заводах топливно-масляного профиля и на газоперерабатывающих заводах . . . . .	294–324	100
E.	Выбросы ЛОС на нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводах . . . . .	325–343	108
F.	Коксовые печи . . . . .	344–359	114
G.	Производство чугуна и стали . . . . .	360–402	117
H.	Обработка черных металлов, включая чугунолитейные цеха . . . . .	403–424	127
I.	Производство цветных металлов . . . . .	425–483	135
J.	Производство цемента . . . . .	484–519	145
K.	Производство извести . . . . .	520–547	152
L.	Производство стекла . . . . .	548–584	158
M.	Производство искусственных волокон . . . . .	585–613	170
N.	Керамика . . . . .	614–635	178
O.	Производство целлюлозы . . . . .	636–689	186
P.	Производство азотной кислоты . . . . .	690–705	193
Q.	Производство серной кислоты . . . . .	706–726	196
R.	Сжигание муниципальных, медицинских и опасных отходов . . . . .	727–761	200
S.	Деревообрабатывающая промышленность . . . . .	762–783	207
T.	Распределение бензина (от станции раздачи (бензин) нефтеперерабатывающего завода до автозаправочных станций, включая транспорт и хранилища (бензин)) . . . . .	784–806	210
U.	Хранение органических соединений и обращение с ними (за исключением бензина, вопрос о котором рассматривался в разделах E и T главы VII) . . . . .	807–836	217
V.	Производство органических химикатов (за исключением производства продукции тонкого органического синтеза, раздел W главы VII) . . . . .	837–853	222
W.	Промышленность тонкого органического синтеза . . . . .	854–869	227
X.	Нанесение клейких покрытий (включая производство обуви) . . . . .	870–878	232

Y.	Процессы нанесения покрытий 1: нанесение покрытий на легковые автомобили, кабины грузовых автомобилей, грузовые автомобили и автобусы. ....	879–890	234
Z.	Процессы нанесения покрытий 2: нанесение изоляционных покрытий на провода. ....	891–898	237
AA.	Процессы нанесения покрытий 3: нанесение покрытий на рулонную продукцию. ....	899–906	238
BB.	Процессы нанесения покрытий 4: металлические, деревянные, пластмассовые и другие поверхности (ткань, кожа, бумага и т.д.) . . . .	907–922	240
CC.	Содержание растворителей в продукции 1: декоративные покрытия. ....	923–931	244
DD.	Изготовление покрытий, лаков, красителей и клеящих веществ. ....	932–939	246
EE.	Процессы печати. ....	940–962	249
FF.	Производство резиновых изделий. ....	963–971	255
GG.	Сухая химическая чистка. ....	972–982	257
HH.	Очистка поверхностей. ....	983–999	260
II.	Экстракция растительного масла и животного жира и рафинация растительного масла. ....	1000–1020	266
JJ.	Нанесение новых покрытий на поверхность транспортных средств. . .	1021–1027	270
KK.	Пропитка древесины. ....	1028–1038	271
LL.	Содержание растворителя в продукции 2: бытовое использование растворителя (кроме красок). ....	1039–1045	274
MM.	Пивоварение. ....	1046–1059	276
NN.	Производство диоксида титана. ....	1060–1082	279
OO.	Новые стационарные двигатели. ....	1083–1119	284

## Таблицы

1.	Стационарные источники выбросов серы, NO <sub>x</sub> , ЛОС, пыли (включая PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> и ЧУ), рассматриваемые в настоящем руководящем документе. ....	18
2.	Типичные предельные значения, применяемые в ЕС к жидким топливам. ....	23
3.	Общее описание и характеристики отдельных процессов десульфуризации дымовых газов. ....	26
4.	Положительные и отрицательные побочные последствия отдельных процессов десульфуризации дымовых газов. ....	28
5.	Средняя эффективность сокращения выбросов NO <sub>x</sub> в результате применения отдельных первичных и вторичных мер на котлах крупных топливосжигающих установок. ....	34
6.	Общий обзор наиболее значимых параметров, определяющих принятие вторичных мер. ....	46



7.	Положительные и отрицательные побочные последствия методов ограничения выбросов ЛОС . . . . .	48
8.	Доли $PM_{2,5}$ и $PM_{10}$ в ОВЧ, используемые в модели RAINS (2002) . . . . .	51
9.	Эффективность удаления пыли при применении технологий сокращения выбросов пыли различного дисперсного состава в котельных установках . . . . .	62
10.	Достижимые уровни выбросов $NO_x$ при эксплуатации отдельных газовых огнетехнических установок. . . . .	74
11.	Достижимые уровни выбросов пыли от огнетехнических устройств, работающих на биомассе, мощностью $<1$ МВт. . . . .	76
12.	Удельные капитальные затраты на кВт тепловой мощности дровяных отопительных систем и пылеочистного оборудования. . . . .	78
13.	Источники выбросов и уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов $SO_2$ (твердое и жидкое топливо) и соответствующий предельный уровень выбросов (газообразное топливо) на установках для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт <sub>тепл</sub> . . . . .	80
14.	Источники выбросов и предельные уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов $NO_x$ на установках для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт <sub>тепл</sub> . . . . .	81
15.	Источники выбросов и уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов пыли на котельных установках мощностью от 1 до 50 МВт <sub>тепл</sub> . . . . .	82
16.	Источники выбросов и уровни выбросов $SO_x$ при применении отдельных НИМ по ограничению выбросов на топливосжигающих установках (ПМ означает первичные меры) . . . . .	86
17.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов $NO_x$ с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на установках для сжигания (сокращение ПМ означает первичные меры) . . . . .	91
18.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием достижимых уровней выбросов при их применении на установках для сжигания (сокращение ПМ означает первичные меры) . . . . .	96
19.	Ориентировочные затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами $NO_x$ , образующимися на котельных установках (в евро 1999 года, Агентство по окружающей среде). . . . .	98
20.	Ориентировочные затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами $SO_2$ на котельных установках (в евро 2001 года, ЕАОС) . . . . .	99
21.	Ориентировочные затраты на внедрение технологии борьбы с выбросами пыли на котельных установках (в евро 1999 года, Агентство по окружающей среде). . . . .	99
22.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов $SO_x$ с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах . . . . .	103
23.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов $NO_x$ с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах . . . . .	105

24.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах . . . . .	106
25.	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ сокращения выбросов в процессе хранения . . . . .	112
26.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС при операциях налива и слива . . . . .	113
27.	Содержание $H_2S$ в коксовом газе при применении НИМ сокращения $H_2S$ . . . . .	115
28.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения уровней выбросов $NO_x$ в коксовых печах . . . . .	116
29.	Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием уровней выбросов при их применении в коксовых печах . . . . .	116
30.	Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ в производстве чугуна и стали. . . . .	120
31.	Уровни выбросов $NO_x$ при применении НИМ в производстве чугуна и стали. . . . .	121
32.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ в производстве чугуна и стали. . . . .	123
33.	Примеры капитальных затрат и эксплуатационных расходов на варианты ограничения выбросов $NO_x$ . . . . .	126
34.	Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ в черной металлургии . . . . .	129
35.	Уровни выбросов $NO_x$ при применении НИМ в черной металлургии . . . . .	130
36.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ в черной металлургии . . . . .	132
37.	Выбросы ЛОС при применении НИМ в обработке черных металлов . . . . .	133
38.	Информация о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов $NO_x$ для печей мощностью 50 МВт . . . . .	134
39.	Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности . . . . .	136
40.	Уровни выбросов $NO_x$ при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности . . . . .	137
41.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности . . . . .	138
42.	Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ сокращения выбросов в медеплавильной промышленности . . . . .	140
43.	Уровни выбросов $NO_x$ при применении НИМ в медеплавильной промышленности. . . . .	140
44.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в медеплавильной промышленности . . . . .	141
45.	Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ сокращения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности. . . . .	143
46.	Уровни выбросов $NO_x$ при применении НИМ для сокращения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности . . . . .	144

47.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения ее выбросов в свинцовой и цинковой промышленности. ....	144
48.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности. ....	147
49.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности. ....	149
50.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности. ....	150
51.	Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами NO <sub>x</sub> в цементной промышленности. ....	151
52.	Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами SO <sub>2</sub> в цементной промышленности. ....	151
53.	Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами пыли в цементной промышленности. ....	151
54.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности. ....	153
55.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности. ....	155
56.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности. ....	156
57.	Затраты на внедрение технологий борьбы с пылью в известковой промышленности. ....	157
58.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ в стеклоплавильных печах. ....	161
59.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ в стеклоплавильных печах. ....	163
60.	Уровни выбросов при использовании НИМ в стеклоплавильных печах. ....	165
61.	Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов. ....	166
62.	Эффективность очистки различных технологий сокращения NO <sub>x</sub> при производстве стекла. ....	167
63.	Удельные затраты на различные сочетания фильтров (пыль) и скрубберов (SO <sub>x</sub> ) в стеклоплавильных печах. ....	167
64.	Удельные затраты на различные методы сокращения выбросов NO <sub>x</sub> в стеклоплавильных печах. ....	168
65.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ в печах для производства волокон. ....	172
66.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ в печах для производства волокон. ....	173
67.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ в печах для производства искусственных волокон. ....	175
68.	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в производстве волокон. ....	176
69.	Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов (только для производства волокон). ....	177

70.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ в производстве керамических изделий . . . . .	179
71.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ для сокращения выбросов дымовых газов в печах керамического производства . . . . .	180
72.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ в производстве керамики . . . . .	181
73.	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в производстве керамики . . . . .	182
74.	Данные о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов в производстве керамики . . . . .	183
75.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе. . . . .	188
76.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в сульфитном процессе получения целлюлозы . . . . .	189
77.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе производства целлюлозы . . . . .	190
78.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов при сульфитном получении целлюлозы . . . . .	190
79.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе. . . . .	191
80.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в сульфитном процессе . . . . .	192
81.	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в производстве азотной кислоты . . . . .	195
82.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в производстве серной кислоты . . . . .	197
83.	Стоимостные и эксплуатационные данные о технологиях сокращения выбросов SO <sub>2</sub> при производстве серной кислоты . . . . .	198
84.	Источники выбросов SO <sub>x</sub> и отдельные НИМ сокращения выбросов с указанием уровней выбросов при сжигании отходов . . . . .	203
85.	Источники выбросов NO <sub>x</sub> и отдельные НИМ их сокращения с указанием уровней выбросов при сжигании отходов. . . . .	204
86.	Источники выбросов пыли и отдельные НИМ их сокращения с указанием уровней выбросов при сжигании отходов. . . . .	205
87.	Данные о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов. . . . .	206
88.	Деревообрабатывающие производства (источники выбросов пыли) с указанием используемых лесоматериалов . . . . .	207
89.	Уровни выбросов пыли при применении имеющихся методов сокращения выбросов в производстве древесных плит . . . . .	209
90.	Затраты на внедрение методов борьбы с выбросами дисперсного вещества в производстве древесностружечных плит . . . . .	210
91.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на бензинораздаточной станции нефтеперерабатывающего завода . . . . .	214

92.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на промежуточных бензинораздаточных складах . . . . .	214
93.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на заправочных станциях . . . . .	215
94.	Затраты заправочных станций разного размера на реализацию этапа I и этапа II . . . . .	215
95.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС при хранении органических соединений . . . . .	222
96.	Отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС и уровни выбросов ЛОС при применении НИМ сокращения выбросов в производствах тонкого органического синтеза . . . . .	230
97.	Уровни выбросов ЛОС при применении наилучшей имеющейся неокислительной технологии рекуперации/ограничения выбросов. . . . .	231
98.	Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов общего органического углерода при термическом окислении/сжигании или каталитическом окислении . . . . .	231
99.	Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при нанесении клейких покрытий и производстве обуви. . . . .	232
100.	Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при процессах нанесения покрытий . . . . .	234
101.	Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при нанесении покрытий на провода. . . . .	238
102.	Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при нанесении рулонных покрытий . . . . .	239
103.	Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при процессах нанесения покрытий . . . . .	242
104.	Достижимые концентрации растворителей по каждому виду красок . . . . .	245
105.	Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при производстве красок и клеящих веществ . . . . .	247
106.	Уровни выбросов при применении НИМ в офсетной рулонной печати с термоотверждением . . . . .	251
107.	Уровни выбросов при применении НИМ в секторе глубокой печати . . . . .	251
108.	Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при печати на упаковке методом глубокой печати и флексографии . . . . .	252
109.	Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при производстве изделий из натурального и синтетического каучука . . . . .	255
110.	Источники выбросов и отдельные имеющиеся технологии борьбы с выбросами с указанием их уровней . . . . .	259
111.	Основные технологии очистки поверхностей . . . . .	261

112.	Источники выбросов и меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при очистке поверхностей . . . . .	265
113.	Меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при экстракции растительного масла . . . . .	269
114.	Достижимые концентрации растворителей для каждого вида краски . . . . .	271
115.	Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при пропитке деревянных поверхностей . . . . .	273
116.	Предельно допустимые концентрации ЛОС для каждого вида бытовых товаров . . . . .	274
117.	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в пивоварении . . . . .	278
118.	Данные о затратах на рекуперацию CO <sub>2</sub> и биофильтрацию . . . . .	278
119.	Данные о затратах на биофильтры . . . . .	279
120.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана сульфатным способом . . . . .	281
121.	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в производстве оксида титана хлорным способом . . . . .	281
122.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана сульфатным способом . . . . .	282
123.	Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана хлорным способом . . . . .	283
124.	Затраты на внедрение технологий очистки газообразных выбросов для борьбы с выбросами SO <sub>2</sub> в процессе гидролиза (сульфатный процесс) . . . . .	283
125.	Затраты на технологии очистки газообразных выбросов для борьбы с выбросами SO <sub>2</sub> в процессе кальцинации (сульфатный процесс) . . . . .	283
126.	Основные типы двигателей в разбивке по видам используемого топлива . . . . .	286
127.	Основные типы современных стационарных поршневых двигателей . . . . .	287
128.	Примеры достижимых уровней выбросов NO <sub>x</sub> при применении мер по сокращению выбросов из дизельных двигателей. . . . .	293
129.	Достижимые уровни выбросов NO <sub>x</sub> из газовых двигателей (при установившейся нагрузке двигателя) согласно документу БРЕФ ЕС для КТУ . . . . .	296

## I. Введение

1. Цель настоящего документа – помочь Сторонам Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния определиться с выбором наиболее оптимальных методов борьбы с выбросами с особым упором на наилучшие имеющиеся методы (НИМ), чтобы они могли выполнять свои обязательства по Протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном (Гётеборгский протокол).

2. Настоящий руководящий документ содержит перечень вариантов ограничения выбросов следующих загрязнителей:

а) выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) означают сумму выбросов окиси азота и диоксида азота в пересчете на диоксид азота ( $\text{NO}_2$ );

б) выбросы серы означают выбросы всех соединений серы в пересчете на диоксид серы ( $\text{SO}_2$ );

с) выбросы летучих органических соединений (ЛОС) означают, если не указано иное, выбросы всех органических соединений антропогенного происхождения, кроме метана, которые способны, вступая в реакции с оксидами азота, образовывать под воздействием солнечного света фотохимические окислители;

д) дисперсное вещество (PM) или пыль: выбросы, состоящие из смеси взвешенных в воздухе частиц, включая общее содержание взвешенных частиц (ОВЧ),  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и черного углерода (ЧУ), определения которых приводятся ниже:

i)  $\text{PM}_{2,5}$ : частицы с аэродинамическим диаметром не более 2,5 микрон (мкм);

ii)  $\text{PM}_{10}$ : частицы с аэродинамическим диаметром не более 10 мкм;

iii) общее содержание взвешенных частиц: масса частиц любой формы, структуры или плотности, диспергированной в газовой среде в условиях места отбора проб, которые могут отбираться путем фильтрации в оговоренных условиях после репрезентативного отбора проб анализируемого газа и которые остаются перед фильтром и на фильтре после высушивания в оговоренных условиях;

iv) черный углерод (ЧУ): углеродсодержащее дисперсное вещество, поглощающее свет.

3. В контексте настоящего руководящего документа термины «дисперсное вещество» и «пыль» имеют одинаковое значение. Как видно из главы VI, методы борьбы с выбросами пыли в целом все-таки обеспечивают высокую эффективность очистки от ОВЧ,  $\text{PM}_{10}$ , а в ряде случаев и  $\text{PM}_{2,5}$ . Однако некоторые меры намного эффективнее уменьшают содержание грубодисперсных частиц, чем таких более мелких дисперсных частиц, как  $\text{PM}_{2,5}$ ; поэтому требуются конкретные меры для борьбы с  $\text{PM}_{2,5}$  и ЧУ. Поскольку в настоящее время в целом нет точных данных мониторинга о конкретных фракциях дисперсного вещества, в частности таких как  $\text{PM}_{2,5}$  и  $\text{PM}_{10}$ , уровни выбросов определяются для дисперсного вещества или пыли.

4. Выражение «наилучшие имеющиеся методы» (НИМ) означает наиболее эффективные и передовые на данном этапе меры и методы их применения, которые свидетельствуют о практической применимости конкретных методов в качестве основы для установления предельных значений выбросов (и других условий выдачи разрешений), которые предназначены для предотвращения, а в тех случа-

ях, когда это практически не реализуемо, для сокращения выбросов и их воздействия на окружающую среду в целом:

а) «методы» включают в себя как используемую технологию, так и способы проектирования, сооружения, обслуживания, эксплуатации и вывода из эксплуатации установки;

б) «имеющиеся» методы означают методы, разработанные в масштабе, позволяющем внедрять их в соответствующий промышленный сектор, в приемлемых с экономической и технической точек зрения условиях, с учетом затрат и выгод независимо от того, имеет или нет место использование или производство этих методов на территории соответствующей Стороны при условии, что оператор имеет к ним приемлемый доступ;

с) «наилучшие» означают наиболее эффективные методы для достижения высокого общего уровня охраны окружающей среды в целом.

К определению НИМ применяются следующие критерии:

- i) использование малоотходной технологии;
- ii) использование менее опасных веществ;
- iii) содействие рекуперации и рециркуляции веществ, образующихся в ходе технологического процесса, и в соответствующих случаях отходов;
- iv) сопоставимые процессы, установки или методы эксплуатации, которые были с успехом испытаны в промышленных масштабах;
- v) технические достижения и изменения в сфере научных знаний и понимания;
- vi) характер, воздействия и объем соответствующих выбросов;
- vii) сроки ввода в эксплуатацию новых или существующих установок;
- viii) период времени, который необходим для внедрения наилучших имеющихся методов;
- ix) потребление и характер сырьевых материалов (включая воду), используемых в процессе, а также энергоэффективность;
- x) необходимость предотвращения или уменьшения до минимума общего воздействия выбросов на окружающую среду и возникающих для нее рисков;
- xi) необходимость предотвращения аварий и сведения к минимуму их последствий для окружающей среды;
- xii) информация, публикуемая национальными и международными организациями.

5. В настоящем руководящем документе приводятся уровни выбросов, достижимые при применении НИМ (УВ-НИМ), которые можно описать следующим образом:

а) УВ-НИМ – это уровни, на достижение которых оператор может рассчитывать при применении НИМ; они могут служить удобной точкой отсчета для определения условий лицензирования;

б) УВ-НИМ представляют собой средние уровни выбросов, достижимые на протяжении длительного периода времени при нормальных эксплуатационных и/или проектных условиях (на основе испытанных технологий);



с) УВ-НИМ не являются предельными значениями ни для выбросов, ни для потребления.

6. УВ-НИМ рассчитаны на нормальные условия эксплуатации и могут меняться с изменением исходных материалов или характера продукции.

7. УВ-НИМ рассчитываются по усредненным значениям за различные периоды и соответствуют периодам обычной нагрузки. Поэтому, принимая во внимание УВ-НИМ при определении ПЗВ, необходимо каждый раз должным образом учитывать базовый период, к которому относится указанный УВ-НИМ. Применительно к периодам максимальной нагрузки, а также к периодам запуска и остановки оборудования, равно как и к периодам неполадок в системах очистки отходящих газов, следует ориентироваться на краткосрочные максимальные значения, которые могут быть выше обычных.

8. Когда некий уровень характеризуется как «достижимый» при условии применения того или иного метода или комбинации методов, это следует понимать в том смысле, что такой уровень может быть достигнут на протяжении длительного периода времени на правильно эксплуатируемой и обслуживаемой установке или технологической линии, где используются упомянутые методы.

9. Если не указано иное, перечисленные меры по сокращению выбросов рассматриваются, исходя в большинстве случаев из практического опыта за несколько лет, в качестве наиболее отработанных и экономически целесообразных наилучших доступных технологий. Обычно за УВ-НИМ принимаются среднесуточные значения, выраженные в  $\text{мг/м}^3$  (для сухого газа при температуре 273,15 К и давлении 101,325 кПа, если не указано иное). При использовании органических растворителей эти значения можно выражать в процентах от применяемых растворителей (закупленные растворители + повторно используемые растворители). Однако постоянно накапливаемый опыт применения малоотходных мер и технологий на новых установках, а также опыт реконструкции существующих установок требуют регулярного пересмотра положений настоящего документа.

10. Хотя в настоящем руководящем документе перечисляется ряд мер и технологий, характеризующихся широким диапазоном издержек и показателей эффективности, его нельзя рассматривать в качестве исчерпывающего перечня возможных мер по ограничению выбросов. Кроме того, выбор мер и технологий для какого-либо конкретного случая будет зависеть от ряда факторов, включая действующее законодательство и нормативы, и в частности требования, предъявляемые к технологиям ограничения выбросов, топливно-энергетический баланс, промышленную инфраструктуру, экономические факторы и условия на конкретном предприятии.

11. В настоящем руководящем документе обсуждаются меры и технологии предупреждения и ограничения выбросов серы,  $\text{NO}_x$ , ЛОС, пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и ЧУ) и дается оценка их эффективности. Однако сокращение выбросов одного конкретного загрязнителя нельзя планировать, не учитывая риск образования других загрязнителей и/или увеличения потребления энергоресурсов. Чтобы максимально увеличить эффективность и свести к минимуму воздействие на окружающую среду, такие меры и технологии следует планировать совместно с мерами и технологиями по борьбе с выбросами других конкретных загрязнителей. Необходимо также тщательно учитывать сопутствующие выгоды/компромиссные решения для различных загрязнителей. Это имеет особо важное значение для подхода, примененного сразу к нескольким загрязнителям/комбинированного подхода, при котором возможно положительное/отрицательное воздействие на сокращение выбросов парниковых газов (ПГ)

(например, меры по оптимизации процесса горения обычно уменьшают образование как ЧУ, так и CO<sub>2</sub>).

12. В настоящем руководящем документе обсуждаются меры и методы по предупреждению и ограничению выбросов серы, NO<sub>x</sub>, ЛОС, пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ) и дается оценка их эффективности. Показатели эффективности и затраты отражены в ряде документов, подготовленных Группой экспертов по технико-экономическим вопросам (ГЭТЭВ), в проекте справочного документа 2006 года, представленного Целевой группе по тяжелым металлам (ЦГТМ), в различных справочных документах по наилучшим имеющимся технологиям (БРЕФ) Европейской комиссии и других последних публикациях, докладах АООС и ряде других документов, признанных на национальном и международном уровнях.

13. В настоящем документе описываются как первичные, так и вторичные меры. Первичные меры по сокращению выбросов направлены на борьбу с выбросами загрязнителей в источниках их образования. Вторичные меры предполагают очистку отработанных газов, содержащих уже образовавшиеся загрязнители (технологии доочистки или очистки в конце технологического процесса).

14. В настоящем документе рассматриваются стационарные источники выбросов серы, NO<sub>x</sub>, ЛОС, пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ), перечисленные в таблице 1. Мобильные источники выбросов (дорожные транспортные средства, внедорожные транспортные средства и машины) рассматриваются в руководящем документе по методам ограничения выбросов из отдельных мобильных источников. В настоящем руководящем документе не рассматриваются некоторые источники выбросов, которые в некоторых странах могут быть крупными источниками выбросов ЧУ, в частности, такие, как сельскохозяйственные палы, открытое сжигание биомассы, сжигание в факелах при добыче газа и нефти.

Таблица 1

**Стационарные источники выбросов серы, NO<sub>x</sub>, ЛОС, пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ), рассматриваемые в настоящем руководящем документе**

		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Пыль	ЧУ	ЛОС
VII-A	Установки для сжигания мощностью менее 1 МВт, включая установки для сжигания в коммунально-бытовом секторе	Y	Y	Y	Y	Y
VII-B	Установки для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт а) котлоагрегаты б) газовые турбины	Y	Y	Y	Y	Y
VII-C	Установки для сжигания мощностью более 50 МВт а) котлоагрегаты б) газовые турбины	Y	Y	Y	Y	Y
VII-D	Нефте- и газоперерабатывающие заводы Выбросы SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> и пыли (включая PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> и ЧУ); сжигание и топочные устройства, в том числе технологические нагреватели, установки ЖКК, ТСК и факельные системы	Y	Y	Y	Y	
VII-E	Нефте- и газоперерабатывающие заводы Процессы и источники НМЛОС					Y
VII-F	Коксовые печи	Y	Y	Y	Y	Y

		<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>Пыль</i>	<i>ЧУ</i>	<i>ЛОС</i>
VII-G	Производство чугуна и стали на металлургических комбинатах (агломерационные установки, грануляторы, коксогозовые установки, доменные печи и кислородные конвертеры, включая непрерывное литье и отливку слитков), а также производство стали в электродуговых печах	Y	Y	Y	Y	Y
VII-H	Предприятия черной металлургии мощностью 20 т/сутки, а также установки для «горячей и холодной штамповки», включая горячую и холодную прокатку, волочение проволоки, установки для «непрерывного нанесения покрытия», в том числе горячего покрытия и покрытия проволоки, а также установки для «горячего цинкования»	Y	Y	Y	Y	Y
VII-I	Предприятия цветной металлургии (производство первичного и вторичного Al, производство первичного и вторичного Pb, производство первичного и вторичного Zn, производство первичной вторичной Cu)	Y	Y	Y	Y	
VII-J	Производство цемента	Y	Y	Y	Y	
VII-K	Производство извести	Y	Y	Y	Y	
VII-L	Производство стекла	Y	Y	Y	Y	
VII-M	Производство искусственных волокон	Y	Y	Y	Y	Y
VII-N	Керамическая промышленность	Y	Y	Y	Y	
VII-O	Производство целлюлозы	Y	Y	Y	Y	
VII-P	Производство азотной кислоты	Y	Y	Y		
VII-Q	Производство серной кислоты	Y	Y	Y		
VII-R	Сжигание отходов (хозяйственно-бытовые и промышленные отходы, сжигание осадка сточных вод)	Y	Y	Y	Y	
VII-S	Деревообрабатывающая промышленность			Y		
VII-T	Распределение бензина – от станции раздачи (бензин) нефтеперерабатывающего завода до автозаправочных станций, включая транспорт и хранилища (бензин)					Y
VII-U	Хранение органических соединений и обращение с ними (за исключением бензина, который рассматривается в разделах E и U главы VII)					Y
VII-V	Производство органических химических веществ (за исключением производства продуктов тонкого органического синтеза)					Y
VII-W	Тонкий органический синтез					Y

		<i>SO<sub>2</sub></i>	<i>NO<sub>x</sub></i>	<i>Пыль</i>	<i>ЧУ</i>	<i>ЛОС</i>
VII-X	Нанесение клейких покрытий (включая производство обуви) Нанесение покрытий в целом, обувная промышленность, ламинирование					Y
VII-Y	Процессы нанесения покрытий 1: нанесение покрытий на легковые автомобили, кабины грузовых автомобилей, грузовые автомобили и автобусы					Y
VII-Z	Процессы нанесения покрытий 2: нанесение изоляционных покрытий на провода					Y
VII-AA	Процессы нанесения покрытий 3: нанесение покрытий на рулонную продукцию					Y
VII-BB	Прочие процессы нанесения покрытий 4: прочие промышленные процессы нанесения покрытий					Y
VII-CC	Содержание растворителей в продуктах 1: Бытовые и общестроительные краски					Y
VII-DD	Производство покрытий, лаков, чернил и клеев					Y
VII-EE	Процессы печатания (печать на упаковке, холодная офсетная печать, офсетная печать с термоотверждением, полиграфический сектор, трафаретная печать)					Y
VII-FF	Производство резины					Y
VII-GG	Сухая чистка					Y
VII-HH	Очистка металлических поверхностей					Y
VII-II	Экстракция растительного масла и животного жира и рафинация растительного масла					Y
VII-JJ	Нанесение новых покрытий на транспортные средства					Y
VII-KK	Пропитка древесины					Y
VII-LL	Содержание растворителей в продуктах 2: Бытовое использование растворителей (кроме красок)					Y
VII-MM	Производство пива					Y
VII-NN	Производство диоксида титана	Y	Y	Y		
VII-OO	Новые стационарные газовые и дизельные двигатели		Y	Y	Y	

## **II. Общие вопросы, касающиеся всех загрязнителей, рассматриваемых в настоящем докладе**

### **A. Мониторинг и представление данных**

15. В настоящее время применяется несколько систем мониторинга, использующих методы как непрерывных, так и дискретных измерений. Однако требования к качеству разнятся. Измерения должны проводиться компетентными учреждениями с использованием контрольно-измерительных систем, отвечающим международным стандартам. Достижение этой цели наилучшим образом можно гарантировать путем использования системы сертификации.

16. При использовании современных автоматизированных систем мониторинга и измерительного оборудования трудностей с предоставлением данных не возникает. Хотя сбор данных для последующего использования проводится современными методами, данные, которые должны предоставляться компетентным органам в каждом отдельном случае различаются. Чтобы добиться наилучшей сопоставимости, ряды данных и предписывающие методики должны быть унифицированы. Гармонизация также желательна, чтобы гарантировать качество измерений и систем мониторинга. Этот факт не следует упускать из вида при сопоставлении данных.

17. Во избежание несоответствий и расхождений ключевые вопросы и параметры, включая следующие определения, должны быть четко сформулированы:

- а) определение нормативов, выраженных в частях на миллион по объему, мг/м<sup>3</sup> н.у., г/ГДж, кг/ч или кг/Мг продукта. Большинство этих единиц необходимо рассчитывать и уточнять исходя из температуры газа, влажности, давления, содержания кислорода или количества подводимой теплоты;
- б) определение периода, за который должны усредняться нормативы в пересчете на часы, месяцы или год, а также метода измерений;
- в) определение периодов выхода из строя оборудования и соответствующих инструкций на случай чрезвычайных ситуаций, связанных с обходом систем мониторинга или отключением установки;
- г) определение методов восполнения данных, пропущенных или утраченных в результате выхода из строя оборудования;
- е) определение подлежащего измерению набора параметров. Необходимая информация может различаться в зависимости от вида промышленного процесса. Это также относится к месту измерения в системе. Необходимо также обеспечить контроль качества измерений.

### **B. Энергосбережение, энергоэффективность, структура энергоносителей**

18. Основная часть выбросов серы, NO<sub>x</sub>, и пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ) из стационарных установок образуется в процессе сжигания топлива для получения тепла и электроэнергии. Таким образом, сокращение количества сжигаемого топлива с помощью эффективного и рационального использования энергоресурсов (энергосбережение) может быть эффективной мерой по сокращению не только этих выбросов, но и выбросов других загрязнителей и парниковых газов. Энергосбережение может также способствовать повышению безопасности поставок энергоносителей и уменьшению потребления природных ресурсов. Применительно как к стационарным установкам, так и к энергетическим предприятиям

энергосбережение означает повышение общей энергоэффективности с помощью ряда различных мер, которые могут осуществляться по отдельности или в лучшем случае в таком сочетании:

- a) реализация системы управления энергоэффективностью (СУЭЭ);
- b) формулирование концепции энергоэффективности систем;
- c) сравнительный анализ;
- d) энергоэффективное проектирование (ЭЭП);
- e) интеграция процессов;
- f) экспертные знания и опыт, накопленные в области повышения энергоэффективности;
- g) эффективный контроль, техническое обслуживание и мониторинг установок.

19. НИМ представляет собой не только оптимизацию функционирования систем сжигания и парогенераторных установок, но и компрессорных, насосных, нагревательных, охлаждающих, вентиляционных и осветительных систем, а также других физико-химических процессов с использованием большого количества технических методов. Особое значение имеют также рекуперация тепла и, в случае целесообразности, совместное производство тепла и электроэнергии [1].

20. Помимо энергосбережения, в котором основной упор делается на спросе, большое воздействие на выбросы в атмосферу также оказывает предложение энергоносителей. Кроме перехода на другие виды топлива, когда один вид (ископаемого) топлива заменяется другим, следует также учитывать топливно-энергетический баланс, принимая при этом во внимание такие конкретные особенности страны, как инфраструктура, энергетическая политика и обеспеченность ресурсами ископаемого топлива и возобновляемых источников энергии, в частности, таких, как ветровая, солнечная и геотермальная энергия или энергия биомассы. Однако сжигание большого количества биомассы, особенно в дровяных печах, может привести к увеличению выбросов в атмосферу.

## Справочные документы, использованные в главе II:

1. Европейская комиссия (2008). *Справочный документ о наилучших имеющихся методах обеспечения энергоэффективности.*

## III. Общие вопросы, касающиеся серы

### A. Общие вопросы

21. Для сокращения выбросов  $\text{SO}_x$  в результате процессов сжигания или из других источников применяются различные виды мер. В настоящей главе рассматриваются основные применяемые технические методы: повышение энергоэффективности, переход на другие виды топлива, очистка топлива, первичные и вторичные меры.

22.  $\text{SO}_2$  является основным источником подкисления через посредство образования в атмосфере сульфатов и серной кислоты. Время существования  $\text{SO}_2$  в атмосфере зависит от метеорологических условий. Среднее время существования в атмосфере составляет от 3 до 5 суток, а поэтому  $\text{SO}_2$  может переноситься на расстояние, превышающее сотни километров.

23. Чтобы добиться наиболее эффективного сокращения выбросов  $\text{SO}_x$ , помимо мер по энергосбережению, следует применять комплекс мер.

## В. Содержание серы в топливах

24. Сера, содержащаяся в топливе, в процессе горения вступает в реакцию с кислородом, образуя  $\text{SO}_2$ . Поэтому количество выбросов  $\text{SO}_2$ , образующихся в процессе горения, напрямую зависит от содержания серы в используемом топливе.  $\text{SO}_3$  образуется путем окисления  $\text{SO}_2$  в процессе сгорания топлива.

25. Содержание серы в твердом ископаемом топливе колеблется от 0,5% до более 5%. Твердые ископаемые топлива являются крупнейшими источниками  $\text{SO}_2$  [1]. Содержание серы в природном газе, равно как и в древесине, не велико. Содержание серы в жидком ископаемом топливе колеблется от 0,001% до более 5%. Запасы низкосернистых жидких ископаемых топлив нуждаются в очистке от серы на нефтеперерабатывающих заводах с применением специальных процессов.

26. В последние десять лет национальное и европейское законодательства ужесточили предельные нормативы содержания серы в нефтепродуктах. В таблице 2 приводятся типичные предельные значения, применяемые в Европейском союзе (ЕС) к жидким топливам [2].

Таблица 2

**Типичные предельные значения, применяемые в ЕС к жидким топливам**

Топливо	Установленное содержание серы (% массы)	Директива ЕС
Топочный мазут	<1% или 10 000 частей на миллион	1999/32/ЕС
Дизельное топливо	<0,1% или 1 000 частей на миллион	1999/32/ЕС

## С. Переход на другие виды топлива

27. Переход на другие виды топлива (например, переход с высокосернистых на низкосернистые угли и/или жидкое топливо или с угля на жидкое топливо и газ) приводит к снижению выбросов серы, хотя такой переход может сдерживаться рядом факторов, в частности, такими как обеспеченность низкосернистыми топливами и возможность перевода существующих систем сжигания на другие виды топлива. Во многих странах ЕС некоторые топливосжигающие установки на угле и нефти заменяются установками, работающими на газе. Установки, работающие на двух видах топлива, могут облегчить переход на альтернативные виды топлива. Переход на другие виды топлива может также благоприятно сказаться на уровнях выбросов диоксида азота или дисперсного вещества.

## Д. Очистка топлива

28. Очистка природного газа представляет собой апробированную современную технологию, которая используется повсеместно по причинам эксплуатационного характера. Очистка технологического газа (кислый нефтезаводской газ, коксовый газ, биогаз и т.д.) также представляет собой апробированную современную технологию. К апробированной современной технологии также относится десульфуризация жидкого топлива (легкие и средние фракции). Десульфуризация тяжелых фракций технически осуществима, но требует учета характеристик сырой нефти. Десульфуризация остатков атмосферной перегонки (кубовые

остатки атмосферной перегонки сырой нефти) при производстве низкосернистого жидкого топлива широкого распространения не получила; как правило, предпочтение отдается переработке низкосернистой сырой нефти. Повысилась эффективность технологии гидрокрекинга и полного превращения, в которой сочетается высокая степень улавливания серы и более высокий выход легких фракций. Постоянно растет количество установок полного превращения. На таких установках извлечение содержащейся в сырье серы достигает 80–90%, а все остатки перерабатываются в легкие фракции или другие товарные продукты. Такие установки потребляют больше энергии и требуют больше инвестиций. Содержание серы в продукции нефтеперерабатывающих заводов должно соответствовать установленным в ЕС нормативам, которые приводятся в таблице 2. Современные технологии очистки каменного угля позволяют удалять до 50% неорганической серы (в зависимости от характеристик угля), но не обеспечивают удаление органической серы. В настоящее время разрабатываются более эффективные технологии. Однако они требуют больше удельных инвестиций. Таким образом, эффективность удаления серы путем очистки углей ограничена по сравнению с десульфурацией дымовых газов. Каждая страна, видимо, располагает своими конкретными возможностями для оптимизации совместной очистки топлива и дымовых газов.

## **Е. Технологии сжигания**

29. Современные технологии сжигания способны повысить тепловой КПД и сократить выбросы серы. К таким технологиям относятся сжигание в кипящем слое (СКС), интегрированная внутрицикловая газификация (ИВЦГ) и газовые турбины комбинированного цикла (ГТКЦ). Стационарные газовые турбины можно включать в системы сжигания действующих обычных электростанций. Например, такое включение может повысить общую эффективность на 5–7% и значительно сократить выбросы  $\text{SO}_2$ . Однако это сопряжено с существенной модификацией существующих топочных устройств. Турбины внутреннего сгорания также могут увеличивать электрический КПД за счет использования физической теплоты выхлопных газов, образующихся, например, в процессе комбинированного регенеративного цикла подогрева питательной воды.

30. Сжигание в кипящем слое (СКС) происходит в слое полидисперсных частиц, который может быть фиксированным (ФКС), находиться под давлением (КСП), циркулирующим (ЦКС) или пузырьковым (ПКС). Сжигание в кипящем слое представляет собой технологию сжигания не только каменного и бурого углей, но и других видов твердого топлива, в частности, таких, как нефтяной кокс, низкосортные виды топлива, отходы, торф и древесина. Выбросы можно сократить еще больше путем комплексного управления процессом горения в системе за счет добавления в материал слоя извести/известняка. Утилизация и/или удаление побочных продуктов, образовавшихся в ходе этого процесса, может вызывать определенные проблемы, решение которых требует дальнейших разработок.

31. Процесс внутрициклового газификации состоит из газификации угля и комбинированного цикла получения тепла и электроэнергии с помощью парогазовой турбины. Газифицированный уголь сжигается в камере сгорания газовой турбины. Ограничение выбросов серы достигается путем применения современного очистного оборудования для очистки сырого газа на входе газовой турбины. Разработана также технология для тяжелых нефтяных остатков и битумных эмульсий.



32. Модификаций процесса сжигания, сравнимых с мерами, которые применяются для ограничения выбросов  $\text{NO}_x$ , не имеется, поскольку в процессе горения органически и/неорганически связанная сера почти полностью окисляется. Определенная процентная доля, зависящая от характеристик топлива и технологии сжигания, остается в золе. Количество серы, остающейся в золе, может колебаться в зависимости от добавляемых сорбентов (например, извести/известняка) и изменения условий сгорания (например, температуры). В настоящем руководящем документе процессы внесения сухих сорбентов, предназначенных для обычных котлоагрегатов, рассматриваются в качестве технологических модификаций, поскольку они сопряжены с вводом агента в камеру сгорания. Однако опыт показал, что при применении этих процессов снижается тепловая мощность, отношение  $\text{Ca/S}$  остается относительно высоким, а степень удаления серы – низкой. Однако благодаря достигнутой в последние годы оптимизации этих процессов удалось добиться эффективности удаления серы на уровне 50–80%. Необходимо также рассмотреть проблемы, связанные с дальнейшей утилизацией побочного продукта.

## **Е. Вторичные меры – процессы десульфуризации дымовых газов**

33. Эти процессы направлены на удаление уже образовавшихся оксидов серы и относятся к категории вторичных мер. При удалении серы из дымовых газов применяется их мокрая, сухая или полусухая очистка. Серу можно удалять также путем удаления диоксида серы из дымовых газов. Затем он либо экстрагируется (регенеративный процесс), либо превращается в серную кислоту (на сернокислотной установке). Другой доступной технологией сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  является скруббирование, основанное на промывке дымового газа водой или морской водой.

34. При технологиях мокрой очистки дымовой газ вначале очищается от пыли, а затем промывается распыленным раствором щелочных соединений.  $\text{SO}_2$  вступает в реакцию с этими щелочными соединениями, образуя побочные продукты, химическая природа которых зависит от используемого щелочного соединения. При применении  $\text{CaCO}_3$  или  $\text{CaO}$  можно получать товарный гипс, если соблюдать определенные технические условия. Товарные побочные продукты можно также получать, используя другой орошающий агент. Применяя мокрую ДДГ, можно добиться прекрасных показателей эффективности в диапазоне 92–98% при почти стехиометрическом соотношении  $\text{Ca/S}$ . Этот процесс применяется для сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  главным образом на электростанциях, работающих на угле.

35. При сухом процессе в поток дымовых газов перед тканевым фильтром или ЭСО вводятся твердые частицы сорбента на основе кальция или натрия. Чаще всего в качестве сорбентов применяются гашеная известь ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) или карбонат натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ). Необходимо, чтобы сорбенты были химически очень активными, и для этой цели должны быть активированы (например, тонкоизмельченный  $\text{Ca(OH)}_2$  с высокой активностью). Сорбенты вступают в реакцию с  $\text{SO}_2$ , образуя сульфиты и сульфаты кальция или натрия, которые затем необходимо очищать с помощью фильтров, чтобы сократить выбросы пыли. Эффективность процесса введения сухих сорбентов уступает эффективности мокрой ДДГ (примерно 50%) и зависит от нескольких параметров, в частности, таких как температура, содержание  $\text{SO}_2$  в дымовом газе, соотношение  $\text{Ca/S}$  и время пребывания в аппарате.

36. Топочный ввод сорбента представляет собой прямую закачку сухого сорбента в поток газа в топке котла. При этом применяется известняковая пыль ( $\text{CaCO}_3$ ). Требуется очистка от образовавшихся сульфитов и сульфатов на РФ или

ЭСО. Благодаря применяемой технологической схеме [4] можно добиться эффективности от 70% до 80%.

37. Полусухой процесс или очистка сухим распылением аналогичен сухому процессу, в ходе которого также образуется твердый остаток. В нем используется увлажненная известь или известняк влажностью примерно 10% для увеличения поверхности контакта и ускорения реакции. Эффективность удаления  $\text{SO}_2$  колеблется в пределах 85–92% при соотношении Ca/S от 1,3 до 2 [4].

38. В регенеративных процессах для рекуперации  $\text{SO}_2$  применяются регенерирующие агенты. Натрий сульфит-бисульфитная технология относится к таким регенеративным процессам. Сульфит натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) вступает в реакцию с  $\text{SO}_2$ , образуя бисульфит натрия ( $\text{NaHSO}_3$ ), который затем выпаривается до кристаллического сульфита натрия с рекуперацией  $\text{SO}_2$ . Можно достичь степени извлечения, превышающей 95%. Этот вид процесса обычно применяется при производстве диоксида титана. Подобный процесс требует квалифицированного персонала.

39. При производстве серной кислоты  $\text{SO}_2$  вначале окисляется до  $\text{SO}_3$ , который затем абсорбируется с образованием серной кислоты. Процесс производства серной кислоты может быть как одноступенчатым, так и двухступенчатым в зависимости от того, какой степени превращения необходимо добиться. Более эффективной является двухступенчатая сернокислотная установка.

40. Десульфуризация дымовых газов относится к процессам, сопряженным с высокими капитальными затратами, и наилучшим образом подходящим для установок с высоким коэффициентом нагрузки.

41. В помещенной ниже таблице приводятся общие характеристики отдельных процессов десульфуризации дымовых газов.

Таблица 3

**Общее описание и характеристики отдельных процессов десульфуризации дымовых газов [3]**

	<i>Мокрая очистка</i>	<i>Сухая очистка</i>	<i>Регенеративный процесс</i>	<i>Сернокислотная установка (двойная абсорбция)</i>
Эффективность	Степень десульфуризации 95–98%) для соотношения Ca/S 1,02–1,1	Степень десульфуризации 50–80% в зависимости от соотношения Ca/S и систем очистки (закачка сухого сорбента в систему труб или закачка в топочное пространство)	Степень извлечения 95–98%	Степень превращения >99%
Побочный продукт	Полученный при определенных условиях гипс может использоваться при производстве гипсокартона	Сульфиты и сульфаты кальция не извлекаются		
Ограничения	Возможно возникновение проблем при образовании шлака	Экономически неэффективная, большое количество отходов требует соответствующей переработки		Концентрация пыли на входе <30 мг/Нм <sup>3</sup> Концентрации $\text{O}_2$ на входе должны в 5 раз превышать концентрации $\text{SO}_2$

42. Чтобы определить наиболее эффективный процесс сокращения выбросов серы, помимо перечисленных выше мер по энергосбережению, следует рассматривать комбинацию технологических вариантов, упомянутых в пунктах выше. В некоторых случаях варианты сокращения выбросов серы могут также ограничивать выбросы  $\text{NO}_x$  и других загрязнителей.

## **G. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов $\text{SO}_2$**

43. При выборе метода сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  большое значение приобретает вопрос о затратах. Большая доля может приходиться на следующие расходы:

- a) вмененные амортизационные отчисления и вмененный процент;
- b) затраты на оплату персонала;
- c) расходы на вспомогательные и эксплуатационные принадлежности;
- d) затраты на энергоресурсы;
- e) расходы на обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг и расходы на внешние услуги;
- f) налоги, экологические платежи (например, платежи за сброс сточных вод), сборы, коммунальные платежи.

44. В целом увеличение затрат перекрывается выгодами от производительности метода сокращения выбросов, а поэтому более крупные установки или установки, рассчитанные на очистку дымовых газов с высоким содержанием серы, нередко оказываются более рентабельными. Рентабельность процессов ввода сухих сорбентов при очистке топлив с высоким содержанием серы уступает рентабельности процессов мокрой очистки. Затраты на методы борьбы с выбросами  $\text{SO}_2$  рассматриваются в главе VII.

## **H. Побочные продукты и последствия**

45. Побочные последствия вариантов/методов борьбы с выбросами могут быть как положительными, так и отрицательными, и это следует учитывать. Следует отбирать варианты, которые позволяют получать товарные побочные продукты, а также варианты, которые ведут к повышению теплового КПД и сокращению отходов всякий раз, когда это возможно. Хотя большинство побочных продуктов, таких как гипс, соли аммония, серная кислота или сера, относится к категории пригодных к использованию и повторному использованию продуктов, необходимо учитывать такие факторы, как рыночная конъюнктура и стандарты качества.

46. Побочные последствия обычно ослабляются путем надлежащего проектирования и эксплуатации установок. Побочные последствия включают в себя:

- a) воздействие на энергопотребление и, следовательно, на выбросы парниковых газов;
- b) воздействие на другие загрязнители воздуха;
- c) воздействие на использование таких природных ресурсов, как известняк;
- d) воздействие загрязнения одной среды на другие экологические компоненты, например на отходы или воду.

47. В приводящейся ниже таблице более конкретно приводятся положительные и отрицательные побочные последствия отдельных процессов десульфуризации дымовых газов.

Таблица 4

**Положительные и отрицательные побочные последствия отдельных процессов десульфуризации дымовых газов**

Метод ограничения	Положительные побочные последствия	Отрицательные побочные последствия
Сухие скрубберы или процесс ввода сухих сорбентов	Сокращение выбросов пыли и тяжелых металлов	Сульфиты и сульфаты кальция не извлекаются Образование большого количества отходов
Мокрые скрубберы	Сокращение выбросов пыли и тяжелых металлов Превращение побочных продуктов в товарный гипс	Большое потребление воды Большое потребление энергоресурсов Большое потребление известняка Образование отходов

**Справочные документы, использованные в главе III:**

1. Direction Générale de l'Energie et des Matières Premières. Available from <http://www.industrie.gouv.fr/energie/>.
2. European Commission (1999). European directive 1999/32/EC relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels, EUOJ 26 April 1999.
3. Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (1999). *Techniques de désulphurisation des procédés industriels*.
4. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.

## IV. Общие вопросы, касающиеся NO<sub>x</sub>

### A. Общие вопросы

48. Родовой термин NO<sub>x</sub> означает сумму оксида азота (NO) и двуокиси азота (NO<sub>2</sub>) в пересчете на NO<sub>2</sub>. Оксид одновалентного азота (N<sub>2</sub>O), парниковый газ, в NO<sub>x</sub> не включается. Главными источниками выбросов NO<sub>x</sub> являются процессы сжигания, при которых преимущественно образуется NO [1]. Затем NO быстро соединяется кислородом, образуя NO<sub>2</sub>.

49. Выбросы NO<sub>x</sub> усиливают процессы подкисления через образование азотистой (HNO<sub>2</sub>) и азотной кислот (HNO<sub>3</sub>) и эвтрофикации через образование тропосферного озона и раздражают (особенно NO<sub>2</sub>) дыхательные пути и поражают органы дыхания. К тому же NO<sub>x</sub> могут реагировать с аммиаком, образуя вторичные мелкодисперсные частицы, которые оказывают отрицательное воздействие на здоровье.

50. В процессе горения различают три основных вида образования NO<sub>x</sub>:

а) *термические NO<sub>x</sub>*: атмосферный молекулярный азот (N<sub>2</sub>) и молекулярный кислород (O<sub>2</sub>) в условиях диссоциации при высокой температуре реагируют, образуя NO<sub>x</sub>. Эта реакция обратима и обычно активизируется с повышением

температуры выше примерно 1 300 °C [1]. Образование  $\text{NO}_x$  увеличивается с ростом температуры и времени пребывания в зоне горения;

b) *топливные  $\text{NO}_x$* : в топливных  $\text{NO}_x$  источником азота для образования  $\text{NO}_x$  является само топливо. Можно выделить два пути:

- i) в процессе первоначального сжигания происходит высвобождение летучих веществ, включая окисленный азот; и
- ii) во время последующих стадий, когда происходит окисление обуглившегося вещества и азот окисляется до  $\text{NO}_x$ .

Существенное образование топливных  $\text{NO}_x$  происходит при температуре выше примерно 800 °C. Количество топливных  $\text{NO}_x$  зависит от содержания N в топливе и от условий сжигания;

c) *быстрые  $\text{NO}_x$* : атмосферный молекулярный азот реагирует с радикалами топлива, образуя  $\text{NO}_x$ . В отличие от термических и топливных  $\text{NO}_x$  быстрые  $\text{NO}_x$  имеют не столь большое значение среди рассматриваемых здесь источников.

51. Чтобы сократить образование и объемы выбросов  $\text{NO}_x$  в результате сжигания применяются, в частности такие меры, как повышение энергоэффективности (глава II), переход на другие виды топлива, а также первичные и вторичные меры. Чтобы добиться наиболее эффективного ограничения выбросов  $\text{NO}_x$ , помимо мер по энергосбережению, следует продумать определенное сочетание мер. Чтобы определить наилучшее сочетание мер, требуется проводить оценку на конкретном предприятии.

## **В. Переход на другие виды топлива**

52. Хотя переход на виды топлива, при сжигании которых образуется малое количество выбросов  $\text{NO}_x$ , относится к одному из вариантов ограничения, он регулируется такими конкретными условиями страны, как инфраструктура и энергетическая политика. Топлива с высоким содержанием азота, например тяжелые нефтяные топлива и угли могут обуславливать значительное образование топливных  $\text{NO}_x$ , а такие топлива с высоким содержанием водорода, как природный газ, в результате высокой температуры горения способны приводить к увеличению образования термических  $\text{NO}_x$ . Выбор топлива может также влиять на выбросы других загрязнителей, в частности выбросы серы дисперсного вещества и парниковых газов, а также на применимость и необходимость мер их ограничения.

## **С. Очистка топлива**

53. Очистка топлива с целью удаления азота в промышленных масштабах не практикуется. Однако гидроочистка на нефтеперерабатывающих заводах также может снижать содержание азота в конечных продуктах.

## **Д. Первичные меры**

54. Первичные меры сокращают образование  $\text{NO}_x$  в источнике путем применения ряда принципов или методов или их сочетания [1]:

- a) понижение максимальной температуры;
- b) сокращение времени пребывания в зоне максимальной температуры;

- с) химическое восстановление  $\text{NO}_x$  в ходе сжигания;
- д) сокращение содержания азота в процессе сжигания.

55. В приводящихся ниже пунктах дается общий обзор доступных первичных мер. Их применение зависит от промышленного сектора и технологического процесса.

56. *Понижение максимальной температуры*: поскольку образование термических  $\text{NO}_x$  в большой степени зависит от температуры сжигания, понижение этой температуры является одним из вариантов подавления образования  $\text{NO}_x$ . Понижения температуры можно добиться следующими методами:

- уменьшение количества тепла, выделяющегося в процессе горения;
- охлаждение; и
- уменьшение количества кислорода, поступающего в зону горения [1], а также применение других методов сжигания, например сжигание в кипящем слое (СКС), которое происходит при более низких температурах и включает собственную ступенчатую подачу воздуха.

57. К основным методам понижения максимальной температуры относятся:

- а) достехиометрическое сжигание, т.е. использование обогащенной топливной смеси, в которой кислород служит ограничивающим фактором (топливо также выступает в качестве восстановительного агента);
- б) супростехиометрическое сжигание, т.е. использование обедненной топливной смеси для уменьшения количества выделяющейся при горении теплоты;
- с) закачка охлажденного обедненного кислородом газообразного топлива для уменьшения количества выделяющейся при горении теплоты;
- д) закачка охлажденного обедненного кислородом газообразного топлива для уменьшения количества выделяющейся при горении теплоты, понижения температуры реакции и превращения кислорода в ограничивающий фактор;
- е) закачка воды или пара для уменьшения количества выделяющейся при горении теплоты и понижения температуры реакции.

58. *Сокращение времени пребывания в зоне максимальной температуры*: поскольку образование термических  $\text{NO}_x$  в большой степени зависит от времени пребывания газообразного топлива в зоне высоких температур, сокращение этого времени пребывания также способствует уменьшению образования  $\text{NO}_x$ . К методам сокращения времени пребывания относятся [1]:

- а) закачка топлива, пара, рециркулируемого дымового газа или воздуха непосредственно после камеры сжигания;
- б) уменьшение зоны высоких температур, чтобы ее мог быстро покинуть дымовой газ.

59. *Химическое восстановление  $\text{NO}_x$  в процессе сжигания*:  $\text{NO}_x$  могут восстанавливаться до  $\text{N}_2$  с помощью восстановительного агента, который при этом сам окисляется. Принцип химического восстановления широко используется не только при вторичных мерах, но может также применяться в качестве первичной меры, когда в процессе сжигания уже происходит восстановление. К основным мерам относятся:

а) достехиометрическое сжигание, т.е. сжигание обогащенной топливной смеси в режиме, когда несгоревшее топливо действует в качестве восстановительного агента;

б) дожиг дымового газа с добавлением топлива (добавляемое топливо действует в качестве восстановительного агента);

с) создание условий для сжигания обедненной и обогащенной топливной смеси в зоне горения.

60. *Сокращение содержания азота в процессе сжигания*: сокращения образования  $\text{NO}_x$  в результате сокращения количества свободного азота можно добиться путем использования таких топлив с низким содержанием азота, как природный газ (см. переход на другие виды топлива), а также путем подачи кислорода вместо воздуха в зону горения.

61. В основном используются первичные меры, которые основываются на упомянутых выше принципах и методах, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, например [1] [11]. Одни первичные меры характерны для модифицированных установок, другие – для модифицированных и новых установок, третьи пригодны только для новых установок.

а) *Сжигание с предельно низким избытком воздуха (НИВ)*: чтобы обеспечить полное сгорание, в зону горения нередко подается большое количество избыточного воздуха, а это может привести к интенсивному образованию термических  $\text{NO}_x$ , когда происходит окисление атмосферного азота [2] [3] [4]. Уменьшение избытка воздуха также приводит подавлению образования  $\text{NO}_x$ ;

б) *Рециркуляция дымовых газов (РДГ)*: рециркуляция охлажденных дымовых газов снижает температуру горения на второй ступени сжигания и уменьшает концентрацию кислорода, подавляя образование термических  $\text{NO}_x$ . Тепло дымовых газов можно рекуперировать с помощью теплообменника [1] [5];

с) *Ступенчатая подача воздуха (СПВ)*: принцип ступенчатой подачи воздуха заключается в организации двух зон: одну зону, обогащенную топливом, где происходит первоначальное сжигание и вторую зону, куда для завершения сжигания подается воздух. Такая схема позволяет подавить образование термических  $\text{NO}_x$  в первой зоне, в которой понижено количество свободного азота, и во второй камере, где температура ниже. Такую зону можно организовать различными способами. При *нестехиометрическом сжигании (НСС)* расходы воздуха и топлива изменяются; при *упрощенном двухступенчатом сжигании (УДС)* подача топлива в горелку на короткое время прекращается и при *двухступенчатом сжигании (ВВ)* вторичный воздух нагнетается выше обычной зоны горения [3] [4] [5]. Организация сжигания со ступенчатой подачей воздуха нередко применяется совместно с горелками с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  (МТГ);

д) *Ступенчатая подача топлива (СПТ)*: ступенчатая подача топлива аналогична ступенчатой подаче воздуха, только при этой схеме вместо воздуха используется топливо. На первой ступени топливо крайне обеднено, что понижает температуру. Топливо, добавляемое на второй ступени, действует в качестве восстанавливающего агента для образовавшихся  $\text{NO}_x$ . На третьей ступени для догорания топлива добавляется воздух [6];

е) *Трехступенчатое сжигание (ТС)*: технология трехступенчатого сжигания аналогична рециркуляции дымовых газов (РДГ) за тем отличием, что добавляемое в дымовые газы топливо приводит к понижению температуры. При добавлении топлива на второй ступени трехступенчатого сжигания топливо используется в качестве восстанавливающего агента, и процесс напоминает ступенчатую подачу топлива (СПТ);

f) *Ограничение предварительного подогрева воздуха (ОПП)*: воздух, подаваемый для горения, как правило, подогревается дымовыми газами, понижая их температуру и повышая эффективность. Ограничение такого подогрева также понижает температуру факела, а тем самым подавляет образование  $\text{NO}_x$ , но при этом снижается общая энергоэффективность [1] [3];

g) *Горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  (малотоксичные горелки) (МТГ)*: в горелках с низкими выбросами  $\text{NO}_x$  происходит смешивание топлива и воздуха/дымовых газов, в ходе которого создаются различные зоны, как и при ступенчатом сжигании. Создание зон позволяет понизить температуру факела и концентрацию кислорода, а также способствует химическому восстановлению топливом  $\text{NO}_x$  в некоторых зонах [1] [5]. В зависимости от принципа, применяемого для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , малотоксичные горелки далее можно подразделить на горелки со ступенчатой подачей воздуха, рециркуляцией дымовых газов и ступенчатым вводом топлива. На повестке дня стоит разработка горелок со сверхнизкими выбросами  $\text{NO}_x$ ;

h) *Закачка воды/пара*: для понижения температуры факела и подавления образования термических  $\text{NO}_x$  применяется закачка воды и пара;

i) *Кислородное сжигание*: при кислородном сжигании вместо воздуха используется кислород, а это препятствует образованию тепловых  $\text{NO}_x$ . В настоящее время кислородное сжигание в широких масштабах применяется только для производства стекла, однако можно ожидать, что в будущем оно получит более широкое распространение, поскольку кислородное сжигание является одним из вариантов повышения концентраций  $\text{CO}_2$  в дымовых газах, а это является преимуществом при улавливании и хранении  $\text{CO}_2$  [7];

j) *Оптимизация процессов горения*: оптимизация процессов горения осуществляется посредством активного управления, например, с использованием специального программного обеспечения. Одним из вариантов сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  является небольшое понижение полноты сгорания [1];

k) *Каталитическое сжигание*: использование катализатора для понижения температуры горения ниже температуры образования  $\text{NO}_x$  может существенно сократить выбросы. Однако эта технология по-прежнему редко применяется на практике [1], хотя газовые турбины, как представляется, являются перспективной областью применения [8].

62. Технологические методы, которые приводятся в главе IV раздела D, образуют перечень доступных технологий по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$ , однако это отнюдь не означает, что все эти перечисленные технологии применимы для каждого промышленного сектора или производственного процесса.

63. С мерами в отношении новых стационарных газовых и дизельных двигателей можно ознакомиться в главе VII раздела ОО.

## Е. Вторичные меры

64. Вторичные меры (технологии доочистки или очистки в конце технологического процесса) ограничивают выбросы уже образовавшихся  $\text{NO}_x$  в окружающую среду. Для этого есть два основных принципа:

a) химическое восстановление  $\text{NO}_x$  с помощью восстановительного агента в присутствии катализатора или без него;

b) сорбция/нейтрализация  $\text{NO}_x$ .



65. В основном применяются следующие вторичные меры, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки [1]:

а) *Селективное каталитическое восстановление (СКВ)*: при СКВ  $\text{NO}_x$  с помощью восстановительного агента (для этого обычно используют аммиак), который инжектируется непосредственно в поток дымовых газов, переходят в  $\text{N}_2$  непосредственно над поверхностью катализатора в присутствии достаточного количества кислорода. Реакция восстановления  $\text{NO}_x$  протекает над поверхностью катализатора при температуре в диапазоне 170–510 °C (причем типичным диапазоном является диапазон 300–400 °C); минимальная температура дымовых газов зависит от содержания серы в топливе. При слишком низких температурах дымовых газов образуется бисульфат аммония, который повышает опасность загрязнения и коррозии поверхностей нагрева. Ограничения на применение СКВ [11] существуют для дизельных установок, которые должны эксплуатироваться при различных нагрузках. Такие установки нередко эксплуатируются в составе автономных систем, эксплуатация которых ограничивается лишь несколькими часами. В зависимости от спроса на электроэнергию эти двигатели приходится запускать и останавливать по нескольку раз в сутки. СКВ применяется в дизельных установках, но его нельзя считать НИМ для двигателей, эксплуатирующихся при часто изменяющихся нагрузках, включая частые периоды запусков и остановок, вызванных техническими ограничениями. Установка СКВ едва ли способна функционировать эффективно при частой смене режима работы и чередующейся температуры катализатора нередко за необходимыми рамками температурного окна. В итоге, будучи частью НИМ, СКВ тем не менее нельзя в широком смысле увязывать с конкретными уровнями выбросов, достижимыми при применении НИМ;

б) *Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)*: аналогично СКВ в этом процессе сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  используется восстановительный агент (обычно аммиак, мочевины или аммиачная вода), но в отличие от СКВ без катализатора и при более высоких температурах в диапазоне 850–1 100 °C.

66. К другим вторичным мерам по ограничению выбросов  $\text{NO}_x$  относятся:

а) процесс  $\text{NO}_x/\text{SO}_2$ : процесс  $\text{NO}_x/\text{SO}_2$  основан на одновременной адсорбции  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$  дымовых газов с использованием регенерируемого сорбента и последующей жидкофазной адсорбцией  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ . Заявленная эффективность удаления по  $\text{SO}_2$  составляет 98% и 75% по  $\text{NO}_x$  [9];

б) процесс  $\text{SO}_x/\text{NO}_x/\text{Rox-Box}$  (SNRB): процесс SNRB [10] применяется для комбинированного удаления  $\text{SO}_x$  (путем впрыскивания щелочного сорбента),  $\text{NO}_x$  (путем впрыскивания аммиака и использования СКВ) и пыли (ср. 10). К числу недостатков этой технологии относятся образование опасных конечных отходов и довольно низкая эффективность очистки;

с) горелки с многоступенчатым вводом известняка (ГМВИ): использование ГМВИ демонстрирует более низкую надежность и достаточно небольшую эффективность очистки.

67. При интегрированной внутрицикловой газификации (ИВЦГ) топливо газифицируется в восстановительных условиях, образуя сингаз. Затем сингаз очищается и сжигается с доступом либо воздуха, либо кислорода. Это позволяет добиться очень низких уровней выбросов  $\text{NO}_x$ . ИВЦГ рассматривается в качестве одной из нескольких ключевых технологий улавливания и хранения углерода (УХУ). В настоящее время применение этой технологии ограничивается несколькими, главным образом, опытно-промышленными установками. В сочетании с УУУ КЦВГ, возможно, станет доступной для промышленности примерно в 2020 году.

68. Выбор наиболее подходящей меры зависит от факторов, связанных, например, с [11]:

- a) сжигаемым топливом;
- b) применяемой технологией сжигания;
- c) эксплуатационным режимом установки;
- d) технологическими характеристиками промышленных процессов;
- e) новой или реконструированной установкой;
- f) характеристиками дымовых газов (концентрации  $\text{NO}_x$ , температуры, влажности, пыли, других загрязнителей, загрязнения катализатора и т.д.);
- g) расхода дымовых газов;
- h) уровнями выбросов, которых требуется добиться;
- i) побочными последствиями и воздействиями на другие экологические компоненты;
- j) эксплуатационной безопасностью и надежностью;
- k) затратами.

69. В приводящейся ниже таблице дается краткий общий обзор эффективности первичных и вторичных мер по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$  на крупных топливосжигающих установках; главы, посвященные отдельным секторам, содержат более подробную информацию по конкретным отраслевым вопросам.

Таблица 5

**Средняя эффективность сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в результате применения отдельных первичных и вторичных мер на котлах крупных топливосжигающих установок [11]**

Технология	Средняя величина сокращения выбросов $\text{NO}_x$ *	Технические ограничения
Пониженный избыток воздуха (ПИВ)	10–44%	неполное выгорание
Упрощенное ступенчатое сжигание (BOOS)	10–70%	неполное выгорание
Нестехиометрическое сжигание (BBF)		
Двухступенчатое сжигание (OFA)		
Рециркуляция дымовых газов (РДГ)	<20% (уголь) 30–50% (газ, в сочетании с OFA)	нестабильность пламени
Снижение предварительного подогрева воздуха (RAP)	20–30%	
Ступенчатая подача топлива (СПТ)	50–60%	
Малотоксичные горелки со ступенчатой подачей воздуха	25–35%	неполное выгорание нестабильность пламени

<i>Технология</i>	<i>Средняя величина сокращения выбросов NO<sub>x</sub>*</i>	<i>Технические ограничения</i>
Малотоксичные горелки с рециркуляцией газов	<20%	нестабильность пламени
Малотоксичные горелки со ступенчатой подачей топлива	50–60%	неполное сгорание нестабильность пламени
Селективное каталитическое восстановление (СКВ)	80–95%	проскок аммиака; загрязнение золы уноса аммиаком; загрязнение воздухоподогревателя
Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)	30–50%	Проскок аммиака обычно выше, чем при СКВ

\* Если применяется несколько мер одновременно, показатели сокращения выбросов будут отличаться.

## **Е. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов NO<sub>x</sub>**

70. При выборе метода сокращения выбросов NO<sub>x</sub> большое значение приобретает вопрос о затратах [12]. Большую долю могут составлять следующие затраты:

- a) вмененные амортизационные отчисления и вмененный процент;
- b) затраты на оплату персонала;
- c) расходы на вспомогательные и эксплуатационные принадлежности;
- d) затраты на энергоресурсы;
- e) расходы на обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг и расходы на внешние услуги;
- f) налоги, экологические платежи (например, платежи за сброс сточных вод), сборы, коммунальные платежи.

71. Увеличение затрат в целом перекрывается выгодами от повышения производительности технологий сокращения выбросов, а поэтому крупные установки зачастую оказываются более рентабельными. Реконструкция действующих установок осуществима, но, как правило, при более высоких затратах.

72. Что касается первичных мер, то затраты, связанные с инвестициями, как правило, относительно не велики, а новые установки нередко не требуют дополнительных затрат. Однако затраты, сопряженные с уменьшением эффективности, могут быть существенными, и с этим фактом необходимо считаться.

73. При организации СКВ затраты на реконструкцию могут быть высокими в связи с трудностями, связанными с сооружением каталитического реактора по близости с котлом. К тому же, для СКВ наиболее крупными являются следующие затраты: капитальные затраты, расходы на аммиак, затраты на электроэнергию, затраты на замену катализатора и рабочую силу. Как правило, затраты на СНКВ меньше, чем на СКВ, поскольку этот процесс не требует расходов на катализатор и кожух каталитического реактора. Однако затраты на СКВ и СНКВ зависят, например, от характера отходящего газа, его температуры и требуемой степени очистки. Вследствие этого дополнительные затраты на замену катализатора при СКВ можно компенсировать за счет намного более низкого потребления аммиака по сравнению с СНКВ.

## Г. Побочные последствия

74. Побочные последствия вариантов/методов борьбы с выбросами могут быть как положительными, так и отрицательными, и это следует учитывать. Побочные последствия обычно ослабляются путем надлежащего проектирования и эксплуатации установок. Побочные последствия включают в себя:

- а) воздействие на энергопотребление и, следовательно, на выбросы парниковых газов;
- б) воздействие на другие загрязнители воздуха;
- с) воздействие на использование природных ресурсов;
- д) воздействие загрязнения одной среды на другие экологические компоненты, например, на отходы или воду.

75. В частности, побочными последствиями, которые следует учитывать в связи с различными методами сокращения выбросов, являются:

а) *первичные меры*: к возможным побочным последствиям относятся снижение общей энергоэффективности, повышенное образование СО и сажи и увеличение выбросов углеводородов, коррозия, вызванная восстановительными реакциями, увеличение количества несгоревшего углерода в летучей золе;

б) *СКС*: эта технология обеспечивает также значительное сокращение выбросов  $\text{SO}_x$ . Возможным недостатком систем СКС может быть повышенное образование  $\text{N}_2\text{O}$  при некоторых технологических условиях. Необходимо продумать вопрос улавливания золы на предмет ее использования и/или удаления;

с) *СКВ*: к возможным побочным последствиям могут относиться проскок аммиака в отходящих газах, содержание аммиака в летучей золе, образование солей аммония на выходе установки, деактивация катализатора и более интенсивное превращение  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  (коррозия и загрязнение). Однако контролируя управление установкой, можно гарантировать качество летучей золы и сократить образование солей аммония. Что касается побочных продуктов, то единственным ценным побочным продуктом могут быть дезактивированные катализаторы, хотя и эта проблема решается достаточно просто, поскольку удалось увеличить срок службы катализаторов и разработать варианты их регенерации. Сжигание биомассы и отходов может сократить срок службы катализатора;

д) *СНКВ*: побочные последствия, которые следует учитывать при этой технологии, заключаются в проскоке аммиака в отходящих газах, образовании солей аммония на выходе установки, образование  $\text{N}_2\text{O}$ , например, когда в качестве элемента восстановительной смеси используется мочевины и происходит высвобождение СО. Проскок аммиака при СНКВ, как правило, намного выше, чем при СКВ в результате превышенной дозы необходимого стехиометрического количества восстановительного агента (при более высоких температурах, которые требуются для СНКВ, часть вводимого аммиака вступает в восстановительные реакции, образуя дополнительные  $\text{NO}_x$ ).

76. *Производство аммиака и мочевины* для процессов очистки дымовых газов сопряжено с рядом отдельных мер, которые требуют энергии и реагентов. Системы хранения аммиака подпадают под действие соответствующих законодательных положений, и такие системы проектируются в расчете на эксплуатацию в составе абсолютно замкнутых систем для обеспечения минимальных выбросов аммиака. Использование  $\text{NH}_3$  по-прежнему считается целесообразным, даже если принимать во внимание сопутствующие выбросы, связанные с производством и транспортировкой  $\text{NH}_3$ .

## Справочные материалы, использованные в главе IV:

1. United States Environmental Protection Agency (1999). *Nitrogen Oxides, Why and how they are controlled*. Technical Bulletin, EPA-456/F-99-006R.
2. Lim, K.J. and others (1982). *A promising NO<sub>x</sub>-Control Technology*. Environmental Progress 1, pp. 167–177.
3. Wallin, S.C. (1986). *Abatement systems for SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, and Particles – Technical Options*. The Environmentalist, vol. 6, pp. 111–124.
4. The Texas Institute for Advancement of Chemical Technology (2000). *A summary of NO<sub>x</sub> reduction technologies*. Special Report 1, 2000.
5. Lani, B.W. and others (2005). *A review of DOE/NETL's advanced NO<sub>x</sub> control technology R&D program for coal-fired power plants*.
6. Zabetta, E.C and others (2005). *Reducing NO<sub>x</sub> emissions using fuel staging, air staging, and selective non catalytic reduction in synergy*. Ind. Eng. Chem. Res, vol. 44, pp. 4552–4561.
7. Prepared in the Framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2008). *Emerging techniques and technologies for large combustion plants > 500 MWth up to 2030*. Available from <http://www.citepa.org/old/forums/egtei/EGTEI%20Emerging%20techniquesFinal%20report.pdf>.
8. Cocchia, S. and others (2006). *Catalytic combustion system for a 10 MW class power generation gas turbine*. Catalysis Today, vol. 117, pp. 419–426.
9. Black, J.B. and others (1995). *The NO<sub>x</sub>SO clean coal project*. NO<sub>x</sub>SO Corporation. 4TH Annual Clean Coal Technology Conference. Denver, United States (pp.481).
10. Kudlac, G. A. and others (1992). *The SO<sub>x</sub>-NO<sub>x</sub>-Rox Box<sup>TM</sup> (SNRB)*. Environmental Progress, vol. 11, pp. 33–38.
11. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
12. Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2001). *Determination of costs for industrial environmental protection measures*. Guidelines 3800. Berlin: Beuth-Verlag.

## V. Общие вопросы, касающиеся ЛОС

### A. Общие вопросы

77. Летучие органические соединения (ЛОС) означают, если не указано иное, все органические соединения антропогенного происхождения, *кроме метана*, способные производить фотохимические окислители в реакции с окислами азота при наличии солнечного света.
78. Органическое соединение означает любое соединение, содержащее, как минимум, элементарный углерод и один или несколько таких химических элементов, как водород, кислород, сера, фосфор, кремний, азот или галоген, за исключением оксидов углерода, неорганических карбонатов и бикарбонатов [1].
79. В отдельных случаях в разделах главы VII можно встретить и другие определения.

80. В контексте вопроса об использовании растворителей, рассмотренного в разделе X главы VII по подразделу КК главы VII и в техническом приложении VI, летучие органические соединения (ЛОС) означают любое органическое соединение, а также фракцию креозота, которые при температуре 293,15 К имеют давление насыщенного пара не менее 0,01 кПа или которые при заданных конкретных условиях использования имеют сопоставимую летучесть [9].

81. Применительно к содержанию растворителей в продуктах, о котором речь идет в подразделе LL главы VII и техническом приложении XI, летучие органические соединения (ЛОС) означают любое органическое соединение с точкой кипения, не превышающей 250 °С при стандартном давлении 101,3 кПа. Это определение сопоставимо с предыдущим определением, поскольку существует связь между точкой кипения и давлением пара.

82. В программе обнаружения и устранения утечек (ПОУУ) [3], разработанной АООС США и стандартизированной в Европе [4], используется величина давления пара ЛОС, равная 300 Па, при температуре 295,15 К.

83. Выбросы ЛОС происходят из большого количества как антропогенных, так и природных источников:

а) термические процессы: выбросы углеводородов, образующихся в ходе термических процессов (стационарные и мобильные источники), вносят свою долю в общее содержание ЛОС;

б) использование органических растворителей: органический растворитель означает любое ЛОС, используемое в чистом виде или в сочетании с другими веществами и способное, не подвергаясь химическим изменениям, растворять сырьевые материалы, продукты или отходы или служить чистящим средством для растворения загрязняющих веществ, использоваться в качестве диспергента, регулятора вязкости или поверхностного натяжения, пластификатора или консерванта [1];

с) транспортировка, хранение и отгрузка жидкого топлива и легких органических соединений (например, нефти);

д) нефтеперерабатывающие заводы и промышленность органического синтеза;

е) природные источники.

84. ЛОС играют важную роль в атмосферных химических процессах. Вступая в сложные фотохимические реакции, ЛОС способствуют образованию таких токсичных окислителей, как тропосферный озон и другие оксиданты, которые могут вызывать различные заболевания и оказывать вредное воздействие на растения и экосистемы.

85. Исследования доказали высокую токсичность, мутагенность и канцерогенность некоторых ЛОС. Такие ЛОС требуют повышенного внимания вследствие их воздействия на здоровье человека. К таким ЛОС относятся соединения, которые классифицируются по следующим категориям опасности [7]:

а) Н 350: могут вызывать рак;

б) Н 340: могут вызывать генетические нарушения;

с) Н 350i: могут вызывать рак при вдыхании;

д) Н 360F: могут вредно влиять на репродуктивную функцию;

е) Н 360D: могут наносить вред неродившемуся ребенку.

86. По возможности выбросы подобных ЛОС должны ограничиваться в первоочередном порядке. ЛОС, обозначаемые символами опасности H 351 как предположительно способные вызывать рак и/или H 341 как предположительно способные вызывать генетические нарушения, также требуют внимания, и их выбросы должны максимально ограничиваться.

87. Чтобы эффективно ограничить выбросы ЛОС, очень важно учитывать сокращение как выбросов из дымовых труб, так и неорганизованных выбросов. Под выбросами из дымовых труб понимаются выбросы, источники которых и направление газовых потоков четко определены. Они поступают в атмосферу, пройдя через дымовую трубу или газоход, специально предназначенные для отвода или ограничения их потоков. Источники неорганизованных выбросов точно не определены. Они поступают в атмосферу, минуя дымовые трубы или газоходы, специально предназначенные для их отвода или ограничения. К ним относятся неуловленные выбросы во внешнюю среду, высвободившиеся через окна, двери вентиляционные и аналогичные отверстия [2]. На промышленных предприятиях неорганизованные выбросы имеют диффузный характер, поскольку они могут образовываться из многих рассредоточенных по площади источников.

88. Вместо применения предельных значений выбросов (ПЗВ), например связанных с мерами в конце технологического цикла, разрешается применять схемы сокращения выбросов. Цель схемы сокращения выбросов заключается в том, чтобы предоставить оператору возможность добиться другими средствами сокращения выбросов, эквивалентного их сокращению при применении установленных предельных значений. Ниже приводятся определения плана регулирования использования растворителей и схемы сокращения выбросов. План регулирования использования растворителей и схема сокращения выбросов являются ключевыми элементами приложения VI к Протоколу о борьбе с подкислением, эвтрофикацией и приземным озоном. Они помогают следить за соблюдением соответствующих нормативов, определять передовые варианты сокращения выбросов и позволяют информировать общественность о потреблении растворителей, их выбросах и соблюдении соответствующих нормативов.

89. В настоящем руководящем документе варианты/технологии борьбы с выбросами характеризуются:

а) коэффициентами выбросов, выраженными как масса выброшенного вещества (ЛОС) или масса общего органического углерода в расчете на каждое производство в секторе (например, г/м<sup>2</sup> при нанесении покрытий на автомобили); или

б) коэффициентами выбросов, выраженными как масса выделившегося вещества (ЛОС) или масса общего органического углерода в расчете на массу вводимого растворителя (приобретенный растворитель + восстановленный и повторно использованный растворитель) в секторе (например, % использованного растворителя в тонком органическом синтезе); или

с) концентрациями, выраженными как масса выброшенного вещества (ЛОС) или общего органического углерода на единицу объема отходящих газов; или

д) эффективностью сокращения выбросов (%).

90. В целом, дальнейшее подразделение ЛОС на конкретные вещества не проводится. Технические характеристики сообщаются при наличии соответствующих данных.

## **В. Знания о выбросах и план регулирования использования растворителей**

91. Для сведения к минимуму выбросы ЛОС и разработке плана регулирования использования растворителей принципиально важно обладать глубокими знаниями о выбросах. Эти знания приобретаются на основе мониторинга выбросов ЛОС в дымовых трубах, а также определении неорганизованных выбросов ЛОС с помощью нескольких соответствующих методов.

92. План регулирования использования растворителей является ключевым методом приобретения знаний о расходе, использовании и выбросах растворителей, особенно в виде неорганизованных выбросов [5].

93. План регулирования использования растворителей заключается в подсчете количества расходуемого растворителя и количества выделившегося растворителя. Расходы растворителей зачастую определяются просто. С другой стороны, определить выделившиеся количества некоторых растворителей бывает нелегко. Баланс массы растворителя является одним из инструментов определения выбросов ЛОС на основе следующих принципов [1].

94. *Необходимо учитывать следующие определения используемых и выделившихся количеств растворителей:*

a) расход органических растворителей (I):

i)  $I_1$  количество органических растворителей или их количество в покупаемых компонентах, которые использованы в качестве расходуемого материала в данном процессе в течение периода, за который рассчитывается баланс масс;

ii)  $I_2$  количество органических растворителей или их количество в материалах, рекуперированных и повторно использованных в конкретном процессе. (Рекуперированный растворитель учитывается каждый раз, когда он используется для выполнения технологического процесса.);

b) выделившиеся растворители (O):

i)  $O_1$  выбросы в отходящих газах;

ii)  $O_2$  потери органических растворителей в воде с учетом, в случае необходимости, очистки сточных вод при расчете по пункту  $O_5$ ;

iii)  $O_3$  количество органических растворителей, которые остаются в качестве загрязняющих или остаточных компонентов продуктов, получаемых в результате какого-либо процесса;

iv)  $O_4$  неуловленные выбросы органических растворителей в атмосферу. К ним относятся выбросы в результате общей вентиляции в помещениях, из которых воздух поступает в окружающую среду через окна, двери, вентиляционные и аналогичные отверстия;

v)  $O_5$  органические растворители и/или органические соединения, которые теряются в результате химических или физических реакций (включая, например, те из них, которые разрушаются, в частности, при их сжигании или очистке отходящих газов или сточных вод, или, например, улавливаются методом адсорбции, если только они учитываются в пунктах  $O_6$ ,  $O_7$  или  $O_8$ );

vi)  $O_6$  органические растворители, содержащиеся в собираемых отходах;



vii)  $O_7$  органические растворители или органические растворители, содержащиеся в компонентах, которые продаются или предназначаются для продажи в качестве коммерчески ценного продукта;

viii)  $O_8$  органические растворители, содержащиеся в компонентах, которые рекуперированы для повторного использования, но не для использования в качестве исходного материала в процессах, если только они не учитываются в пункте  $O_7$ ;

ix)  $O_9$  органические растворители, выделившиеся другими путями.

95. Рассчитать расход растворителей и выбросы НМЛОС можно с помощью следующих уравнений.

Расход растворителей рассчитывается по следующей формуле:

$$C = I_1 - O_8$$

Общий объем выбросов НМЛОС определяется следующим образом:

$$E = F + O_1,$$

где  $F$  неорганизованные выбросы, определенные ниже как:

$$F = I_1 - O_1 - O_5 - O_6 - O_7 - O_8$$

или

$$F = O_2 + O_3 + O_4 + O_9.$$

96. Это количество можно определить путем прямых измерений соответствующих количеств. Альтернативным образом аналогичные вычисления можно сделать с помощью других показателей, например с помощью показателя эффективности улавливания выбросов в ходе технологического процесса.

97. Значение объема неорганизованных выбросов, а также общий объем выбросов выражаются в виде доли расходуемых материалов, которую можно рассчитать по следующему уравнению:

$$I = I_1 + I_2.$$

98. План регулирования использования растворителей может составляться на регулярной основе, например годовой, для отслеживания достигнутого прогресса и для принятия необходимых мер с целью устранения замеченных отклонений и возможной оценки соблюдения установленных нормативов ПЗВ на установке.

## **С. Общие подходы к сокращению выбросов ЛОС**

99. Меры по борьбе с выбросами ЛОС или их предупреждению имеются почти для всех стационарных источников. Обычно проводится различие между первичными, вторичными (доочистка или очистка в конце технологического цикла) и структурными мерами. Если не указано иное, эти меры применимы как к новым, так и существующим установкам. Сокращение выбросов ЛОС вне стационарных источников направлено на снижение содержания ЛОС в продуктах.

100. В приводящемся перечне дается общий обзор имеющихся мер по сокращению выбросов ЛОС, которые могут применяться также в сочетании с вторичными мерами:

а) более эффективные технологии борьбы с выбросами ЛОС через средство эффективного технического обслуживания оборудования, повышении эффективности улавливания отработанных газов и общей оптимизации режима эксплуатации;

б) замена ЛОС, например использование растворителей с низким содержанием органических соединений или материалов и процессов, не содержащих органических растворителей, в частности, таких как краски или обезжириватели на водной основе и т.д. и/или модификаций процессов;

с) сокращение выбросов путем применения таких наилучших методов управления, как рациональная организация производства, совершенствование программ проверок и технического обслуживания, а также путем таких изменений процессов, как использование установок замкнутого цикла, улучшение герметизации резервуаров для хранения или путем структурных мер, в частности переноса операций в места, где выбросы ЛОС могут ограничиваться более эффективно, например, путем предварительного нанесения покрытий на некоторые продукты;

д) повторное использование и/или восстановление ЛОС с помощью таких технологий очистки, как конденсация, адсорбция, абсорбция и мембранные технологии (на предварительном технологическом этапе). Еще один вариант заключается в рекуперации тепла (рекуперации энергии) ЛОС. Предпочтительно повторно использовать органические соединения на том же предприятии. Этому может способствовать использование небольшого количества органических растворителей вместо их сложной смеси. Сложные смеси лучше обрабатывать вне предприятий, хотя выбросы могут образовываться в процессе распределения, обращения, транспортировки и хранения;

е) деструкция ЛОС с помощью таких технологий борьбы с выбросами, как термическое сжигание или каталитическое окисление или биологическая очистка. Что касается сжигания, то для снижения эксплуатационных затрат и сокращения потребления ресурсов рекомендуется прибегать к рекуперации тепла. Еще одним методом деструкции негалогенизированных ЛОС является использование насыщенных ЛОС газовых потоков в качестве вторичного воздуха или топлива в существующих установках по преобразованию энергии.

## 1. Первичные меры

101. Возможными первичными мерами по борьбе с выбросами органических растворителей из источников их промышленного использования являются: предупреждение (т.е. использование материалов или процессов с низким содержанием органических растворителей или без них), надлежащая организация производства, комплексные технологические меры и структурные меры. Таким образом, можно применять два подхода: подход, ориентированный на продукцию, который ведет, например, к изменению ее состава (краски, чернила, обезжиривающие средства и т.д.), и подход, ориентированный на технологические изменения (повышение эффективности перевода, использование герметичного оборудования для обезжиривания и другие). Более того, следует предпочитать подход, ориентированный на продукцию, вследствие его положительного экологического воздействия на выбросы промышленности по производству органических растворителей. Кроме того, воздействие выбросов на окружающую среду можно ослабить путем изменения состава продукции, заменив растворители менее вредными альтернативами. Сокращению выбросов могут также способствовать замкнутые системы. В настоящее время наблюдается быстро набирающая силу тенденция в сторону создания красок с низким содержанием органических рас-

творителей или не имеющих их в своем составе, что является одним из наиболее рентабельных решений.

102. Что касается бытового использования красок и других содержащих растворители продуктов, то к ним возможен только подход, ориентированный на продукцию. То же самое справедливо и для покраски сооружений и зданий и коммерческого использования продуктов для очистки и т.д. Использование методов на водной основе (например, для красок и клеящих веществ) является уже эффективной применяемой мерой, особенно для продукции, предназначенной как для коммерческого, так и бытового назначения.

## 2. Вторичные меры

103. Если для достижения существенного сокращения выбросов ЛОС недостаточно первичных мер или они технически невыполнимы, можно применять технологии доочистки по отдельности или в сочетании друг с другом. Такие технологии применяются для сокращения выбросов ЛОС, образующихся при процессах и использовании растворителей.

104. Можно выделить следующие технологии:

а) технологии, основанные на деструкции содержащихся в отработанных газах ЛОС:

- i) рекуперативное или регенеративное термическое окисление;
- ii) каталитическое рекуперативное или регенеративное окисление;
- iii) биологическая деструкция;

б) технологии, позволяющие вторично использовать ЛОС в технологическом процессе после специальной очистки, которые реализуются самим предприятием или внешними компаниями:

- i) адсорбция на активированном угле или цеолите;
- ii) абсорбция обработанными скрубберными жидкостями (вода, тяжелые нефтяные фракции);
- iii) конденсация и низкотемпературная конденсация;
- iv) мембранная сепарация, связанная с другими процессами, в частности, низкотемпературной конденсацией и адсорбцией.

105. Процессы с использованием термического окисления способны увеличить энергоемкость ЛОС. Однако в большинстве случаев такое увеличение энергоемкости затруднительно из-за, как правило, низких концентраций ЛОС. Первичная рекуперация тепловой энергии (например, для подогрева вводимых газов) является необходимой, однако организовать рекуперацию вторичного тепла на существующих установках очень трудно. Концентрации ЛОС должны быть достаточными, чтобы установка сжигания могла функционировать без дополнительного расхода топлива, а, следовательно, работать в автотермальном режиме. Низкие концентрации требуют потребления дополнительного топлива, которое может быстро стать чрезмерно высоким.

106. *Рекуперативное или регенеративное термическое окисление.* При рекуперативном или регенеративном окислении ЛОС подвергаются деструкции под воздействием высокой температуры. Температура окисления зависит от типа применяемой системы рекуперации энергии. Для подогрева вводимых газов в рекуперативной термической установке сжигания используется предварительный теплообменник. Эффективность рекуперации теплоты колеблется в пределах

60–70%. Диапазон температур составляет 650–750 °C. Такая система может быть автотермальной только при концентрациях ЛОС в пределах 8–10 г/Нм<sup>3</sup>. Регенеративная установка состоит из двух–трех керамических теплообменников. Отработанные газы, содержащие ЛОС, проходят через первый керамический теплообменник. Там они нагреваются. Затем они поступают в камеру сгорания, в которой горелки поддерживают температуру на уровне примерно 800–900 °C. Перед выбросом в атмосферу они покидают установку через еще один керамический теплообменник, отдавая свою тепловую энергию, которая используется для предварительного нагрева в следующем цикле. Функции теплообменника, нагревание или охлаждение, систематически чередуются в обратном порядке. При этом можно добиться эффективности рекуперации тепла до 95%. Регенеративные термические установки для сжигания рассчитаны на большие расходы отработанных газов и могут быть автотермальными при концентрациях ЛОС от 2 до 3 г/Нм<sup>3</sup>. При идеальной конфигурации и надлежащей эксплуатации на таких установках можно добиться конечных концентраций ЛОС менее 20 мг/Нм<sup>3</sup>. В полученных концентрациях в большом количестве присутствует метан.

107. *Рекуперативное или регенеративное каталитическое окисление.* При рекуперативном или регенеративном каталитическом окислении использование катализатора позволяет окислять ЛОС при более низкой температуре, чем при термическом окислении. В качестве катализаторов используются либо благородные металлы (платина, палладий или родий), либо оксиды металлов (Cr, Fe, Mo, Mn, Co, Cu, Ni). Принципы теплообмена при этом не отличаются от термического окисления. Температуры окисления колеблются в диапазоне 200–500 °C в зависимости от применяемого катализатора и типа установки. Рекуперативная каталитическая установка сжигания может быть автотермальной при концентрациях от 3 до 4 г/Нм<sup>3</sup>. Регенеративная каталитическая установка сжигания может быть автотермальной при концентрациях от 1 до 2 г/Нм<sup>3</sup>. Срок службы катализатора ограничен. Срок службы катализаторов на основе оксидов металлов составляет примерно 12 000 ч. Срок службы катализаторов на основе благородных металлов колеблется примерно от 15 000 до 25 000 ч. Катализаторы чувствительны к каталитическим ядам, некоторые из которых могут необратимо деактивировать катализаторы. При идеальной конфигурации и надлежащей эксплуатации установок сжигания можно добиться концентраций ЛОС в отработанных газах менее 20 мг/Нм<sup>3</sup>. При сжигании жидкого топлива с показателем выше 0,1% S в установках для сжигания электростанций время службы катализатора может сократиться. В полученных концентрациях в большом количестве присутствует метан.

108. *Биологическая деструкция.* Биологическую деструкцию можно осуществлять в биофильтрах и биоскрubberах. Микроорганизмы способны разрушать биоразлагаемые ЛОС во влажной среде и при низких температурах. Нагретые отработанные газы (>35 °C) должны охлаждаться. В биофильтре микроорганизмы обитают на поверхности влажного органического субстрата, для которого могут использоваться торф, кора и опилки вереска или компост. В биоскрubberах применяется сочетание мокрой очистки газов и биodeградации. Микроорганизмы находятся в скруббированной воде. Время пребывания в биофильтрах должно быть достаточным для того, чтобы в них начались биохимические реакции. Допускаемые входные концентрации ЛОС невысоки. Биологическое окисление применяется в основном для низких концентраций. С его помощью можно добиться конечных концентраций ЛОС в диапазоне от 100 до 150 мг/Нм<sup>3</sup>. Однако более низких концентраций добиться сложнее.

109. *Адсорбция на активированном угле или на цеолитах.* При адсорбции ЛОС физически связаны с поверхностью адсорбентов, которыми могут служить активированный уголь или цеолиты. Адсорбционная способность активированного угля и цеолитов ограничена, а следовательно, их необходимо активировать, что-

бы восстановить их первоначальную способность адсорбировать и восстанавливать ЛОС. Существует несколько конфигураций, но в большинстве случаев применяются аппараты с неподвижным адсорбентом, уложенным в два или три слоя. В одном слое происходит процесс адсорбции, а в другом – десорбции. Процесс десорбции протекает при высокой температуре с подачей перегретого пара или инертного газа. Процесс адсорбции должен протекать при температуре ниже 40 °С, поскольку эффективность адсорбции повышается при снижении температуры. Поступающие газы, таким образом, должны подвергаться соответствующей подготовке. ЛОС восстанавливаются после специальной обработки, которая состоит из конденсации, сепарации и дистилляции, если присутствуют несколько ЛОС. Эффективность борьбы с ЛОС зависит от многих факторов, в частности, таких как температура адсорбции, вид и количество ЛОС, подлежащих удалению, установленной периодичности десорбции. В этом случае можно добиться выходных концентраций ЛОС от 50 до 100 мг/Нм<sup>3</sup>. Достижимая эффективность зависит от широкого круга факторов, в частности, таких как правильные габариты установки, периодичность десорбции и пороговая величина десорбции.

110. *Конденсация и низкотемпературная конденсация.* При конденсации ЛОС охлаждаются ниже температуры конденсации потока. Конденсация ЛОС осуществляется путем глубокого охлаждения и/или повышения давления. Охлаждающими могут быть охлажденная вода, захлажденная вода, холодильные агенты и жидкий азот. Могут использоваться различные теплообменники. Конденсация с помощью охлажденной воды, захлажденной воды или холодильных агентов нередко применяется в качестве предварительной обработки, но ее недостаточно, чтобы добиться значительного сокращения выбросов. При этом можно добиться конечных концентраций ЛОС в диапазоне 100–150 мг/Нм<sup>3</sup>. Эффективность улавливания зависит от многочисленных факторов, включая правильную конфигурацию установки, периодичность десорбции и пороговое значение десорбции.

111. Жидкий азот используется при низкотемпературной (при температуре ниже –160 °С) конденсации. Низкотемпературная конденсация находит применение во многих отраслях и не ограничивается только ЛОС. Как правило, для конденсации в процессе непосредственной теплопередачи в качестве холодильного агента используется жидкий азот. ЛОС конденсируются в межтрубной зоне теплообменника, откуда конденсат стекает в сборный резервуар, а оттуда его можно возвращать в оборот, утилизировать, рекуперировать для повторного использования или удаления. Во время конденсации присутствие паров воды или ЛОС с высокой температурой каплепадения может вызвать замерзание внешней поверхности труб внутри низкотемпературного конденсатора. Чтобы избежать возникновения этой проблемы, был разработан ряд конденсаторов, которые можно эксплуатировать в разных заданных температурных режимах. Низкотемпературная конденсация наилучшим образом подходит для малых расходов отработанных газов и/или высоких концентраций ЛОС. Таким способом можно добиться конечных концентраций ЛОС от 50 до 100 мг/Нм<sup>3</sup>. Достижимая эффективность зависит от многих факторов, в частности, таких как правильные габариты установок и летучесть растворителей.

112. *Мембранные методы разделения:* концентрацию выбросов ЛОС можно реализовать с помощью органических селективных мембран (проницаемых для ЛОС). Воздух и ЛОС проходят через мембрану со скоростью проницания, которая зависит от их относительной проницаемости и разницы давления по обе стороны мембраны. Как правило, проницаемость ЛОС в зависимости от их конкретных характеристик в 10–100 раз выше, чем проницаемость воздуха. В зависимости от конструкции системы концентрацию ЛОС в выходящем потоке можно увеличить в 5–50 раз по сравнению с концентрацией входящего потока. Затем сконцентрированные газовые потоки можно сжимать и конденсировать с помо-

щью обычной конденсационной технологии. Разделение только мембранными методами проводить нельзя. В этом случае требуется последующее очистное оборудование.

113. Выбор метода ограничения выбросов определяется такими параметрами, как концентрация ЛОС в неочищенном газе, объемный расход газа, вид и состав ЛОС и другие. По этой причине в областях применения возможен определенный параллелизм. В этом случае наиболее приемлемый метод должен выбираться с учетом конкретных условий. В таблице 6 приводится общий обзор наиболее значимых параметров для применения вторичных мер. Общая эффективность вторичных мер в отраслях, в которых используются растворители, в значительной степени зависит от эффективности улавливания потоков отработанных газов, насыщенных ЛОС. В случае неорганизованных выбросов методы улавливания имеют особое значение для общей эффективности системы очистки.

Таблица 6

**Общий обзор наиболее значимых параметров, определяющих принятие вторичных мер**

	<i>Термическое рекуперативное окисление</i>	<i>Термическое регенеративное окисление</i>	<i>Каталитическое рекуперативное окисление</i>	<i>Каталитическое регенеративное окисление</i>
Диапазон концентраций	Применимо к высоким концентрациям 5–20 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо к низким концентрациям 2–10 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо к низким концентрациям 2–10 г/Нм <sup>3</sup>	Применимо к очень низким концентрациям C < 5 г/Нм <sup>3</sup>
Расходы отработанных газов	1 000–30 000 Нм <sup>3</sup> /ч	10 000–200 000 Нм <sup>3</sup> /ч	1 000–30 000 Нм <sup>3</sup> /ч	10 000–100 000 Нм <sup>3</sup> /ч
Автотермальный порог	8–10 г/Нм <sup>3</sup>	2–3 г/Нм <sup>3</sup>	3–4 г/Нм <sup>3</sup>	1–2 г/Нм <sup>3</sup>
Характеристики ЛОС (C <sub>эkv.</sub> )	<20 мг/Нм <sup>3</sup>	<20 мг/Нм <sup>3</sup>	<20 мг/Нм <sup>3</sup>	<20 мг/Нм <sup>3</sup>
NO <sub>хa</sub>	<100 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>
CO	<100 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>	<50 мг/Нм <sup>3</sup>
Факторы, ограничивающие использование	Низкие концентрации. Присутствие галогенизированных органических соединений. Энергопотребление в неавтотермальных режимах.	Присутствие галогенизированных органических соединений. Присутствие дисперсного вещества.	Присутствие галогенизированных органических соединений. Присутствие каталитических ядов. Присутствие дисперсного вещества. Риск высоких концентраций.	Присутствие галогенизированных органических соединений. Присутствие каталитических ядов. Присутствие дисперсного вещества. Риск высоких концентраций.
	<i>Биологическая деструкция</i>	<i>Адсорбция на активированном угле</i>	<i>Адсорбция тяжелыми нефтяными маслами</i>	<i>Низкотемпературная конденсация</i>
Диапазон концентраций	Применим <sup>a</sup> к очень низким концентрациям C < 1–2 г/Нм <sup>3</sup>	C < 15 г/Нм <sup>3</sup>	C < 10–15 г/Нм <sup>3</sup>	C > 10 г/Нм <sup>3</sup>
Расходы отработанных газов	1 000–100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	1 000–100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	1 000–100 000 Нм <sup>3</sup> /ч	1 000–5 000 Нм <sup>3</sup> /ч
Характеристики (C <sub>эkv.</sub> )	100–150 мг/Нм <sup>3</sup>	50–100 мг/Нм <sup>3</sup>	50–100 мг/Нм <sup>3</sup>	50–100 мг/Нм <sup>3</sup>

	<i>Биологическая деструкция</i>	<i>Адсорбция на активированном угле</i>	<i>Абсорбция тяжелыми нефтяными маслами</i>	<i>Низкотемпературная конденсация</i>
Факторы, сдерживающие использование	Биологически не раз- лагаемые ЛОС. Температура обрабо- танных газов, подле- жащих очистке. Непостоянные выбро- сы НМЛОС.	Количество ЛОС. Присутствие дис- персного вещества. Присутствие поли- меризуемых соеди- нений. Очистка рекуperi- рованных продуктов.	Количество ЛОС. Способность абсорби- ровать ЛОС. Очистка рекуperiро- ванных продуктов.	Количество ЛОС. Высоколетучие соеди- нения. Влажность. Очистка рекуperiро- ванных продуктов.

<sup>a</sup> Концентрации, полученные на установках для сжигания, которые используются для ограничения выбросов растворителей, образующихся при применении в технологических процессах.

## Д. Затраты

114. При выборе той или иной меры из широкого круга мер и разработке национальной или региональной стратегии ограничения выбросов на макроэкономическом уровне важную роль играет оценка инвестиций и эксплуатационных затрат, связанных с применением вариантов/методов ограничения выбросов ЛОС. Однако не следует забывать о том, что конкретные показатели в значительной степени зависят от таких факторов, как мощность установки, эффективность удаления, концентрация ЛОС в неочищенных газах, вид технологии и выбор между новой установкой или реконструкцией старой. Такие параметры, а тем самым и итоговые затраты и конечное ранжирование по затратам могут в значительной степени зависеть от конкретных условий, например, реконструкция, а поэтому не следует обобщать примеры.

115. Есть документы ГЭТЭВ, в которых определены методологии, используемые для оценки затрат на методы очистки отработанных газов. С документами по окислению, адсорбции на угле и биофильтрации можно ознакомиться по адресу: [http://citepa.org/forums/egtei/egtei\\_doc-VOC\\_abatement\\_tech.htm](http://citepa.org/forums/egtei/egtei_doc-VOC_abatement_tech.htm). Инвестиции и эксплуатационные затраты особенно сильно зависят от расходов газов и концентраций ЛОС, подлежащих очистке. Затраты приводятся в главе VII.

## Е. Побочные последствия

116. Побочные последствия вариантов/методов ограничения выбросов могут быть как положительными, так и отрицательными, и их следует учитывать. Как правило, побочные последствия можно ограничить путем надлежащего проектирования и эксплуатации установок. К побочным последствиям относятся:

- а) воздействие на энергопотребление и, следовательно, на выбросы парниковых газов;
- б) воздействие на другие загрязнители атмосферы;
- в) воздействие на использование природных ресурсов;
- г) воздействие загрязнения одной среды на другие экологические компоненты, например на отходы или воду.

Таблица 7

**Положительные и отрицательные побочные последствия методов ограничения выбросов ЛОС**

Метод ограничения	Положительные побочные последствия	Отрицательные побочные последствия
Окисление	Возможна сопутствующая дезодорация	Повышенное энергопотребление и выбросы ПГ при отсутствии автотермального режима
Адсорбция	Возможна сопутствующая дезодорация	Возможно увеличение энергопотребления для производства пара
Низкотемпературная конденсация	Возможна сопутствующая дезодорация	Энергопотребление на получение жидкого азота

**Справочные материалы, использованные в главе V:**

1. Европейская комиссия (1999). *Директива Европейского совета 1999/13/EC от 11 марта 1999 года об ограничении выбросов летучих органических соединений, вызываемых использованием органических растворителей в некоторых видах деятельности и установках*. Official Journal L 085, 29 March 1999, pp. 0001–0022. Available from <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
2. Европейская комиссия (2004). *Директива 2004/42/EC Европейского парламента и Совета от 21 апреля 2004 года об ограничении выбросов летучих органических соединений, образующихся в результате использования органических растворителей в декоративных красителях и лаках и красках для ремонтных работ автомобилей и вносящая поправки в Директиву 1999/13/EC*.
3. United States Environmental Protection Agency (1995). *Protocol for equipment leak – Emission estimates*. EPA-453/R-95-017.
4. Österreichisches Normungsinstitut Austrian Standards Institute (2008). *Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors – Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks*.
5. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on Surface treatment with solvents*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
6. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques in Common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
7. European Commission (2004). *Regulation (EC) No 1272/2008 of the European parliament and of the council of 16 December 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing Directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006*.



## VI. Общие вопросы, касающиеся пыли (включая $PM_{10}$ , $PM_{2,5}$ и ЧУ)

### A. Общие вопросы

117. Под пылью понимается многокомпонентная смесь мелких и мельчайших твердых частиц и капель жидкостей, взвешенных в воздухе. Размеры пыли колеблются от нескольких нанометров до 100 микрометров (мкм). Пыль можно классифицировать по аэродинамическому диаметру как:

- a) крупные частицы с аэродинамическим диаметром более 10 мкм;
- b) крупнодисперсные частицы с аэродинамическим диаметром от 2,5 до 10 мкм;
- c) тонкодисперсные частицы с аэродинамическим диаметром менее 2,5 мкм;
- d) ультрадисперсные частицы с аэродинамическим диаметром менее 0,1 мкм.

118. Подробнее пыль можно классифицировать как:

- a) общее содержание взвешенных частиц (ОВЧ): сумма тонкодисперсных, крупнодисперсных и крупных частиц;
- b)  $PM_{10}$ : масса дисперсных частиц, измеряемая после их прохождения через входной сепаратор частиц с 50-процентной эффективностью проскока при аэродинамическом диаметре 10 мкм;
- c)  $PM_{2,5}$ : масса дисперсных частиц, измеряемая после их прохождения через входной сепаратор частиц с 50-процентной эффективностью проскока при аэродинамическом диаметре 2,5 мкм;
- d)  $PM_1$ : масса дисперсных частиц, измеряемая после их прохождения через входной сепаратор частиц с 50-процентной эффективностью проскока при аэродинамическом диаметре 1 мкм.

119. Помимо такой классификации по размеру частиц пыль можно подразделять по источникам происхождения на первичную и вторичную пыль. Пыль может быть природной (морские соли, вулканический пепел и эрозия почвы и т.д.) и антропогенной (процессы сжигания и т.д.). В зависимости от источника происхождения пыль имеет различный химический состав. Первичная пыль состоит из солей (нитратов, сульфатов, карбонатов и т.д.), черного углерода (ЧУ), органического углерода (некарбонатные черные частицы, кроме элементарного углерода [20]) (ОУ) и таких микропримесей, как тяжелые металлы. Вторичное РМ образуется в атмосфере из прекурсоров и окисленных органических продуктов, связанных с НМЛОС [1].

120. Пыль влияет на радиационный баланс Земли. Одни компоненты пыли оказывают охлаждающее воздействие (сульфаты, ОУ), а другие – нагревающее (ЧУ).

121. ЧУ означает углеродсодержащее дисперсное вещество, поглощающее свет. Поглощение происходит по всему спектру волн солнечной радиации [16] [19]. ЧУ остается в атмосфере от нескольких дней до нескольких недель и в силу своих светопоглощающих свойств он существенно влияет на глобальное потепление. После осаждения он способствует потемнению льдов и снега, снижая тем самым их альбедо или отражательную способность. Такое воздействие на альбедо особенно заметно проявляется в Арктическом регионе. Способствуя потемнению льда и снега, он тем самым усиливает региональное потепление [16] [17] [18].

122. Содержание ЧУ в пыли увеличивается при неполном сгорании различных видов ископаемого топлива, биотоплива и биомассы [16]. ЧУ является частью многокомпонентной смеси частиц, которая называется сажей, и в основном состоит из ЧУ (являющегося нагревающим агентом) и ОУ (являющегося охлаждающим агентом). Существует тесная связь между этими соединениями. Они всегда выбрасываются из различных источников совместно, хотя и в разных соотношениях. Состав сажи может меняться и иметь различные соотношения ОУ и ЧУ, и обычно включает различные неорганические вещества, такие как металлы и сульфаты. Например, среднее соотношение ОУ/ЧУ в выхлопах дизельных двигателей может колебаться, согласно справочному документу [19], примерно от 1/4 (от мощных дизельных двигателей, работающих на дизельном дистилляте), и согласно справочному источнику [21], до 15/1 (от двигателей автобусов, работающих на тяжелом нефтяном топливе). При сжигании биотоплива это соотношение составляет примерно 4/1, а при атмосферных природных пожарах (атмосферное горение биомассы) оно равно примерно 9/1 [19]. Для углубления знаний о выбросах ЧУ из различных источников требуются данные мониторинга.

123. Образование и выбросы ЧУ происходят, когда процесс сжигания осуществляется при недостатке кислорода и тепла, которые необходимы для полного сгорания топлива. ЧУ образуется в виде микроскопических сферул, размер которых колеблется от 0,001 до 0,005 микрон (мкм), которые слипаясь, образуют частицы более крупных размеров (от 0,1 до 1 мкм). Типичный фракционный состав новых выбросов ЧУ также делает его важной составляющей ультрадисперсных частиц (<100 нанометров (нм)). Для фракционного состава ЧУ характерны частицы размером менее 1 мкм [19]. При сжигании с оптимальным избытком  $O_2$  (оптимальный коэффициент избытка воздуха) и при оптимальной температуре в пыли в основном присутствуют соли. Методы ограничения выбросов ЧУ не отличаются от методов применяемых для очистки от  $PM_{2,5}$ , поскольку ЧУ является составляющей пыли. Наиболее эффективными способами очистки от тонкодисперсных частиц могут быть только тканевые и электрические фильтры.

124. Вдыхание пыли чревато вредными последствиями для здоровья человека [2], в частности такими, как астма, рак легких, сердечно-сосудистые заболевания и преждевременная смерть. Степень вреда здоровью связана с размером частиц, поскольку крупные частицы могут удаляться через нос и горло. Частицы размером менее 10 мкм могут оседать в бронхах и легких, а частицы диаметром менее 2,5 мкм – проникать в альвеолы легких; частицы размером менее 0,1 мкм могут попадать через легкие в другие органы. Таким образом, вред здоровью увеличивается при уменьшении диаметра частиц. Помимо размера частиц потенциальный вред здоровью определяется также химическим составом, например канцерогенными веществами, и растворимостью частиц в легких. Предполагается, что вред здоровью связан с количеством мелких частиц, хотя большинство измерений свидетельствуют о массе более крупных частиц, которые преобладают в классе частиц. К тому же пыль образует дымку, которая снижает видимость.

125. Есть несколько природных и антропогенных источников пыли, которые отличаются по размеру и химическому составу образующейся пыли. Образование пыли может вызываться:

- а) механическими процессами обработки твердых веществ (дробление, измельчение, обработка поверхностей, шлифовка и т.д.);
- б) химическими и физическими реакциями (неполное сгорание, преобразование газа в твердые частицы, конденсация, осаждение и т.д.);
- в) разрушающим воздействием на твердые вещества (ветровая эрозия и т.д.);

d) вторичным пылеобразованием (сдувание пыли с дорог, пылеобразование на складах и т.д.).

126. Опубликованы немногочисленные и/или некачественные результаты измерений долей  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в отходящих газах. Поэтому ниже приводятся таблицы, содержащие подсчитанные доли, которые используются в модели RAINS/GAINS.

Таблица 8

Доли  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в ОБЧ, используемые в модели RAINS (2002) [15]

Название сектора	Код(ы) RAINS	Единица	$PM_{2,5}$	% $PM_{2,5}$	$PM_{10}$	% $PM_{10}$	ОБЧ
Уголь, слоевое сжигание (в промышленности, неочищенный газ)				7		20	
Уголь, сжигание в кипящем слое (в промышленности, неочищенный газ)				5		26	
Бурый уголь, распыление (в промышленности, неочищенный газ)				10		35	
Каменный уголь, распыление (в промышленности, неочищенный газ)				6		23	
Производный уголь (в промышленности, неочищенный газ)				45		79	
Биомасса (в промышленности, неочищенный газ)				77		89	
Отходы (в промышленности, неочищенный газ)				23		38	
Уголь, слоевое сжигание (на электростанциях, неочищенный газ)				14		37	
Уголь, сжигание в кипящем слое (на электростанциях, неочищенный газ)				5		26	
Бурый уголь, распыление (на электростанциях, неочищенный газ)				10		35	
Каменный уголь, распыление (на электростанциях, неочищенный газ)				6		23	
Каменный уголь, жидкое шлакоудаление (на электростанциях, неочищенный газ)				21		23	
Производный уголь (на электростанциях, неочищенный газ)				45		79	
Биомасса (на электростанциях, неочищенный газ)				77		89	
Отходы (на электростанциях, неочищенный газ)				23		38	
Уголь, печи и котлоагрегаты (бытовые)				13		90	
Уголь, крупные котлоагрегаты (жилищный сектор)				7		20	
Производный уголь (жилой сектор)				45		79	
Биомасса, печи и котлоагрегаты (бытовые)				93		96	
Биомасса, крупные котлоагрегаты (жилищно-бытовые)				77		89	
Отходы (жилищно-бытовые)				60		90	

Название сектора	Код(ы) RAINS	Единица	PM <sub>2,5</sub>	% PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	% PM <sub>10</sub>	ОБЧ
Камины, печи (дровяные в Восточной Европе)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	кт/Пдж	0,279	93	0,288	96	0,3
Небольшие бытовые котлоагрегаты (дровяные в Восточной Европе)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	кт/Пдж	0,093–0,23	37–92	0,096–0,24	37–96	0,1–0,25
Крупные жилищно-бытовые котлоагрегаты (дровяные в Восточной Европе)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	кт/Пдж	0,077–0,15	39–75	0,089–0,18	45–90	0,1–0,2
Промышленность (сжигание древесины в Восточной Европе)	PP_, IN_, CONV_COMB	кт/Пдж	0,185	77	0,214	89	0,24
Камины, печи (дровяные в Западной Европе)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	кт/Пдж	0,067–0,186	34–93	0,07–0,192	35–96	0,072–0,2
Небольшие бытовые котлоагрегаты (дровяные в Западной Европе)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	кт/Пдж	0,06–0,167	33–93	0,062–0,17	34–94	0,065–0,18
Крупные жилищно-бытовые котлоагрегаты (дровяные в Западной Европе)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	кт/Пдж	0,05–0,12	33–80	0,06–0,134	40–89	0,065–0,15
Промышленность (сжигание древесины в Западной Европе)	PP_, IN_, CONV_COMB	кт/Пдж	0,185	77	0,214	89	0,24
Электростанции (сжигание тяжелого нефтяного топлива в стационарных установках)	PP_NEW, PP_EX	кт/Пдж	0,0093	60	0,0132	85	0,0155
Конверсия (сжигание тяжелого нефтяного топлива в стационарных установках)	CON_COMB	кт/Пдж	0,0117	60	0,0166	85	0,0195
Промышленность (сжигание тяжелого нефтяного топлива в стационарных установках)	IN_BO, IN_OC	кт/Пдж	0,0104	60	0,0147	85	0,0173
Жилищно-бытовой сектор (сжигание тяжелого нефтяного топлива в стационарных установках)	DOM	кт/Пдж	0,0095	25	0,0247	65	0,038
Электростанции (сжигание легкого нефтяного топлива в стационарных установках), новые	PP_NEW	кт/Пдж	0,0004	18	0,0011	50	0,0022
Электростанции (сжигание легкого нефтяного топлива в стационарных установках), существующие	PP_EX	кт/Пдж	0,0007	19	0,0018	50	0,0036
Конверсия (сжигание легкого нефтяного топлива в стационарных установках)	CON_COMB	кт/Пдж	0,0004	11	0,0018	50	0,0036
Промышленность (сжигание легкого нефтяного топлива в стационарных установках)	IN_BO, IN_OC	кт/Пдж	0,0003	14	0,0011	50	0,0022
Жилищно-бытовой сектор (сжигание легкого нефтяного топлива в стационарных установках)	DOM	кт/Пдж	0,0007	41	0,0009	53	0,0017
Электростанции (сжигание природного газа в стационарных установках)	PP_NEW, PP_EX	кт/Пдж	0,0001	100	0,0001	100	0,0001
Конверсия (сжигание природного газа в стационарных установках)	CON_COMB	кт/Пдж	0,0001	100	0,0001	100	0,0001
Промышленность (сжигание природного газа в стационарных установках)	IN_BO, IN_OC	кт/Пдж	0,0001	100	0,0001	100	0,0001

Название сектора	Код(ы) RAINS	Единица	PM <sub>2,5</sub>	% PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	% PM <sub>10</sub>	ОБЧ
Жилищно-бытовой сектор (сжигание природного газа в стационарных установках)	DOM	кг/Пдж	0,00003–0,0002	100	0,00003–0,0002	100	0,00003–0,0002
Производство кокса	PR_COKE	кг/т	1,9971	40	3,3618	68	4,976
Процессы агломерации	PR_SINT	кг/т агломерата	0,557	7	1,285	15	8,563
Неорганизованные выбросы агломерационного производства	PR_SINT_F	кг/т агломерата	0,104	7	0,24	15	1,6
Фабрика окатышей	PR_PELL	кг/т окатышей	0,03	100	0,03	100	0,03
Производство чугуна	PR_PIGI	кг/т чугуна в чушках	0,15	10	0,24	16	1,48
Производство чугуна (неорганизованные выбросы)	PR_PIGI_F	кг/т чугуна в чушках	0,15	6	0,25	10	2,5
Мартеновская печь	PR_HEARTH	кг/т стали	6,33	60	8,76	83	10,55
Кислородный конвертер	PR_BAOX	кг/т стали	10,45	50	14,63	70	20,9
Дуговая электропечь	PR_EARC	кг/т стали	7,55	43	10,18	58	17,55
Чугунолитейные заводы	PR_CAST	кг/т чугуна	10,68	71	13,55	90	15,05
Чугунолитейные заводы (неорганизованные выбросы)	PR_CAST_F	кг/т чугуна	1,38	24	2,82	49	5,75
Производство алюминия (первичного)	PR_ALPRIM	кг/т алюминия	18,5	39	27,26	58	47
Производство алюминия (вторичного)	PR_ALSEC	кг/т алюминия	5,195	44	6,93	58	11,9
Другие цветные металлы	PR_OT_NFME	кг/т металла	12,3	82	13,8	92	15
Производство цемента	PR_CEM	кг/т цемента	23,4	18	54,6	42	130
Производство извести	PR_LIME	кг/т извести	1,4	1	12	12	100
Переработка нефти (нефтеперерабатывающие заводы)	PR_REF	кг/т сырой нефти	0,096	79	0,12	98	0,122
Производство удобрений	PR_FERT	кг/т	18	36	30	60	50
Производство технического углерода	PR_CBLACK	кг/т	1,44	81	1,6	90	1,78
Производство стекла	PR_GLASS	кг/т стекла	2,96	91	3,09	95	3,25
Другие производства (ПХВ, гипса, стекловолокна)	PR_OTHER	кг/т продукта	0,5–8	3–46	2–15	11–86	5–17,5

127. Таким образом, основными источниками выбросов пыли являются процессы сжигания, особенно угля, нефтяного топлива и биомассы и черного щелока в целлюлозно-бумажной промышленности и такие технологические процессы, как агломерация, производство цемента и т.д., а также хранение твердых материалов, обращение с ними и их механическая обработка.

128. Есть кадастры выбросов ЧУ как на глобальном, так и местном уровнях. В справочном документе [21] дается общий обзор имеющихся глобальных кадастров [22] [23] [24] [25]. Модель GAINS была расширена, охватив ЧУ и ОУ [27]. МИПСА подготовил доклад об определении коэффициентов выбросов [26]. Хотя по-прежнему остаются значительные неопределенности, касающиеся таких

источников, как процессы сжигания, сельскохозяйственные палы и атмосферное горение биомассы (природные пожары и предписываемые лесные палы), есть консенсус в отношении наиболее крупных источников выбросов ЧУ. К этим источникам относятся [17] [19].

129. В регионе Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций:

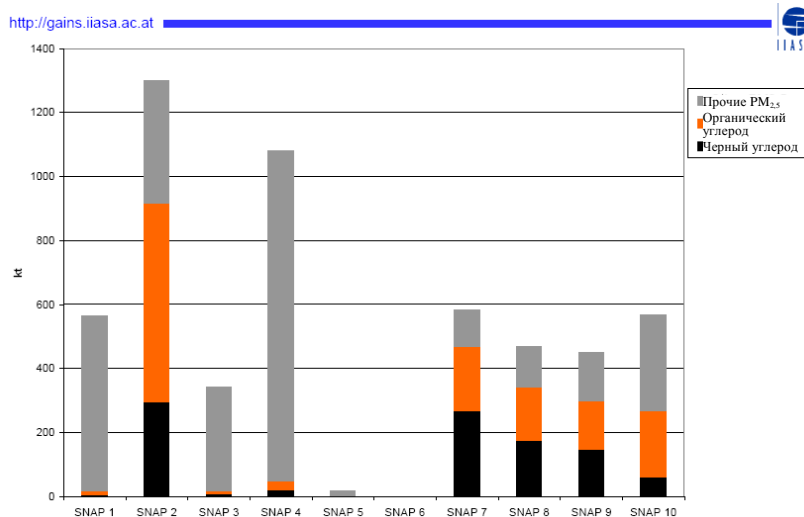
- а) дизельные двигатели дорожных и внедорожных транспортных средств, включая двигатели морских судов;
- б) бытовой сектор в силу выбросов из источников бытового теплоснабжения, в первую очередь в результате сжигания не только древесины, но и угля;
- с) сектор открытого сжигания биомассы, в первую очередь в результате выбросов от сельскохозяйственных пожаров, предписанных палов в лесах и природных пожаров.

130. В мире к крупным источникам выбросов относятся печи домашних хозяйств для приготовления пищи во всех регионах; печи для обжига кирпича и коксовые печи в Азии; а также дизельные двигатели дорожных и морских транспортных средств во всех регионах; открытое сжигание биомассы во всех регионах. В большинстве публикаций сжигание в факелах на месторождениях ископаемых топлив также относится к значительным источникам выбросов ЧУ.

131. Ниже приведена диаграмма, на которой отражены источники выбросов в регионе Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций, полученные с использованием модели GAINS [28]. В этом регионе крупнейшими источниками выбросов ЧУ являются сжигание топлива (биомассы и угля) в жилищно-бытовом секторе и дорожные и внедорожные транспортные средства. Внедорожные источники и открытое сжигание биомассы в сельском хозяйстве также входят в категорию весьма значительных источников.

Диаграмма 1

**Источники выбросов ЧУ и ОУ в регионе Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций, определенные с использованием модели GAINS [28]**



Ссылки:

SNAP 1: Процессы сжигания топлива на энергетических предприятиях и предприятиях перерабатывающей промышленности

- SNAP 2: Непромышленное сжигание топлива
- SNAP 3: Сжигание топлива в обрабатывающей промышленности
- SNAP 4: Производственные процессы
- SNAP 5: Добыча и распределение ископаемого топлива и геотермальной энергии
- SNAP 6: Использование растворителей и других продуктов
- SNAP 7: Дорожный транспорт
- SNAP 8: Прочие мобильные источники и оборудование
- SNAP 9: Обработка и удаление отходов
- SNAP 10: Сельское хозяйство

132. Для подавления образования пыли и ограничения ее выбросов применяются различные меры, в частности повышение энергоэффективности (раздел В главы II), переход на другие виды топлива, очистка топлива, совершенствование методов обработки материалов, а также очистные технологии. Для достижения наиболее эффективного сокращения выбросов кроме управленческих мер следует рассматривать весь комплекс мер. Чтобы определить наилучшее сочетание мер, необходимо проводить оценку на месте.

## **В. Переход на другие виды топлива**

133. Хотя переход на другие виды топлива является важным вариантом сокращения выбросов пыли, образующихся в результате сжигания, этот процесс определяется такими конкретными факторами, как инфраструктура и энергетическая политика. Как правило, выбросы сокращаются, если горение топлива является гомогенным процессом, а само топливо содержит мало серы и меньше минеральных примесей и больше водорода. Поэтому сжигание природного газа обычно сопровождается низкими выбросами, а сжигание нефтяного топлива, биомассы и угля, если оно не сопровождается мерами по ограничению, ведет к повышенным выбросам пыли.

134. ЧУ образуется главным образом в результате неполного сгорания топлива. Вид топлива влияет на вероятность полного сгорания, а поэтому сокращения образования ЧУ можно добиться путем использования видов топлива, исключающих неполное сгорание [19]:

135. Газообразные топлива (например, природный газ) легко смешиваются с кислородом, что снижает выбросы углеродистых частиц.

136. Для сжигания в факеле жидкие топлива (например, бензин) должны испаряться. Если жидкое топливо содержит тяжелые нефтяные фракции, его испарения и надлежащего смешения с кислородом добиться трудно.

137. Твердые топлива (например, древесина) требуют предварительного разогрева и последующего воспламенения перед факельным сжиганием. Топливо с высоким содержанием влаги подавляет полное факельное сгорание, способствуя образованию как частиц бурого углерода (БУ), так и частиц черного углерода.

138. Выбор топлива может также оказывать влияние на выбросы других загрязнителей, в частности, таких как сера,  $\text{NO}_x$  и парниковые газы, а также на возможность и необходимость применения мер по ограничению выбросов.

## С. Очистка топлива

139. Очистка угольного и нефтяного топлива имеет большое значение.

140. К традиционным методам очистки угля в основном относятся гравитационное разделение золы и соединений серы с применением отсадочных машин, ванн с тяжелой средой, циклонов или машин для флотации измельченного угля. При сохранении 60–90% и 85–98% теплотворной способности угля можно обеспечить улавливание 60% золы и 10–40% содержащейся серы. Удаление как серы, так и золы способствует снижению выбросов пыли. Степень удаления серы увеличивается в зависимости от содержания в угле серного колчедана [4]. Перспективные технологии основываются главным образом на:

- а) усовершенствованной физической очистке (усовершенствованная пенная флотация, электростатическая сепарация, разделение в тяжелой жидкости);
- б) предварительной обработке жидкой фазы (биотехнология, обработка в гидротермальных условиях, ионный обмен);
- в) селективной агломерации (Otisca, LICADO, сферическая агломерация, Aglofloat);
- г) предварительной обработке органической составляющей (деполимеризация, алкилирование, набухание под воздействием растворителя, добавка катализатора (например, карбонила), удаление органической серы).

141. Эти перспективные технологии очистки еще находятся на этапе доработки или применяются в экспериментальном порядке [4]. Помимо сокращения содержания серы и выбросов пыли, к их подтвержденным достоинствам относятся низкие расходы на транспортировку, если уголь уже был очищен на шахте, более высокая готовность котельной установки, пониженные шлакообразование и загрязнение, пониженный износ оборудования и уменьшение нагрузки по пыли. К недостаткам относятся потеря энергии в результате очистки (2–15%), затраты на энергообеспечение технологических процессов и повышенное содержание влаги в угле, если в процессах используется вода [4].

142. Для очистки нефтяного топлива от серы до нормативов, установленных в Директиве 1999/32/ЕС (содержание серы в тяжелом и легком нефтяных топливах менее 1%, соответственно 0,1% по весу), широко применяется его десульфуризация. Удаление серы сокращает пылевые выбросы соединений серы (в разделе D главы III описываются процессы десульфуризации нефтяных топлив).

## Д. Первичные меры

143. *Разгрузка, обращение с твердыми веществами и их хранение.* Во время разгрузки, хранения и обращения с твердыми веществами могут происходить выбросы пыли. Как правило, размер частиц в выбросах пыли, образованных во время разгрузки, хранения и обращения с твердыми веществами, превышает размер частиц пыли, образующихся, например, в процессах сжигания. Использование закрытых или расположенных в помещениях систем, например, укрытых систем непрерывного транспортирования, и уменьшение высоты падения могут сократить выбросы пыли в результате разгрузки и обращения [3]. Подходы к обеспечению минимальных выбросов во время хранения можно подразделить на первичные меры, которые сокращают выбросы, и вторичные меры, которые призваны ограничить распространение пыли [2]. Первичные меры можно далее подразделить на организационные, конструкционные и технические меры. К техническим первичным мерам относятся укрытия от ветра, закрытое хранение или



недопущение открытого хранения и увлажнение мест открытого хранения, например путем использования водораспылительных установок. Вторичные меры включают обрызгивание, водяные экраны и струйное опрыскивание, а также установка фильтров, например в бункерах (силосах) [2]. Разбрызгивание воды также относится к мерам, сокращающим выбросы пыли со строительных площадок.

144. *Улавливание выбросов.* Необходимым условием для последующей борьбы с пылью является улавливание неорганизованных выбросов пыли, например на металлургических комбинатах, и их направление в системы пылеподавления.

145. *Технологии сжигания и их оптимизация.* При ровном, непрерывном и полном сгорании образуется меньше выбросов пыли (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ). Оптимальная подача воздуха, смешивание топлива и воздуха, а также конструкция горелок/котла снижают образование сажи и других веществ, образующихся в результате неполного сгорания, в частности ЧУ. Поэтому надлежащая эксплуатация котлоагрегатов и использование новых, более эффективных котлов и печей, особенно в жилищно-бытовом и коммерческом секторах, могут сократить выбросы пыли и ЧУ. Таким путем можно существенно сократить выбросы от дровяных и угольных печей. Переход от периодической к непрерывной эксплуатации позволяет лучше контролировать процесс сжигания и сокращать выбросы пыли и ЧУ. Однако первичные меры, направленные на сокращение выбросов  $NO_x$ , могут увеличить образование сажи (глава IV). Снижение температуры сжигания уменьшает летучесть золы. Для подавления образования тонкодисперсных частиц и металлического балласта в тонкодисперсных частицах предлагается использовать присадки к топливу и сорбенты. При комбинированном цикле внутрицикловой газификации (КЦВГ) топливо газифицируется в зоне восстановления, превращаясь в сингаз. Далее сингаз очищается и сжигается либо в воздушной, либо в кислородной среде. Это позволяет добиться очень низких уровней выбросов пыли. КЦВГ рассматривается в качестве одной из ключевых технологий для улавливания и хранения углерода (УХУ). К настоящему времени ее применение ограничивается несколькими, главным образом опытно-промышленными установками. Технология УХУ-КЦВГ, возможно, будет применяться в промышленных масштабах примерно к 2020 году [5].

## Е. Вторичные меры

146. *Вторичные меры* (доочистка или очистка в конце технологического цикла) сокращают выбросы дисперсного вещества, которое уже содержится в отходящих газах. В основу вторичных мер положены несколько основных принципов:

- a) инерция частиц;
- b) отсеивание и адсорбция;
- c) электризация частиц с последующим осаждением в электрическом поле;
- d) скруббирование.

147. В основном применяются следующие вторичные меры<sup>a</sup>, каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки в зависимости от размера частиц. Поскольку ЧУ, образовавшийся в результате неполного сгорания, состоит главным образом из частиц диаметром менее 1 мкм, высокой эффективностью в случае выбро-

<sup>a</sup> Технические характеристики, приведенные в нижеследующих пунктах, относятся к котельным установкам.

сов ЧУ обладают только те технологии, которые способны удалять тонкодисперсные частицы:

а) *Гравитационные пылеосадительные камеры*: в гравитационных пылеосадительных камерах поддерживается уменьшенный расход воздуха, а поэтому крупные частицы опускаются и оседают. Гравитационные пылеосадительные камеры используются только для предварительной очистки. Минимальный размер удаляемых частиц с использованием гравитационного осаждения составляет  $>20$  мкм [1]. В таблице 9 приводятся показатели эффективности очистки пылеосадительных камер. Эти аппараты не пригодны для очистки от тонкодисперсных частиц и ЧУ;

б) *Циклоны*. В циклонах для улавливания пыли используется инерция частиц. В циклоне поток запыленного газа поступает в аппарат, совершая вращательное движение (обычно в конической части), где под действием инерции частицы пыли оседают на стенках циклона, откуда они попадают в бункер для сбора пыли. Эффективность очистки в значительной степени определяется размером частиц и она возрастает с увеличением нагрузки по загрязнителю. У обычных одиночных циклонов эффективность очистки, по оценкам, составляет 70–90% по ОВЧ, 30–90% по  $PM_{10}$  и 0–40% по  $PM_{2,5}$  [6]. Минимальный размер удаляемых частиц в циклонах составляет 5–25 мкм в одиночных циклонах и 5 мкм в батарейных циклонах [1]. Поэтому обычные циклоны называются предварительными пылеочистителями. Как таковые обычные циклоны не относятся к НИМ для промышленных установок, хотя их можно было бы использовать в качестве варианта сокращения выбросов пыли из небольших топливосжигающих установок, например в домашних хозяйствах или в коммерческом секторе. Разработаны высокоэффективные циклоны, позволяющие удалять 60–95%  $PM_{10}$  и 20–70%  $PM_{2,5}$ , но за счет значительного гидравлического падения давления, ведущего к увеличению энергозатрат и тем самым к росту эксплуатационных расходов [6]. Достижение высокой эффективности очистки в циклонах в основном связано с проблемой возникающего падения давления. Высокие прямоточные циклоны были разработаны специально для удаления грубодисперсных фракций за счет только небольшого падения давления. В групповых циклонах несколько небольших циклонов работают параллельно, обеспечивая эффективность удаления, равную или превышающую эффективность высокопроизводительных циклонов [6]. Применение циклонов в качестве предварительных пылеуловителей абразивных частиц может также продлить срок службы другого очистного оборудования. Циклоны могут также использоваться для извлечения рециркулируемых продуктов, технологических материалов и т.д. из дымовых газов, например в черной и цветной металлургии. К преимуществам циклонов относятся: небольшие инвестиции, низкие эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание в сравнении с объемом улавливаемого дисперсного вещества, диапазон температур и давления ограничивается только материалом, сбор сухого вещества и относительно небольшие размеры. Недостатки включают низкую эффективность очистки от тонкодисперсной фазы (или, иначе говоря, высокое падение давления) и невозможность применения клейких материалов. Эффективность очистки циклонов от ЧУ можно принять равной эффективности, полученной для  $PM_{2,5}$ ;

с) *Электрические фильтры (ЭФ)*. Принцип действия ЭФ построен на том, что частицам, содержащимся в потоке отходящих газов, при прохождении через зону ионизированного газа (корону) сообщается электростатический заряд, создаваемый электродами, которые находятся под сильным напряжением (около 20–100 кВ). Затем заряженные частицы под воздействием электрического поля притягиваются к стенкам пылесборника и оседают на них. Поскольку крупные частицы абсорбируют больше ионов, чем более мелкие, ЭФ эффективнее улавливают крупные частицы. На новых ЭФ, как правило, можно добиться эффективно-

сти очистки дисперсного вещества от 99% до, примерно, 99,9%, если соблюдены требования по размерам и обеспечен оптимальный режим функционирования, в диапазоне от 0,01 до >100 мкм. Эффективность старых ЭФ составляет от 90% до 99,9% [1] [7] [8]. ЭФ могут улавливать частицы минимальным размером <1 мкм [1]. Эффективность очистки снижается для частиц диаметром от 0,1 до 1 мкм. Эффективность ЭФ зависит не только от их размеров (сборной площади), но и сопротивления пыли, температуры, химического состава пыли и газа и распределения частиц по размерам. Удельное электрическое сопротивление пыли является одной из важнейших характеристик, определяющих работу ЭФ. При хороших и устойчивых условиях сгорания частицы большей частью состоят из неорганических элементов, таких как соли, которые обладают превосходной проводимостью и эффективно удаляются ЭФ. Сажа и ЧУ проявляют высокую проводимость, что обеспечивает не только высокую эффективность осаждения, но приводит к сильному вторичному уносу агломерированных частиц. Конденсирующиеся органические соединения (КОС), образованные в результате сгорания древесины (которые образуются при низких температурах в процессе пиролиза древесины с образованием характерных соединений в зависимости от времени пребывания, интенсивности нагрева, температуры и других технологических параметров и при умеренной температуре и локальном недостатке кислорода), имеют низкую проводимость, а это приводит к образованию обратной короны, что ухудшает работу ЭФ [29] [30].

Пыль из пылесборников может удаляться как сухим, так и влажным методом с использованием опрыскивания обычно водой (сухие или мокрые ЭФ). Сухие ЭФ применяются шире, поскольку собирать сухую пыль легче, чем жидкий шлам, который требует дальнейшей обработки. Мокрые ЭФ нуждаются в коррозионно стойких материалах. Однако удаление частиц с крайне низким или высоким удельным сопротивлением в сухих ЭФ затруднено, тогда как мокрые ЭФ могут также удалять как частицы с большим сопротивлением, так и клейкие частицы, туманы и взрывоопасную пыль. Мокрые ЭФ также отличаются более высокой эффективностью удаления мелких частиц. Ввод газообразных, жидких и твердых добавок перед фильтром, в частности воды и  $\text{SO}_3$ , может повысить эффективность очистки [1]. К преимуществам ЭФ, как правило, относят крайне малое падение давления, высокую эффективность удаления пыли (но менее высокую для тонкодисперсных частиц), низкие эксплуатационные расходы, а также широкий диапазон применения (клейкие и раскаленные частицы, частицы с высоким удельным сопротивлением (мокрые ЭФ), туманы, кислоты, аммиак, взрывоопасные газы (мокрые ЭФ)) [1] [7] [8]. К их недостаткам следует отнести крупные капитальные затраты, потребность в больших площадях, образование озона под действием высокого напряжения, потребность в квалифицированном персонале, допущенном к работе на объектах, находящихся под высоким напряжением, и ограниченная применимость в случае изменения характеристик дымовых газов (расход, температура, содержание пыли, состав пыли), а также необходимость последующей обработки шлама (мокрые ЭФ), хотя можно добиться почти замкнутых систем водоснабжения [1] [7] [8].

В случае установок для сжигания ЭФ могут гарантированно обеспечить низкий уровень выбросов пыли и ЧУ, если созданы устойчивые и хорошие условия сгорания. Наоборот, в изменяющихся условиях выбросы пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и черный углерод) могут возрастать не только в результате увеличения концентраций газа, но и в результате снижения эффективности осаждения. Несмотря на принятие всех соответствующих мер для обеспечения устойчивой работы установок для сжигания, возникновение промежуточных условий может оказаться неизбежным, и в период существования этих условий выбросы могут увеличиться даже при наличии ЭФ.

Для достижения высокой эффективности очистки от пыли и ЧУ с использованием ЭФ в справочных источниках [29] [30] даются следующие рекомендации по сжиганию биомассы:

- i) оптимальная конструкция и комплексное объединение систем сжигания и ЭФ, обеспечивающие их устойчивую работу;
- ii) комплексный контроль за работой ЭФ с использованием конкретной информации о свойствах частиц: температура дымовых газов (что нередко делается в настоящее время), коэффициент избытка воздуха, температура горения, содержание воды в топливе. Это позволяет расширить диапазон условий, при которых обеспечивается эффективная работа ЭФ;
- iii) меры по предотвращению вторичного уноса: ограничение скорости потока газа до  $<1,5$  м/с, оптимальная форма осадительных электродов, более короткий интервал пылеудаления во время режимов вторичного уноса.

Проблему низкой эффективности ЭФ при очистке от субмикронных частиц можно решить путем совместного использования ЭФ и ТФ или путем использования агломератора (см. ниже). Эти два метода были квалифицированы ГЭТЭВ как новые методы [31];

d) *Тканевые фильтры (ТФ)*. В ТФ дымовые газы проходят через проницаемую ткань, где происходит отсеивание или адсорбция крупных частиц. Фильтровый кек из собранных частиц способствует дальнейшему сбору частиц. Поскольку падение давления возрастает по мере увеличения толщины кека, тканевый фильтр необходимо периодически регенерировать. Применяются три основных механизма очистки: фильтры с импульсной очисткой, очистка которых проводится импульсной продувкой сжатым воздухом с обратной стороны, фильтры с механическим встряхиванием и фильтры с очисткой обратным потоком газа. Фильтры с импульсной очисткой в настоящее время нашли наиболее широкое применение, поскольку для них требуется меньше места, они дешевле и могут применяться при более высоком содержании пыли, а также вызывают постоянное падение давления [1] [9] [10]. Эффективность улавливания составляет от 99% до 99,99% на новых и от 95 до 99,9% на старых установках [1] [9] [10]; она также определяется скоростью фильтрации, характеристиками частиц и ткани и применяемым механизмом очистки. ТФ, в частности, рассчитаны на улавливание тонкодисперсной и ультрадисперсной пыли (зависимости от ткани) и соответственно эффективны для улавливания ЧУ. Кондиционирование дымового газа с использованием в основном элементарной серы, аммиака и  $\text{SO}_3$  применяется для обеспечения более высокой скорости удаления, уменьшения падения давления и снижения вторичного уноса частиц [1]. Новые разработки включают в себя добавление активированного угля или извести для ускорения реакций в кеке, а также каталитического фильтрующего материала [1]. Температура дымового газа зависит от используемого материала фильтра и температуры точки росы дымового газа, которая, как правило, находится в пределах 120–180 °C [1]. Преимуществами ТФ являются крайне низкие уровни выбросов, вплоть до выбросов ультрадисперсных частиц (в зависимости от вида ткани), независимо от содержания пыли, расхода (например, при пуске) и типа пыли (кроме конденсирующихся органических соединений ввиду их клейких свойств), простота эксплуатации и в целом отсутствие коррозии. К недостаткам относятся относительно высокая стоимость технического обслуживания и эксплуатационные затраты на замену рукавов фильтров (срок эксплуатации зависит от температуры и состава пыли) и падение давления и, в частности, ограничения на применение во влажной среде и в отношении гигроскопичных, раскаленных и клейких частиц, а также кислот, аммиака и взрывоопасных газов [1] [9] [10]. Крупные частицы необходимо предварительно удалять [1]. При отказе оборудования требуется аварийный обходной контур;

е) *Мокрые скрубберы.* При орошении водой потока дымовых газов образуются капли воды, которые вместе с пылью образуют шлам. Скрубберы в основном используются для удаления  $SO_x$ , хотя они также могут одновременно улавливать пыль. Эффективность улавливания доходит до 80% в оросительных колоннах и в динамических и коллизионных скрубберах и до 99% в скрубберах Вентури [1]. Минимальный размер частиц, улавливаемых в оросительных колоннах, составляет  $>10$  мкм, в динамических и коллизионных скрубберах  $>2,5$  мкм и в скрубберах Вентури  $>0,5$  мкм. Преимуществами мокрых скрубберов являются одновременное улавливание  $SO_x$  и пыли (и даже других загрязнителей, в частности таких как HCl и HF), небольшая потребность в техническом обслуживании, достаточно высокая эффективность улавливания (особенно в скрубберах Вентури), небольшие ограничения по применению (колебания расхода, температура, влажность и агрессивность газов, туманов и пыли не имеют большого значения) и пониженная взрывоопасность пыли. Недостатками являются образование отходов (шлама), высокая стоимость технического обслуживания вследствие потенциально значительного падения давления, проблемы и коррозии и достаточно низкая эффективность удаления очень мелких частиц, из которых состоит ЧУ [1];

ф) *Технологии окисления* (описанные в разделе C-2 главы V), которые предназначаются для борьбы с выбросами ЛОС, ПАУ и для дезодорации, могут также применяться на практике в некоторых конкретных областях для разложения органических веществ, в том числе ЧУ. Такие органические вещества, как ЧУ, могут сжигаться. Данное окисление происходит на стадии термического разложения в горелочном устройстве для дожигания отходящих газов или в установке каталитического окисления. Методы окисления используются для снижения выбросов анодных газов, которые частично состоят из смолистых веществ, дегтя и насыщены ПАУ. Методы окисления снижают содержание дегтя, смолистых веществ и конденсирующихся и летучих ПАУ [32] [33];

г) *Перспективные формирующиеся технологии борьбы с пылью включают в себя* [31]:

i) *технологии СОНРАСТМ и ТОХЕCONТМ:* СОНРАСТМ (Компактный гибридный пылеуловитель) и ТОХЕCONТМ, представляющие собой технологии борьбы одновременно с выбросами нескольких загрязнителей – ртути, диоксинов и других загрязнителей, включая тонкодисперсные частицы, были разработаны и применяются в США. При использовании СОНРАСТМ ТФ устанавливается после действующего ЭФ. Поскольку ЭФ улавливает большую часть пыли, скорость фильтрации через ТФ можно существенно увеличить при сохранении умеренного падения давления [11]. Использованию ЭФ может сопутствовать агломерация ультрадисперсных частиц, которые затем удаляются с помощью ТФ. ТОХЕCONТМ предусматривает ввод сухого сорбента, в частности активированного угля, в пространство между ЭФ и ТФ;

ii) *агломератор «Индиго»:* в агломераторе «Индиго» в результате прилипания наночастиц к более крупным частицам происходит образование крупных агломерированных частиц. Агломерированные частицы затем можно легко удалить, используя стандартные технологии, например ЭФ. Указанная технология также позволяет сократить выбросы ртути [12], к тому же ее можно применять для улавливания значительных концентраций ЧУ, для дисперсного состава которого характерны субмикронные частицы.

148. Итак, для уменьшения выбросов пыли существуют многочисленные меры. Некоторые из них, например циклонирование, могут уменьшить содержание не только очень крупных частиц, но, в определенной степени, и грубодисперсных частиц, хотя оно значительно менее эффективно для улавливания тонкодисперс-

ных фракций пыли. Тканевые пылевые фильтры тонкой очистки могут обеспечить очень высокую эффективность улавливания (до 99,99% и более). Высокоэффективные ЭФ, в частности мокрые ЭФ, а также скрубберы Вентури, также способны обеспечить относительно высокую эффективность удаления, достигающие 95–99% для данного класса частиц. Новые методы, такие как использование агломератора «Индиго», могут повысить эффективность очистки от тонкодисперсных частиц электростатическими фильтрами путем увеличения размера частиц.

149. Однако при сравнении эффективности технологий очистки следует учитывать характеристики пыли и дымовых газов, а также другие параметры, такие как пылевая нагрузка, расходы, перепады, поскольку эти факторы могут оказывать большое влияние как на общую эффективность, так и на эффективность очистки от конкретных классов частиц. К тому же скорость удаления во многом зависит от конкретной конструкции пылеуловителя, например от выбора фильтровального материала и габаритов ЭФ, и в конечном итоге от капитальных и эксплуатационных затрат.

Таблица 9

**Эффективность удаления пыли при применении технологий сокращения выбросов пыли различного дисперсного состава в котельных установках**

Категория	Тип	Подтип	Эффективность очистки [%]					
			субмикронные	тонкодисперсные		грубодисперсные		
			<1 мкм	0–2,5 мкм		2,5–6 мкм	6–10 мкм	>10 мкм
			RAINS*	АООС США***	RAINS**	АООС США***	RAINS**	RAINS**
Гравитационные и центробежные пылеуловители	Гравитационный пылеуловитель	высокая эффективность		3,6		5	6	
		средняя эффективность		2,9		4	4,8	
		низкая эффективность		1,5		3,2	3,7	
	Центробежный пылеуловитель	высокая эффективность		80		95	95	
		средняя эффективность		50		75	85	
		низкая эффективность		10		35	50	
Циклон	Одиночный циклон			10		35	50	
	Групповой циклон без ввода золы-уноса			80		35	95	
	Групповой циклон с вводом золы-уноса			50		95	85	
	Циклон/групповой циклон (без указания)		11		30		70	90
	Мокрый циклон-сепаратор			50		75	85	
ЭФ	ЭФ	высокая эффективность	98,6	95	99	99	99,5	99,9
	ЭФ	средняя эффективность (не указано)	95,4		96		99	99,9

Категория	Тип	Подтип	Эффективность очистки [%]						
			субмикронные	тонкодисперсные		грубодисперсные			крупные
			<1 мкм	0–2,5 мкм		2,5–6 мкм	6–10 мкм	2,5–10 мкм	>10 мкм
			RAINS*	АООС США***	RAINS**	АООС США***	RAINS**	RAINS**	
ЭФ	ЭФ	низкая эффективность (не указано)	91,96		93			95	97
	Мокрый ЭФ				99			99,9	99,95
	ЭФ: котлы	средняя эффективность		50		80	94		
		низкая эффективность		40		70	90		
	ЭФ: кроме котлов	средняя эффективность		80		90	97		
		низкая эффективность		70		80	90		
Тканевый фильтр	Тканевый фильтр	высокая температура	99,99	99		99,5	99,5		
		средняя температура		99	99	99,5	99,5		
		низкая температура	95	99	96	99,5	99,5	99,9	99,98
Скруббер	Водораспылительная башня			20		80	90	99	99,5
	Мокрый скруббер	высокая эффективность		90		95	99		
		средняя эффективность		25		85	95		
		низкая эффективность		20		80	90		
	Скруббер Вентури			90		95	99		
Прочие	Замкнутый процесс			1,5		3,2	3,7		
	Подавление выбросов пыли распылением воды			40		65	90		
	Подавление выбросов пыли химическими стабилизаторами или смачивающими агентами			40		65	90		
	Водяной экран			10		45	90		
	Наилучшая практика: промышленные процессы (неорганизованные)	Этап 1	20		10			15	20
	Наилучшая практика: промышленные процессы (неорганизованные)	Этап 2	65,33		30			50	75

\* Kupiainen, K. and Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Interim report IR-04-79, pp 122.

\*\* Klimont, Z. J. Cofala, I. Bertok, M. Amann, C Heyes & F. Gyarmas (2002): Modelling Particulate Emissions in Europe. – NASA Interim Report IR-02-076, 179 p.

\*\*\* US EPA (1996): AP 42, Volume I, Filth Edition, Appendix B.2 Generalized Particle Size Distributions.

150. Поскольку большая часть выбросов ЧУ имеет дисперсный состав, который характеризуется тонкодисперсными и субмикронными частицами, методы улавливания тонкодисперсных и особенно субмикронных частиц, указанные в таблице 9, могут служить примерным ориентиром эффективности удаления ЧУ.

151. Выбор наиболее подходящих мер зависит от многих факторов, в частности таких как:

- a) характеристики дымового газа (концентрация пыли и такие ее характеристики, как распределение по размерам частиц, удельное сопротивление, температура, влажность, присутствие других загрязнителей, в частности кислот,  $SO_x$  и т.д.);
- b) расходы и колебания дымовых газов;
- c) режим работы установки;
- d) характеристики промышленных процессов;
- e) новая или модернизированная установка, например доступные площади;
- f) нормированные уровни выбросов;
- g) побочные последствия и воздействия на другие среды;
- h) эксплуатационная безопасность и надежность;
- i) особенности площадки;
- j) затраты.

## **Е. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов пыли**

152. При выборе метода сокращения выбросов пыли большое значение приобретает вопрос о затратах. Большая доля может приходиться на следующие расходы [13]:

- a) вмененные амортизационные отчисления и вмененный процент;
- b) затраты на оплату персонала;
- c) расходы на вспомогательные и эксплуатационные принадлежности;
- d) затраты на энергоресурсы;
- e) расходы на обслуживание и ремонт, расходы на мониторинг и расходы на внешние услуги;
- f) налоги, экологические платежи (например, платежи за сброс сточных вод), сборы, коммунальные платежи.

153. В целом увеличение затрат перекрывается выгодами от эффективности метода сокращения выбросов, а поэтому более крупные установки зачастую оказываются более рентабельными. Нередко возможна модернизация действующих установок, но, как правило, она сопряжена с более высокими затратами.

154. Капитальные затраты на ЭФ относительно высоки, но затраты на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы относительно низки, в частности, в результате незначительного падения давления. Другие расходы связаны с оплатой квалифицированного персонала, допущенного для работы на находящихся под напряжением установках, а при использовании мокрых ЭФ расходы на обработку шлама.



155. Что касается тканевых фильтров, то их отличают небольшие капитальные затраты, но более высокие расходы на техническое обслуживание и эксплуатационные расходы, поскольку приходится периодически менять (в зависимости от характеристик дымовых газов и пыли) рукава, а также из-за падения давления, колеблющегося от умеренного до высокого.

## **Г. Побочные последствия**

156. Побочные последствия вариантов/методов борьбы с выбросами могут быть как положительными, так и отрицательными, и это следует учитывать. Побочные последствия обычно ослабляются путем надлежащего проектирования и эксплуатации установок. Побочные последствия включают в себя:

- а) воздействие на энергопотребление и, следовательно, на выбросы парниковых газов;
- б) воздействие на другие загрязнители воздуха;
- в) воздействие на использование природных ресурсов;
- г) воздействие загрязнения одной среды на другую, например на отходы или воду.

157. Основное побочное последствие сокращения выбросов пыли заключается в одновременном уменьшении содержания тяжелых металлов (за исключением ртути) [14]. В зависимости от характеристик и химического состава уловленную пыль можно либо использовать повторно, например в чугунолитейном и сталелитейном производствах, либо удалять.

158. Точнее говоря, к побочным последствиям, которые следует учитывать при использовании различных технологий уменьшения выбросов дисперсного вещества, относятся:

а) *Электрические фильтры (ЭФ)*. При использовании ЭФ основным побочным последствием является потребление электроэнергии для создания короны и электрического поля. Однако поскольку давление в ЭФ падает незначительно, суммарное потребление электроэнергии значительно уступает ее потреблению в ТФ, в которых необходимо компенсировать значительное падение давления. Для мокрых ЭФ необходима обработка шлама, но рециркуляция воды достигает практически 100%, а это снижает образование отходов. Поскольку ЭФ имеют более низкую эффективность улавливания частиц размером от 0,1 до 1 мкм, ЭФ намного хуже улавливают тяжелые металлы, чем ТФ;

б) *Тканевые фильтры (ТФ)*. Фильтровальную ткань, если ее регенерация невозможна, следует заменять через каждые 2–4 года (срок службы зависит от различных факторов), чтобы не допустить образования кека. Падение давления в ТФ следует компенсировать за счет подкачки, приводящей к дополнительному энергопотреблению. Поскольку ТФ очень эффективно улавливают тонкодисперсные частицы, они также эффективно уменьшают выбросы тяжелых металлов, которые содержатся в пыли дымовых газов в виде субмикронных частиц.

## **Справочные материалы, использованные в главе VI:**

1. Ohlström, M. and others (2006). *Combating particulate emissions in energy generation and industry: Views and conclusions of the FINE Particles*. Technology, Environment and Health Programme.

2. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for Emissions from Storage*, p. 460. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
3. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants*, p. 618. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
4. Worldbank (2008). Coal Cleaning. Available from <http://www.worldbank.org/html/fpd/em/power/EA/mitigatn/aqsocc.stm>. Accessed 27 September 2008.
5. Prepared in the Framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2008). Emerging techniques and technologies for large combustion plants > 500 MWth up to 2030. Available from <http://www.citepa.org/old/forums/egtei/EGTEI%20Emerging%20techniquesFinal%20report.pdf>.
6. United States Environmental Protection Agency. *Air Pollution Technology Fact Sheet: Cyclones*. EPA-452/F-03-005.
7. United States Environmental Protection Agency. *Air Pollution Technology Fact Sheet: Wet Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Pipe Type*. EPA-452/F-03-029.
8. United States Environmental Protection Agency. *Air Pollution Technology Fact Sheet: Dry Electrostatic Precipitator (ESP) – Wire-Plate Type*. EPA-452/F-03-027.
9. United States Environmental Protection Agency. *Air Pollution Technology Fact Sheet: Fabric Filter, Pulse-Jet Cleaned Type*. EPA-452/F-03-025.
10. United States Environmental Protection Agency. *Air Pollution Technology Fact Sheet: Fabric Filter, Mechanical Shaker Cleaned Type*. EPA-452/F-03-024.
11. Miller, R. and others (2003). *Effective use of both COHPACT<sup>TM</sup> and TOXECON<sup>TM</sup> technologies as the «Technology of the future» for particulate and mercury control on coal-fired boilers*. International Power-Gen Conference, Las Vegas, United States of America.
12. Truce, R. (2008). *Enhanced fine particle and mercury emission control using the Indigo Agglomerator*. VGB powertech, vol. 88, pp. 95-101.
13. Verein Deutscher Ingenieure (2001). *Determination of costs for industrial environmental protection measures*. Guidelines 3800. Berlin : Beuth-Verlag.
14. Kraus, K. and others (2006). *Assessment of technological developments: Best Available Techniques and limit values*. Task Force on Heavy Metals, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
15. Green house Gas and Air Pollution Interactions and Synergies, Europe. Available from <http://gains.iiasa.ac.at/index.php/gains-europe>.
16. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. Informal document n°4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
17. Arctic Council (2011). *An Assessment of Emissions and Mitigation Options for Black Carbon for the Arctic Council*. Technical Report of the Arctic Council Task Force on Short-Lived Climate Forcers.
18. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organization (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone: Summary for Decision Makers*.

19. United States Environmental Protection Agency (2012). *Report to Congress on Black carbon*.
20. Kupiainen, K. and others (2007). *Primary Emissions of fine carbonaceous particles in Europe*. Atmospheric environment, 41 (10):2156-2170.
21. Hansson, H.C. and others (2011). *Black carbon – Possibilities to reduce emissions and potential effects*. IVL Swedish Environmental Research Institute.
22. Visschedijk, A.J.H. and others (2009). *A European high-resolution and sizedifferentiated emission inventory for elemental and organic carbon for the year 2005*. TNO-034-UT-2009-00688\_RPT-ML, The Netherlands.
23. Van der Gon, H. and others (2007). *Anthropogenic and Biogenic Emissions of Aerosols and Precursors. In Proceedings of 2007 EUCAARI Annual Meeting Helsinki 20–22.11.2007*. Kulmala et al. (Eds.), Report Series in Aerosol Science, 91, Available from [http://www.atm.helsinki.fi/~asmi/EUCAARI/EUCAARI\\_rs91.pdf](http://www.atm.helsinki.fi/~asmi/EUCAARI/EUCAARI_rs91.pdf).
24. Bond, T.C. and others (2004). *A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion*. Journal of Geophysical Research, vol. 109, issue. D14203.
25. Junker, C. and others (2008). *A global emission inventory of carbonaceous aerosol from historic records of fossil fuel and biofuel consumption for the period 1860–1997*. Atmos. Chem. Phys., 8, 1195-1207.
26. Kupiainen, K. and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Interim report IR-04-79.
27. Amann, M. (2008). *Interim Report on Modelling Technology*. European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies – EC4MACS.
28. Klimont, Z. (2011). *Current Emissions and Baseline Projections of Black Carbon in United Nations Economic Commission for Europe area GAINS model – working progress*. TFEIP Stockholm, May 2-3, 2011. United Nations Economic Commission for Europe.
29. Nussbaumer, T. and others (2010). *Formation mechanisms and physical properties of particles from wood combustion for design and operation of electrostatic precipitators*.
30. Nussbaumer, T. (2010). *Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission levels of Particulate Matter*. Prepared for the Swiss Federal Office for the Environment and Expert Group on Techno-Economic Issues. Zurich, June 2010.
31. Prepared in the Framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2008). *Emerging techniques and technologies for large combustion plants > 500 MWth up to 2030*. Available from <http://www.citepa.org/old/forums/egtei/EGTEI%20Emerging%20techniquesFinal%20report.pdf>.
32. Peeters Weem, A. INFO MIL The Netherlands (2012). Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic issues. Review of the guidance document for inclusion of information on black carbon emission reduction techniques.
33. Mannweiler, U. and others (2006). *An anode plant in urban area: fiction or reality*. 12th Arabal, Sharm El-Sheikh, 02-05 April 2006.
34. The International Council on Combustion Engines (2012). *Background information on Black carbon from large marine and stationary diesel engines*. Defini-

tion, measurement methods, emission factors and abatement technologies. Available from [http://www.cimac.com/cimac\\_cms/uploads/explorer/Working%20groups/black\\_carbon.pdf](http://www.cimac.com/cimac_cms/uploads/explorer/Working%20groups/black_carbon.pdf).

## **VII. Имеющиеся технологии для различных видов деятельности**

### **A. Установки для сжигания мощностью <1 МВт, включая бытовые установки для сжигания**

#### **1. Охват**

159. В зависимости от сжигаемого топлива бытовое огнетехническое оборудование может быть крупным источником выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ , ЛОС и пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  и черный углерод (ЧУ)). В настоящей главе рассматривается бытовое оборудование, используемое для отопления жилищ и горячего санитарно-бытового водоснабжения. Она охватывает установки с эффективной тепловой мощностью <1 МВт.

#### **2. Технологии сжигания**

160. Бытовое огнетехническое оборудование может работать на различных видах топлива, таких как природный газ, нефтяное топливо, древесина и уголь. В этом оборудовании могут использоваться различные технологические схемы, типы горелок и конструкции котлов. Для сжигания древесины и угля могут применяться такие бытовые устройства, как печи, каминные вставки и открытые камины, а также котлы с ручной и механизированной подачей топлива.

##### *a) Горелочные устройства*

##### *i) Газообразное топливо*

161. Горелки на газообразном топливе относятся к распыляющему типу горелок. Распыливание увеличивает площадь контакта воздуха горения и топлива, тем самым улучшая процесс горения. Используются как атмосферные горелки, так и горелки с принудительной подачей воздуха.

162. Горелки на газообразном топливе могут работать в различных эксплуатационных режимах: импульсном (вкл/выкл), двухступенчатом, модулирующем.

163. Импульсные горелки работают при номинальной нагрузке.

164. Двухступенчатые горелки работают при номинальной нагрузке или 40–60% нагрузке в зависимости от требуемого теплового режима.

165. Модулирующие горелки работают в плавно изменяющемся режиме в зависимости от требуемого теплового режима при минимальной 30% нагрузке. Такой эксплуатационный режим позволяет лучше контролировать расход топлива. Таким образом, сокращаются выбросы, особенно выбросы при запуске и остановке установки [1].

166. В бытовом оборудовании могут применяться различные горелки на газообразном топливе.

167. Горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  подавляют образование выбросов  $\text{NO}_x$ . Один из методов заключается в возвращении отработанных газов в горелку через воздухозаборное устройство. Это понижает температуру пламени и концентрацию кислорода, что позволяет сократить образование выбросов  $\text{NO}_x$ .

168. В горелках с предварительным смешением газообразное топливо смешивается с воздухом в камере предварительного смешения. Затем газовоздушная смесь распределяется по поверхности образующегося конуса горения. Можно использовать различную конфигурацию этой площади. Этот метод позволяет контролировать и оптимизировать процесс смешения. В его основу положено требуемое соотношение воздух/топливо. Он не допускает избытка воздуха в процессе горения, а тем самым подавляет образование выбросов  $\text{NO}_x$ . Эту технологию можно использовать с каталитическим сжиганием.

169. Радиационные горелки используются исключительно с газообразным топливом. Данная технология позволяет понижать температуру пламени и, таким образом, ограничивать выбросы  $\text{NO}_x$  в процессе сгорания.

ii) Жидкие топлива

170. Жидкотопливные горелки в основном относятся к распылительному типу и работают в тех же режимах, в каких работают горелки на газообразном топливе, т.е. импульсном, двухступенчатом и модулирующем.

171. В бытовом оборудовании могут применяться различные жидкотопливные горелки.

172. Распылительные горелки – это горелки, в которых жидкое топливо распыляется в газообразном состоянии. Это позволяет добиться более полного сгорания и тем самым ограничить выбросы загрязнителей, хотя этот тип горелок редко применяется в котлах.

173. Горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  также применяются для сжигания жидкого топлива, при этом принцип их работы мало отличается от сжигания газообразного топлива.

iii) Биотопливо

174. При сжигании древесины в котлах или печах горелки в основном используются для сжигания древесных гранул (пеллет). Гранулы загружаются в горелки механически с помощью шнековой системы подачи топлива.

b) Технологии сжигания в котлах, работающих на газообразном и жидком топливах

175. Котел, работающий на жидком топливе или газе, как правило, состоит из горелки, топки и теплообменника. Он оснащается дымоходом.

176. Горелки в топке обеспечивают сжигание горючих газов, которые перед их отводом через дымоход нагревают воду в теплообменнике. Горячую воду можно использовать для отопления жилищ и/или для санитарно-бытового водоснабжения.

177. Можно использовать различные типы котлов.

178. В низкотемпературных котлах горелки не функционируют при номинальной нагрузке, а вода нагревается при низких температурах (25–75 °C вместо 70–80 °C). При использовании этой технологии можно ожидать экономии топлива в пределах 12–15 % по сравнению с традиционными технологиями [1].

179. Конденсационная технология применяется в котлах на газообразном топливе и все шире в котлах на жидком топливе. Она заключается в рекуперации латентного тепла паров воды, содержащихся в дымовых газах.

180. При использовании низкотемпературного водяного теплообменника можно рекуперировать теплоту горючих газов. В процессе теплообмена происходит конденсация горючих газов. Таким образом, при использовании конденсационной технологии можно рекуперировать больше тепла при меньших энергозатратах по сравнению с традиционной технологией.

181. С помощью этой технологии мощность котлов можно увеличить на 15–20% по сравнению с последними стандартными котлами [1].

182. Дымовые газы, образующиеся в процессе сгорания жидкого топлива, содержат меньше конденсирующейся воды. Поэтому жидкое топливо не столь широко применяется в конденсационных котлах.

183. Как правило, в конденсационных котлах применяются горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ .

184. *Технология микросжигания* заключается в использовании погруженной камеры сгорания и многотрубчатого теплообменника. Сжигание происходит в виде серии воспламенений (в интервале 115 секунд). Рассматриваемая технология позволяет рекуперировать латентную теплоту водяных паров, содержащихся в горючих газах, как это происходит при конденсационной технологии.

185. Если конденсационная технология может применяться с использованием различных видов топлива, то в технологии микросжигания может применяться только газообразное топливо [3].

c) *Технологии, используемые для сжигания биотоплива*

i) Котлы

186. Существуют различные типы дровяных котлов; главным образом *котлы на дровах и котлы на пеллетах*.

187. Могут также применяться котлы на древесной щепе, но они в основном используются в более крупных установках (тепловой мощностью >30 кВт).

188. Такая же технология используется в котлах на пеллетах и древесной щепе: топливо сжигается горелками в автоматическом режиме, и дымовые газы нагревают теплоноситель (обычно воду) в теплообменнике.

189. В котлах на дровах дрова загружаются на колосниковую решетку котла и сжигаются с использованием различной технологии: вертикальный, горизонтальный или инверсный процессы сжигания с естественной или принудительной тягой.

190. При естественной тяге применяются три технологии сжигания:

а) вертикальное сжигание: все загруженные на колосниковую решетку дрова разжигаются одновременно. Этот вид сжигания очень трудно регулировать, а отсюда образуются высокие уровни выбросов при низкой энергоотдаче (10–20%);

б) горизонтальное сжигание: дрова одновременно не разжигаются. Вначале дровяное топливо высушивается, а затем сжигается. Пламя при этом направлено горизонтально. Этот метод сжигания легче регулировать, чем горизонтальное сжигание, а, следовательно, обеспечить более высокие характеристики;

с) инверсное сжигание: как при горизонтальном сжигании дрова одновременно не разжигаются, а подвергаются сушке перед сгоранием. Оно называется «инверсным сжиганием», потому что пламя направляется сверху вниз через

колосниковую решетку. Это наилучшая регулируемая технология сжигания для естественной тяги, а поэтому с ее помощью можно добиться наивысших рабочих характеристик.

191. Котлы с принудительной тягой (которые также называются «турбокотлами») являются последним нововведением и отличаются от котлов с естественной тягой более высокими технико-экономическими характеристиками. При этом применяются те же технологии, что и при инверсном сжигании, но в «турбокотлах» воздух для горения подается вентилятором, а дымовые газы отводятся наружу. В котлах данного типа применяется ступенчатое сжигание. В них первичный воздух, подаваемый сверху на слой топлива, участвует в процессе сушки древесины и процессе газификации, которые происходят на первой ступени. Во второй ступени горение газа активизируется введением вторичного газа. Ступенчатое горение обеспечивает хорошее смешение воздуха, поступающего в зону горения, с горючим газом, который формируется в процессе удаления летучих веществ и газификации в слое топлива [11]. Контроль над горением улучшается, обеспечивая высокую эффективность и высокую температуру, а это является ключевыми факторами полного сгорания. Этот тип котлов характеризуется наиболее высокой эффективностью

192. Чтобы не допустить непроизводительной работы при частичной нагрузке, дровяные котлы могут снабжаться теплонакопителями. Такие котлы можно эксплуатировать с полной нагрузкой или при частичной нагрузке в установившемся режиме, что позволяет уменьшить выбросы остаточных продуктов сгорания. Для котлов с автоматическим или ручным забрасыванием рекомендуется использовать тепловой аккумулятор, поскольку это способствует сокращению выбросов при неполной нагрузке.

193. В котлах, работающих на древесном топливе, может также применяться технология, обеспечивающая малые выбросы  $\text{NO}_x$ , например рециркуляция дымовых газов. В некоторых котлах предусматривается самоочистка. Она позволяет обеспечить энергоэффективность оборудования.

## ii) Прочие бытовые устройства

194. Для сжигания древесины могут использоваться печи, каминные вставки и открытые камины:

а) применение открытых каминов является наихудшей из используемых технологий: сжигание осуществляется в атмосферном воздухе. При этом контроль сжигания не обеспечивается, энергоэффективность низка, а уровни выбросов высоки;

б) для каминных вставок могут использоваться различные технологии: регулирование воздушного потока (воздух для сгорания можно нагревать перед подачей в камеру сгорания), катализ (для снижения температуры горения добавляют катализатор);

с) печи: могут применяться различные технологии:

i) регулирование притока воздуха: воздух для сгорания можно нагревать перед подачей в камеру сгорания; данный процесс можно контролировать автоматически с помощью электронного устройства. Данный вариант позволяет уменьшить фактический уровень выбросов;

ii) в зависимости от технологии можно менять используемое топливо (пеллеты или дрова). Изразцовая печь может накапливать энергию при сжигании, а затем отдавать тепло в течение нескольких часов после топки;

iii) герметичная печь: в качестве воздуха для сгорания используется атмосферный воздух. Таким образом, не происходит воздухообмена между воздухом для сгорания и воздухом помещений. Эксплуатационные характеристики данной технологии лучше, чем у классической печи, она позволяет избежать проблем с качеством воздуха в помещениях.

195. Энергоэффективность устройств во многом зависит от теплообмена. Поэтому процесс теплообмена постоянно совершенствуется. Возможно использование более длинных дымовых труб и вентилятора для конвекции воздуха. При этом больше энергии дымовых газов передается воздуху помещений, и благодаря этому повышается энергоэффективность и уменьшаются выбросы.

196. Характеристики устройств также зависят от горючей нагрузки. Если горючая нагрузка оказывается ниже номинальной (низкая эффективность сгорания), это свидетельствует о неполном сгорании топлива; при этом повышается уровень выбросов и снижается энергоэффективность. Это обуславливается низкой температурой в камере сгорания.

197. Автоматические устройства, в которых сжигаются гранулы (пеллеты) или древесная щепа, могут работать при номинальной скорости горения; таким образом, улучшаются технологические характеристики и уменьшаются вызванные неполным сгоранием выбросы пыли и других загрязнителей, в частности таких как СО и ЛОС, по сравнению с механическими устройствами.

d) *Технологии сжигания твердого ископаемого топлива*

198. На данный момент информация о технологиях, в которых используется уголь, отсутствует.

### 3. Имеющиеся технологии, уровни выбросов

199. Уменьшение выбросов из бытовых огнетехнических устройств в основном свидетельствует о повышении энергоэффективности за счет использования передовых технологий. Несмотря на это, для достижения оптимальной энергоэффективности меры в отношении этих устройств следует дополнять мерами по теплоизоляции зданий и всей сети теплоснабжения.

200. Выбросы загрязнителей зависят от вида сжигаемого топлива:

а) сжигание газообразного топлива по большей части является источником выбросов  $\text{NO}_x$ ;

б) сжигание жидкого топлива, как правило, является источником выбросов  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ ;

в) твердое топливо: выбросы, образующиеся при сжигании древесины, в основном состоят из пыли и ЛОС, в то время как выбросы от сжигания угля по большей части включают  $\text{SO}_2$  и пыль.

201. Технологии сжигания также зависят от вида сжигаемого топлива. Вследствие этого имеющиеся технологии сокращения выбросов из бытовых огнетехнических устройств в значительной степени также определяются этим фактором.



a) Вид сжигаемого топлива

i) Газообразное топливо

202. Применение конденсационного котла в сочетании с конкретным типом горелки можно считать высокоэффективной технологией для сжигания газообразного топлива. Горелки определенного типа позволяют добиться дальнейшего сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , в особенности горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$ . Высокоэффективной технологией для сжигания газообразного топлива можно также считать микросжигание [1] [2].

ii) Жидкое топливо

203. Применение низкотемпературных или конденсационных котлов в сочетании с определенными типами горелок может считаться высокоэффективной технологией сжигания жидкого топлива. Дальнейшего сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  можно также добиться путем использования конкретных типов горелок.

iii) Биотопливо

204. Для дровяных котлов высокоэффективной технологией может считаться инверсное сжигание с принудительной тягой и рециркуляцией дымовых газов. Энергоэффективность можно повысить, а выбросы сократить, используя емкость для воды в качестве гидроаккумулятора.

205. Использование пеллет в качестве топлива для котлов может также считаться высокоэффективной технологией сжигания твердого топлива наряду с конденсационной технологией.

206. Уровень выбросов пыли и ЛОС, по большей части, зависит от эффективности сгорания; чем полнее сгорание, тем ниже уровни выбросов.

207. Использование катализатора в каминных вставках уменьшает атмосферные выбросы остаточных продуктов сгорания путем снижения температуры сгорания. Рассматриваемая технология в настоящее время уже используется в США и начинает внедряться в Европе. Согласно результатам измерений [6] [7] использование катализаторов в каминных вставках может в два раза сократить выбросы пыли.

208. Сжигание пеллет может считаться высокоэффективной технологией для печей.

209. Кирпичные печи отдают накопленное тепло в течение нескольких часов. Это позволяет поддерживать нормальную температуру в течение нескольких часов без малоэффективного сгорания, при котором образуется много загрязнителей.

210. Однако любая технология, используемая в целях энергосбережения и повышения эффективности сжигания, вне зависимости от вида используемого топлива, способствует сокращению выбросов загрязнителей за счет уменьшения расхода топлива.

iv) Твердое ископаемое топливо

211. На момент составления настоящего документа какой-либо информации о технологиях сжигания угля не имелось.

b) *Загрязнители*i) SO<sub>2</sub>

212. Выбросы SO<sub>2</sub> зависят от содержания серы в используемом топливе. Поэтому основным методом сокращения выбросов SO<sub>2</sub> является использование де-сульфурированного топлива или топлива с низким содержанием серы. При сжигании бурого угля для связывания серы в золе можно добавлять гидроксид кальция.

ii) NO<sub>x</sub>

213. На выбросы NO<sub>x</sub> воздействуют различные параметры, такие как вид топлива, температура пламени, объем воздуха, время нахождения в камере сгорания и содержание азота в топливе.

214. Имеющиеся технологии, специально предназначенные для сокращения выбросов NO<sub>x</sub>, включают в себя использование горелок с малыми выбросами NO<sub>x</sub> или горелок с требуемым соотношением воздух/топливо с предварительным смешиванием. Горелка с требуемым соотношением воздух/топливо и предварительным смешиванием позволяет сократить образование NO<sub>x</sub> путем регулирования содержания воздуха в смеси.

215. В помещенной ниже таблице приводится общий обзор достижимых уровней выбросов NO<sub>x</sub> из отдельных бытовых огнетехнических устройств, работающих на газе, в условиях полной нагрузки.

Таблица 10

**Достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub> при эксплуатации отдельных газовых огнетехнических установок [2]**

	Теплопроизводительность (кВт)	NO <sub>x</sub> (г/ГДж)
Конденсационный котел + горелка с предварительным смешением при требуемом соотношении газ/воздух	24	18
Котел с принудительной подачей воздуха + горелка с предварительным смешением и низкими выбросами NO <sub>x</sub>	24	29
Котел с принудительной подачей воздуха + стандартная горелка	24,6	62
Стандартный котел и горелка	24,2	85

## iii) ЛОС

216. Выбросы ЛОС в основном определяются эффективностью сжигания. В настоящее время нет технологии, разработанной исключительно для сокращения выбросов ЛОС. Имеющиеся технологии снижения выбросов ЛОС фактически ограничиваются теми технологиями, которые обеспечивают максимально полное сжигание. Упомянутые технологии подробно рассмотрены в предыдущих пунктах, посвященных технологиям сжигания древесного топлива.

iv) Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)

217. При сжигании топлива в бытовом оборудовании, как и при сжигании в целом, на выбросы пыли влияет вид используемого топлива. Газообразное топливо характеризуется очень низким показателем выбросов пыли и может использоваться вместо угля и древесины. Для жидкого топлива также характерны низкие

выбросы пыли. Первичные меры по снижению выбросов пыли указаны в разделах А-а) и А-2 b) главы VII.

218. Твердое топливо является главным источником выбросов пыли. К доступным технологиям сокращения выбросов пыли в первую очередь относятся первичные меры, позволяющие достичь максимально полного сгорания. Данные методы были описаны в предыдущих пунктах, касающихся технологий сжигания древесного топлива. Снижение выбросов пыли на существующих установках может быть достигнуто путем замены их на современные установки, отличающиеся более высокой энергоэффективностью и улучшенной организацией топочного процесса.

219. Помимо этих технических мер, особенно в отношении дровяных печей и котлов с ручным забрасыванием, для недопущения крупных выбросов загрязняющих веществ необходимы правильная эксплуатация и приемлемое качество топлива. Разогрев древесины сверху вместо поджога снизу значительно снижает выбросы на начальном этапе. Следует категорически избегать ограничения расхода воздуха горения, приводящего к снижению температурной нагрузки [10]. Использование исключительно необработанной древесины и правильная просушка для уменьшения ее влажности также являются очень важными предварительными условиями. Информационно-пропагандистские программы могут помочь в повышении уровня осведомленности о данных требованиях.

220. При сжигании твердого топлива для ограничения выбросов пыли можно применять и вторичные меры. Опробованными технологиями удаления пыли являются групповые циклоны, электрические фильтры (ЭФ) и тканевые фильтры, которые подробно описаны в разделе Е главы VI и разделе А.2.с главы VII.

221. Исследования показали, что ЭФ и тканевые фильтры могут применяться в установках мощностью от  $<1$  МВт до 100 кВт [8]. Затраты для установок мощностью  $<500$  кВт еще сравнительно высоки, хотя есть примеры успешного опыта на некоторых экспериментальных установках в этом интервале мощности. Снижения выбросов пыли с концентрацией ниже  $50 \text{ мг/м}^3$  ( $13\% \text{ O}_2$ ) можно добиться с помощью простого (одноступенчатого) ЭФ, тогда как снижения выбросов с концентрацией до  $10\text{--}20 \text{ мг/м}^3$  ( $13\% \text{ O}_2$ ) удалось добиться с помощью оптимизированного (многоступенчатого) ЭФ. Тканевые фильтры способны снизить выбросы пыли с концентрацией до  $<10$  и даже  $<5 \text{ мг/м}^3$  [5] [10].

222. В некоторых государствах, например в Норвегии, Германии и Швейцарии [8] [10] [12], разработаны малогабаритные электрофильтры, которые можно считать вариантом технологий ограничения выбросов пыли от бытовых огнетехнических устройств, работающих на древесине, мощностью  $<50$  кВт, включая обогреватели, рассчитанные на одну комнату. При идеальных условиях малогабаритный электрофильтр может улавливать 90% частиц пыли диаметром, превышающим  $0,1 \text{ мкм}$  [4]. Однако данные сепараторы часто производятся по проектам, которые по соображениям экономии упрощены по сравнению с промышленными установками. В некоторых случаях можно ожидать лишь умеренную эффективность разделения, не превышающую 50%, особенно если после агломерации частиц возникает вторичный унос. Полевые испытания показали, что малогабаритные электрофильтры, доступные в настоящее время на рынке, эффективны лишь в течение длительного периода, если используются с современными установками для сжигания, обеспечивающими достаточно полное и чистое сгорание. Более старые установки с несовершенной технологией сжигания и соответственно высоким уровнем выбросов дисперсного вещества могут быстро привести к перегрузке и засорению [13]. При современном состоянии технологий общая модернизация старых установок путем оснащения малогабаритными электрофильтрами не рекомендуется.

223. Говоря вообще, пыль оседает на стенках печей, котлов, воздухопроводов, труб и т.д. Таким образом, для ограничения выбросов пыли необходимо регулярно производить чистку котлов или печей. Вариант самоочистки также рассматривается в качестве эффективной технологии сокращения выбросов пыли.

Таблица 11

**Достижимые уровни выбросов пыли от огнетехнических устройств, работающих на биомассе, мощностью <1МВт [11]**

Тип устройства	Вторичная технология сокращения	Достижимый уровень выбросов пыли мг/м <sup>3</sup> при 13% O <sub>2</sub>
Дровяные печи и закрытые каминные вставки		20–40
Дровяные котлы (с теплоаккумуляторами)		15–30
Печи и котлы, работающие на пеллетах		15–30
	групповой циклон	75–150
Автоматические дровяные котлы	простой ЭФ	20–50
	усовершенствованный ЭФ	<10–20
	тканевый фильтр	<10

v) Ориентация на черный углерод (ЧУ)

224. Сжигание топлива в жилищном секторе, особенно сжигание биомассы, остается и будет оставаться в будущем главным источником выбросов ЧУ. Сажа (находящаяся в атмосфере в виде ЧУ) образуется в условиях неполного сгорания в зонах высоких температур и недостатка кислорода. Неполное сгорание часто наблюдается в установках с ручным забрасыванием. Таким образом, дровяные печи с ручным забрасыванием и малогабаритные котлы являются основными источниками ЧУ в данной категории источников.

225. Доступные методы снижения выбросов ЧУ не отличаются от описанных выше первичных технических мер очистки от пыли, обеспечивающих максимально возможное полное сгорание. Особенно это касается ступенчатого сжигания, включающего газификацию при более низкой температуре, которое должно ограничить образование сажи путем сокращения факельных зон с высоким содержанием топлива и высокой температурой. Опять-таки, как и в случае снижения выбросов пыли, исправная работа устройств с ручным забрасыванием и качество топлива имеют большое значение для снижения выбросов ЧУ [10].

226. В автоматических установках для сжигания – автоматические дровяные котлы, печи и котлы на гранулах (пеллетах) – может быть достигнуто почти полное сгорание, и в этом случае в пыли будут преобладать минеральные частицы. Однако во время запуска и в периоды неисправной работы автоматических установок также могут образовываться выбросы сажи [10].

227. В том что касается дополнительных мер, то в целом выбросы ЧУ снижаются с помощью ЭФ и ТФ. Сажа обладает высокой электропроводностью, а это обеспечивает высокую эффективность очистки в ЭФ. Групповые циклоны существенно не снижают выбросы ЧУ, так как они характеризуются низкой эффективностью улавливания частиц диаметром меньше 5 микрон [10].

228. В отношении малогабаритных ЭФ, представленных на рынке для оснащения бытовых плит и котлов, потенциал снижения выбросов ЧУ на практике не установлен для большинства оборудования, а поэтому необходимы дальнейшие исследования [13].

#### 4. Новые методы

229. Микрокогенерация является новым методом энергосбережения. Энергия, используемая для отопления или горячего коммунально-бытового водоснабжения, также используется для производства электроэнергии.

230. Технология сжигания пеллет, разработанная для каминных вставок, повышает энергоэффективность.

231. Керамические фильтры применяются в больших промышленных установках уже длительное время. Для малых установок для сжигания были разработаны керамические фильтры, в которых используются те же технологии, какие применяются в фильтрах дизельных двигателей транспортных средств и судов. Такие сажевые фильтры также снижают выбросы ЧУ. Керамические фильтры могут также применяться в окислительных установках. Керамический материал отдает тепло для реакции окисления или работает как катализатор. Подобным способом такой несгоревший материал, как ЧУ, может быть окислен. Данные системы снижения выбросов были разработаны и опробованы на практике, но для оценки возможности их применения на стационарных установках для сжигания мощностью <1 МВт нет достаточных данных. Предполагается, что развитие данного метода сокращения выбросов выиграет от использования ловушки частиц на автомобилях большой грузоподъемностью, и в ближайшем будущем станет доступным методом для малых установок для сжигания, работающих на твердом топливе.

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий ограничения выбросов

232. Капитальные затраты на котел с малым выбросом  $\text{NO}_x$  примерно на 500 евро превышают затраты на стандартный котел [6].

233. Капитальные затраты на дровяной котел с инверсным сжиганием и принудительной тягой составляют от 3 000 до 7 650 евро для установок мощностью от 15 кВт до 150 кВт. Затраты на приобретение теплового аккумулятора колеблются в пределах от 1 500 до 2 750 евро [6].

234. Капитальные затраты на котел, работающий на пеллетах, составляют от 7 000 до 15 000 евро для установок мощностью от 15 кВт до нескольких МВт.

235. Согласно проведенным в Швейцарии исследованиям [8], капитальные затраты на малогабаритный ЭФ, улавливающий, по крайней мере, 60% пыли, составят от 1 000 до 1 500 евро для установок мощностью <35 кВт.

236. Дополнительные затраты на приобретение катализаторов для каминных вставок составляют 1 000 евро [9].

Таблица 12

**Удельные капитальные затраты на кВт тепловой мощности дровяных отопительных систем и пылеочистного оборудования [5]**

Мощность [кВт]	Технология (отопительная система) [евро/кВт]	Здание (без силоса) [евро/кВт]	ЭФ [евро/кВт]	ТФ [евро/кВт]
100	965	520	660	450
200	800	430	405	240
500	630	340	195	115
1 000	420	225	115	70
2 000	315	170	75	50

### Справочные материалы, использованные в разделе А главы VII:

1. L'énergie en région Wallone. Available from <http://energie.wallonie.be>.
2. Cernushi, S. and others (2006). *Atmospheric emissions from gas fired home heating appliances*. [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Cernuschi\\_Paper.pdf](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Cernuschi_Paper.pdf).
3. Agence de l'Environnement et De la Maîtrise de l'Energie (2002). *Fiche NO<sub>x</sub>, Chaudière à combustion pulsatoire*.
4. Allemand, N. and others (2007). *Petites chaudières du secteur industriel et tertiaire et appareils domestiques de chauffage au bois. Inventaires d'émissions, réglementations, performances et coûts des technologies avancées de réduction des émissions*. Etude réalisée pour le Ministère de l'Ecologie.
5. Nussbaumer, T. (2006). *Stand der Technik und Kosten der Feinstaubabscheidung für automatische Holzfeuerungen von 100 kW bis 2 MW*. Bundesamt für Umwelt, Luftreinhaltung. ISBN 3-908705-13-4.
6. Fraunhofer Institut für Bauphysik (2009). *Bericht über die Erstprüfung eines Kamineinsatzes für feste Brennstoffe nach DIN EN 13229, typ „Heat Pure 70“*.
7. Fraunhofer Institut (2008). *Ergebnisse aus der Prüfung der Nennwärmeleistung nach DIN EN 13 229 des Kamineinsatzes "ULYS 700ZE" der Firma Fondis SA*.
8. Schmatloch, V. (2005). *Exhaust gas after treatment for small wood fired appliances – recent progress and field test results*. International seminar on Aerosols from Biomass Combustion. Graz. IEA bioenergy Task 32.
9. Haas, M. (2009): Interview of technical director of Fondis.
10. Nussbaumer, T. (2010). *Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission levels of Particulate Matter*. Prepared for the Swiss Federal Office for the Environment as a contribution to EGTEI. Verenum, June 2010. [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer\\_EGTEI-Report\\_final.pdf](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/Nussbaumer_EGTEI-Report_final.pdf).
11. EGTEI (2010). *Options for limit values for emissions of dust from small combustion installations < 50 MW<sub>th</sub>*. Report of the Subgroup on Small Combustion Installations under EGTEI. Presented to the 47<sup>th</sup> session of WGSR as informal document no. 9.
12. Particulate filter. Ruegg Ecotec AG. Available from <http://www.rueggecotec.ch/feinstaub.htm>.

13. Hartmann, H. and others (2011). *Electrostatic precipitators for small-scale wood combustion systems – Results from lab- and field tests*. Central European Biomass Conference. Graz. 26-28 January 2011. IEA bioenergy Task 32.
14. Ecoenergy. Biomass Boiler Case Study: Available from <http://www.econergy.ltd.uk/docs/files/Greenland,%20Sheffield.pdf>.

## **В. Установки для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт**

### **1. Охват**

237. В данном разделе рассмотрены выбросы котельных установок и газовых турбин общей эффективной тепловой мощностью от 1 до 50 МВт<sub>тепл.</sub> Ниже под термином «котлы» понимаются устройства, отличные от двигателей внутреннего сгорания или турбин и включающие в себя все типы котлов и промышленные нагревательные устройства.

238. В данной главе не рассматриваются следующие установки:

- а) установки, в которых продукты сжигания используются для непосредственного нагрева, сушки или любой другой обработки предметов или материалов, например для подогрева печей, печей для тепловой обработки;
- б) установки для дожигания, т.е. любой технический аппарат, предназначенный для очистки отходящих газов путем сжигания, который не функционирует в качестве самостоятельной установки для сжигания;
- с) оборудование для регенерации катализаторов каталитического крекинга;
- д) оборудование для преобразования сероводорода в серу;
- е) реакторы, используемые в химической промышленности;
- ф) батареи коксовых печей;
- г) кауперы;
- h) установки для сжигания отходов; и
- i) установки, приводимые в действие дизельными, бензиновыми или газовыми двигателями или турбинами внутреннего сгорания, независимо от вида используемого топлива (информацию о стационарных двигателях см. в разделе ОО «Новые стационарные двигатели» главы VII).

### **2. Технологии сжигания**

239. В этом секторе технологии сжигания жидкого и газообразного топлива аналогичны технологиям сжигания, применяемым для производства тепловой энергии в промышленных отраслях.

240. Для сжигания твердого топлива и биомассы в основном применяют технологию сжигания в неподвижном слое, т.е. слоевое сжигание.

241. В данном секторе также применяются технологии сжигания топлива в кипящем слое. Указанная технология наиболее оптимальна для совместного сжигания угля и биомассы и/или совместно с отходами, используемыми в качестве топлива, и сжигания биомассы.

242. Газовые турбины применяются для преобразования тепловой энергии в механическую. В них используется установившийся поток газа (по большей части сжатого воздуха), сжигаемого в смеси с газообразным или жидким топливом.

### 3. Уровни выбросов при применении имеющихся методов (УВ-ИМ)

243. Выбросы в этом секторе во многом зависят от вида топлива, технологии сжигания, а также от режима эксплуатации и технического обслуживания. Для твердого топлива удельные уровни выбросов на небольших установках превышают уровни выбросов на больших установках. При сжигании газообразного и жидкого топлива уровни выбросов не столь высоки по сравнению с промышленными котлами благодаря качеству топлива и конструкции горелок [1].

#### a) $SO_2$

Таблица 13

**Источники выбросов и уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов  $SO_2$  (твердое и жидкое топливо) и соответствующий предельный уровень выбросов (газообразное топливо) на установках для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт<sub>тепл</sub> [1]**

Источник выбросов	Меры борьбы	Уровень выбросов $SO_2$ (мг/Нм <sup>3</sup> )
<i>Твердое топливо</i>		
Котлы, кроме котлов с топками кипящего слоя (СКС)	Сжигание низкосернистого топлива, ввод сорбента, десульфуризация дымовых газов	50–1 000
Сжигание в кипящем слое	Сжигание низкосернистого топлива, ввод сорбента, десульфуризация дымовых газов	50–400
<i>Жидкое топливо</i>		
Котлы	Сжигание низкосернистого топлива, ввод сорбента, десульфуризация дымовых газов	50–850
<i>Газообразное топливо</i>		
Котлы: нефтезаводской газ		100
Котлы: сжиженный газ	Сжигание низкосернистого топлива, ввод сорбента, десульфуризация дымовых газов	5
Котлы: прочее газообразное топливо		35

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердого топлива.

244. При принятии мер по сокращению выбросов, в частности при сжигании топлива с низким содержанием серы можно получить уровень 700 мг/Нм<sup>3</sup>, при вводе сорбента – 200–400 мг/Нм<sup>3</sup>, при десульфуризации – 50–200 мг/Нм<sup>3</sup>.



b)  $NO_x$ 

Таблица 14

**Источники выбросов и предельные уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов  $NO_x$  на установках для сжигания мощностью от 1 до 50 МВт<sub>тепл</sub> [1] [2]**

Источник выбросов	Меры по сокращению	Уровень выбросов $NO_x$ (мг/Нм <sup>3</sup> )
<i>Твердое топливо</i>		
Слоевое сжигание	Горелка с низким уровнем выбросов $NO_x$ Ступенчатая подача воздуха Рециркуляция дымовых газов Конструкция котла	<200–400
Пылевидный уголь	Горелка с низким уровнем выбросов $NO_x$ Ступенчатая подача воздуха Рециркуляция дымовых газов Конструкция котла	<200–400
Сжигание в кипящем слое	Ступенчатая подача воздуха Рециркуляция дымовых газов Конструкция котла СНКВ	<200–500   <50–100
<i>Жидкое топливо</i>		
Котлы	Горелка с низким уровнем выбросов $NO_x$ Ступенчатая подача воздуха Рециркуляция дымовых газов Конструкция котла	<200–300
<i>Газообразное топливо</i>		
Котлы	Горелка с низким уровнем выбросов $NO_x$ Ступенчатая подача воздуха Рециркуляция дымовых газов Конструкция котла	<200
<i>Существующие газовые турбины</i>		
Топливо: природный газ	Закачка воды и пара или СКВ	50–120
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Закачка воды и пара или СКВ	
<i>Новые газовые турбины</i>		
Топливо: природный газ	Сухая горелка с низким уровнем образования $NO_x$ и предварительным смесеобразованием или СКВ	20–50

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердого топлива и 15% для газовых турбин.

с) Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)

Таблица 15

**Источники выбросов и уровни выбросов при применении отдельных мер по сокращению выбросов пыли на котельных установках мощностью от 1 до 50 МВт<sub>тепл</sub> [1]**

Источник выбросов	Меры по сокращению	Уровни выбросов пыли (мг/Нм <sup>3</sup> )	
		новые	существующие
Твердое топливо, от 1 до 5 МВт <sub>тепл</sub>	Циклон	<50	<100
	ЭФ	5–20	5–30
	ТФ	5–20	5–20
Твердое топливо, от 5 до 50 МВт <sub>тепл</sub>	ЭФ	5–20	5–30
	ТФ	<5–20	<5–20
Жидкие топлива, от 1 до 5 МВт <sub>тепл</sub>	ЭФ		
	ТФ	5–50	5–50
	Использование низкотемпературного топлива	<5–20	<5–20
Жидкие топлива, от 5 до 50 МВт <sub>тепл</sub>	ЭФ	5–20	5–50
	ТФ	<5–20	<5–20
Газообразные топлива		2–5	2–5

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердых минеральных топлив и 11% для древесины.

245. Поскольку ЧУ образуется при неполном сгорании, его дисперсный состав в основном характеризуется частицами диаметром менее 1 мкм. В таких установках для сжигания содержание ЧУ в пыли может увеличиваться в период запуска и остановки. Ровное, непрерывное и оптимальное горение снижает выбросы пыли (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ), о чем указывалось в разделе D главы VI. Только методы сокращения выбросов, способные улавливать тонкодисперсные частицы, будут весьма эффективными для снижения выбросов ЧУ. В разделе E главы VI содержится информация об эффективности удаления пыли (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ) с помощью ЭФ и ТФ.

### Справочные материалы, использованные в разделе В главы VII:

1. Kubica, K. and others (2007). *Small combustion installations: Techniques, emissions and measures for emission reduction*. European Commission. Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. JRC 42208.
2. Bundesministerium für Umwelt (2002). *Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz: Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft*.
3. The Association for British Furniture Manufacturers (2005). *Benchmarking wood waste combustion in the UK furniture manufacturing sector*.

## С. Установки для сжигания мощностью более 50 МВт

### 1. Охват

246. В секторе сжигания применяется целый ряд технологий, рассчитанных на различные виды топлива: твердое топливо, например, каменный уголь, бурый уголь, торф, биомасса, жидкое и газообразное топливо, включая низкокалорийный и доменный газ. В данном разделе рассмотрены котлы (малые: 50–100 МВт<sub>тепл</sub>, средние: 100–300 МВт<sub>тепл</sub> и большие: >300 МВт<sub>тепл</sub>), а также газовые турбины (>50 МВт<sub>эл</sub>). Ниже термин «котлы» означает устройства, отличные от двигателей внутреннего сгорания или турбин, и охватывает все типы котлов и промышленные нагревательные устройства. Под приведенными классами мощности подразумевается номинальная тепловая мощность, основанная на низшей теплоте сгорания (НТС) соответствующего топлива.

247. В данной главе не рассматриваются следующие установки:

- a) установки, в которых продукты сжигания используются для непосредственного нагрева, сушки или любой другой обработки предметов или материалов, например печи для повторного нагрева и печи для тепловой обработки;
- b) установки для дожигания, т.е. любой технический аппарат, предназначенный для очистки отходящих газов путем сжигания, который не функционирует в качестве самостоятельной установки для сжигания;
- c) оборудование для регенерации катализаторов каталитического крекинга;
- d) оборудование для преобразования сероводорода в серу;
- e) реакторы, используемые в химической промышленности;
- f) батареи коксовых печей;
- g) кауперы;
- h) установки для сжигания отходов; и
- i) установки, приводимые в действие дизельными, бензиновыми или газовыми двигателями или турбинами внутреннего сгорания, независимо от вида используемого топлива (информацию о стационарных двигателях см. в разделе ОО «Новые стационарные двигатели» главы VII).

### 2. Источники выбросов

248. В процессе сжигания образуются выбросы в атмосферу, которые считаются одним из основных источников загрязнения воздуха. В зависимости от вида топлива могут применяться несколько технологий сжигания, которые отличаются разными выбросами NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ). В данном пункте описаны основные технологии, используемые при сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива.

#### a) Большие котлы, технологические нагреватели и печи

249. Слоеое сжигание на решетках используется в сравнительно небольших топливосжигающих установках тепловой мощностью менее 100 МВт<sub>тепл</sub>, хотя в отдельных случаях эта технология применяется для сжигания отходов (в настоящей главе этот вопрос не рассматривается, см. раздел R главы VII) и биомассы [1]. Топливо на решетке сначала подсушивается и подвергается пиролизу. Затем на решетке сжигается древесный уголь. При этом условия горения контролируются.

ются хуже, чем в других системах, поскольку химические параметры и температура сгорания могут существенно различаться по всей поверхности решетки [2].

250. *Сжигание пылевидного топлива* является широко распространенной технологией для котлов всех габаритов и мощностью свыше 50 МВт<sub>тепл</sub>, которая представляет собой технологию сжигания твердого топлива, предварительно измельченного до пылевидного состояния. Различают два основных типа котлов.

251. *Котлы с твердым шлакоудалением* работают при более низкой температуре, чтобы в процессе сжигания топлива шлак не нагревался выше температуры плавления.

252. *Для котлов с жидким шлакоудалением* требуется высокая температура сжигания для плавления шлака, что, соответственно, приводит к сравнительно высоким выбросам NO<sub>x</sub> [1]. Указанную технологию часто используют для сжигания низкосортного топлива; при этом применяется рециркуляция зольного уноса [3].

253. *Сжигание в кипящем слое (СКС)* – это технология сжигания не только каменного и бурого угля, но и низкосортного топлива, например, отходов, торфа и древесины, которые в данной главе не рассматриваются. Топливо впрыскивают в горячий турбулентный кипящий слой реактива или инертного наполнителя, через который продувается воздух. Дальнейшего сокращения выбросов можно добиться за счет комплексного регулирования горения в системе. В секторе преобразования энергии сжигание в атмосферном кипящем слое является широко распространенной промышленной технологией. В зависимости от скорости потока воздуха, создающего кипящий слой, применяются два вида атмосферного сжигания топлива – атмосферное сжигание топлива в пузырьковом кипящем слое (СПКС) и атмосферное сжигание топлива в циркулирующем кипящем слое (СЦКС). Сжигание топлива в кипящем слое под давлением (СКСД) происходит при повышенном давлении и обеспечивает формирование газового потока с высоким давлением при температуре, достаточной для вращения газовой турбины.

#### b) Турбины

254. *Газовые турбины* применяют для преобразования тепловой энергии в механическую работу. В них используется устоявшийся поток газа (по большей части воздуха), сжатого и сжигаемого в смеси с газообразным или жидким топливом. Газовые турбины все шире используются для производства электроэнергии при базовой и промежуточной нагрузке, а также применяются при пиковых нагрузках в простом цикле (в этом случае в качестве топлива используется газ или легкое нефтяное топливо). На теплоэлектростанциях газовые турбины объединяют с паровыми турбинами для производства электроэнергии.

255. Процесс *интегрированной внутрицикловой газификации (ИВЦГ)* включает газификацию угля или биомассы и использование парогазовых установок. Газифицированное твердое топливо сжигают в камере сгорания газовой турбины. Существует также технология для остатков тяжелого топлива. Однако этот процесс еще не нашел широкого промышленного применения; в Европе и США действуют несколько опытно-промышленных установок мощностью, как правило, в районе 250 МВт<sub>эл</sub>.

#### c) НИМ сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива

##### i) Сжигание каменного и бурого угля

256. Сжигание пылевидного топлива, сжигание в кипящем слое, сжигание в кипящем слое под давлением и слоевое сжигание считаются НИМ сжигания каменного и бурого угля на новых и существующих установках. Слоеое сжигание

предпочтительно применять только на новых установках номинальной тепловой мощностью менее 100 МВт [3].

ii) Сжигание биомассы и торфа

257. К НИМ сжигания биомассы и торфа относятся сжигание пылевидного топлива, сжигание в кипящем слое, а также сжигание в слоевой топке с забрасывателем топлива для древесины и сжигание в слоевой топке с забрасывателем топлива и водяным охлаждением для соломы. Установки для сжигания пылевидного торфа к НИМ для новых установок не относятся [3].

iii) Сжигание жидкого топлива

258. Для жидкого топлива к НИМ относятся использование оборудования для предварительной очистки, например оборудования очистки дизельного топлива, применяемого в газовых турбинах и двигателях. Очистка тяжелого нефтяного топлива (ТНТ) включает применение таких устройств, как электронагреватели и паровые нагревательные змеевики, блоки дозирования деэмульгаторов и т.д.

iv) Сжигание жидкого и газообразного топлива в установках комбинированного производства тепла и электроэнергии

259. Парогазовые установки и комбинированное производство тепловой и электрической энергии следует рассматривать в качестве основного варианта НИМ в тех случаях, когда местный спрос на тепло достаточно велик, чтобы оправдать строительство подобной системы [3].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

a)  $SO_2$

260. В данном разделе описываются варианты сокращения выбросов, которые часто используются для снижения выбросов оксидов серы из установок для сжигания. Выбросы  $SO_2$  в значительной степени зависят от содержания серы в сжигаемом угле и применяемых систем борьбы с выбросами. В целом методы снижения выбросов оксидов серы подразделяются на первичные и вторичные меры.

i) Первичные меры

261. *Использование топлива с низким содержанием серы.* Выбросы  $SO_2$  при сжигании напрямую связаны с содержанием серы в используемом топливе. Переход на другие виды топлива (от топлива с высоким содержанием серы к низкосернистому топливу) приводит к снижению выбросов серы. Данная мера применяется достаточно широко. Тем не менее могут возникнуть значительные ограничения, касающиеся, например, обеспеченности топливом с низким содержанием серы и возможности сжигания различных видов топлива в существующих топливосжигающих системах. Переход на природный газ может стать достаточной мерой для уменьшения выбросов  $SO_2$ . При сжигании других видов топлива в зависимости от содержания серы в топливе данную технологию можно применять в качестве дополнительного метода.

262. *Использование щелочных сорбентов в топливосжигающих системах с кипящим слоем.* Котлы с кипящим слоем способны эффективно улавливать  $SO_2$ ; например впрыск сорбента в топку котла с КС является недорогим методом улавливания серы. Это не сопряжено с крупными капитальными расходами, поскольку десульфуризация осуществляется в рамках процесса сжигания и не требует отдельного реакторного оборудования [3]. Однако твердые побочные продукты, включающие золу, продукты реакции, содержащие сульфиты, и известь, в отли-

чие от золы, образовавшейся в процессе стандартного сжигания пылевидного топлива, не могут применяться для производства бетона.

ii) Вторичные меры

263. *Процессы десульфуризации дымовых газов (ДДГ).* Данные процессы предназначены для удаления уже образовавшихся оксидов серы и относятся к вторичным мерам. Все передовые технологии очистки дымовых газов основаны на удалении серы сухим или мокрым способами.

264. При мокром способе образуется жидкий шлам или побочные продукты, а дымовой газ, выходящий из абсорбера, насыщен влагой. При очистке морской водой используются природные свойства морской воды абсорбировать и нейтрализовать диоксид серы в дымовых газах. Если энергоустановка находится на берегу моря, наиболее вероятно, что морская вода будет использоваться в качестве охладителя в конденсаторах. Использование мокрых скрубберов, особенно известково-известнякового процесса, относится к ведущим технологиям ДДГ. Доля мокрых скрубберов на рынке составляет около 80%; они преимущественно применяются в крупных энергетических котлах. Эффективность удаления диоксида серы можно повысить до 92–98%. В случае реконструкции эффективность очистки снижается до 95%.

265. В процессах полусухой очистки шлам щелочного реагента дробится на капли и впрыскивается в емкость, где происходит связывание  $SO_2$  дымовых газов с образованием сульфито-сульфатной смеси [4]. При этом достигается эффективность очистки от диоксида серы в 80–95%.

Таблица 16

**Источники выбросов и уровни выбросов  $SO_x$  при применении отдельных НИМ по ограничению выбросов на топливосжигающих установках (ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов $SO_x$ при применении НИМ <sup>a</sup> ( $mg/Hm^3$ ) [3]
<i>Котлы 50–100 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Слоевое сжигание; топливо: уголь и бурый уголь	Низкосернистое топливо или ДДГ	200–400
Котел; топливо: уголь и бурый уголь	Низкосернистое топливо или ДДГ	200–400 (другие значения в промышленности: 200–300)
Циркулирующий КС; КСД; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо Впрыскивание известняка	150–400 (другие значения в промышленности: 150–300)
Пузырьковый КС; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо ДДГ	150–400 (другие значения в промышленности: 150–300)
Котел; топливо: торф	Впрыскивание известняка Впрыскивание сухой гашеной извести перед ЭФ или ТФ ДДГ	200–300 (новые) 200–300 (существующие)

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов $SO_x$ при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Циркулирующий КС; пузырьковый КС; топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Впрыскивание известняка Впрыскивание сухой гашеной извести перед ЭФ или ТФ ДДГ	200–300 (новые) 200–300 (существующие)
Котел; топливо: нефть	Низкосернистая нефть Совместное сжигание газа и нефти ДДГ	100–350 (новые) 100–350 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 200–850, существующие установки: 200–850)
<i>Котлы 100–300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; топливо: уголь и бурый уголь	Низкосернистое топливо ДДГ Комбинированные технологии сокращения выбросов $NO_x$ и $SO_x$	100–200 (новые) 100–250 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки 100–600)
Циркулирующий КС; КС под давлением; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо Впрыскивание известняка	100–200 (новые) 100–250 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 100–300)
Пузырьковый КС; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо ДДГ	100–200 (новые) 100–250 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки 100–300)
Котел; топливо: торф	Впрыскивание известняка Впрыскивание сухой гашеной извести перед ЭФ или ТФ ДДГ	200–300 (новые) 200–300 (существующие)
Циркулирующий КС; пузырьковый КС; топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Впрыскивание известняка Впрыскивание сухой гашеной извести перед ЭФ или ТФ, ДДГ	150–250 (новые) 150–300 (существующие)
Котел; топливо: нефть	Низкосернистое нефтяное топливо Совместное сжигание газа и нефти и ДДГ Комбинированные технологии сокращения выбросов $NO_x$ и $SO_x$	100–200 (новые) 100–250 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 100–400, существующие установки: 100–400)
<i>Котлы &gt;300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; топливо: уголь и бурый уголь	Низкосернистое топливо ДДГ Комбинированные технологии сокращения выбросов $NO_x$ и $SO_x$	20–150 (новые) 20–200 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 20–200, существующие установки: 20–400)

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов $SO_x$ при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Циркулирующий КС; КС под давлением; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо Впрыскивание известняка	100–200 (новые) 100–200 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 100–300)
Пузырьковый КС; топливо: уголь, бурый уголь	Низкосернистое топливо ДДГ	20–150 (новые) 20–200 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 20–300)
Котел; топливо: торф	ДДГ Комбинированные технологии сокращения выбросов $NO_x$ и $SO_2$	50–150 (новые) 50–200 (существующие)
Циркулирующий КС; пузырьковый КС; топливо: торф	Совместное сжигание биомассы и торфа Впрыскивание известняка Впрыскивание сухой гашеной извести перед ЭФ или ТФ ДДГ	50–200 (новые) 50–200 (существующие)
Котел, топливо: нефть	Низкосернистое нефтяное топливо Совместное сжигание газа и нефти ДДГ Комбинированные технологии сокращения выбросов $NO_x$ и $SO_x$	50–150 (новые) 50–200 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 50–200, существующие установки: 50–400)

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердого топлива.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным значениям, стандартным условиям, и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### b) $NO_x$

266. Основная доля выбросов оксидов азота, образующихся при горении, приходится на монооксид азота (NO), диоксид азота ( $NO_2$ ) и закись азота ( $N_2O$ ). NO и  $NO_2$  принято объединять в  $NO_x$ . [2]. Существуют три химических механизма образования  $NO_x$  в процессе горения, в соответствии с которыми их подразделяют на тепловые  $NO_x$ , являющиеся результатом окисления атмосферного молекулярного азота, топливные  $NO_x$ , образующиеся при окислении химически связанного азота в топливе, и быстрые  $NO_x$ , образующиеся при реакциях между атмосферным молекулярным азотом и радикалами углеводородов [4]. Только первые два процесса играют важную роль в установках для сжигания.

267. В данном разделе описываются варианты сокращения выбросов, которые часто применяются для борьбы с выбросами оксидов азота из установок для сжигания. В целом методы снижения выбросов оксидов азота подразделяются на первичные и вторичные меры. Первичные меры разработаны для уменьшения выбросов  $NO_x$  из источника в процессе сжигания путем регулирования характеристик пламени, таких как температура и соотношение топливо-воздух. Вторичные меры применяются за топочной камерой, что позволяет очистить дымовые газы от  $NO_x$ .



268. Применение первичных мер сдерживается эксплуатационными параметрами и характеристиками топлива, которые влияют на безопасность эксплуатации. Оно также ограничивается конструктивными возможностями существующих установок.

i) Первичные меры (модификации технологий сжигания):

269. *Ступенчатая подача воздуха* состоит из подачи воздуха горения в первичный и вторичный ярусы зоны горения для обеспечения полного сгорания и образования  $N_2$  вместо  $NO_x$ . В зоне первичного горения наблюдается недостаток кислорода, а в зоне вторичного горения – его избыток. Указанная технология часто используется совместно с горелками с малым выбросом  $NO_x$ , что позволяет завершить процесс сгорания при более низкой температуре [1] [5].

270. *Ступенчатое сжигание топлива*, также известное как *трехступенчатое сжигание*, представляет собой трехступенчатую (трехзонную) систему. Суть системы заключается в организации в топочном пространстве разных зон путем ступенчатой подачи топлива и воздуха. Целью данного метода является восстановление образовавшихся оксидов азота до азота [1]. С помощью технологии трехступенчатого сжигания можно достичь относительно высокого ограничения выбросов  $NO_x$  (50–75%), причем, в принципе, ее можно применять во всех типах котлов на ископаемом топливе и дополнять технологиями сжигания с малым выбросом  $NO_x$  для первичного топлива. Рассматриваемая технология недостаточно хорошо приспособлена для применения в модернизированных установках вследствие пространственных ограничений.

271. *Рециркуляция дымовых газов* уменьшает концентрацию кислорода в зоне горения и понижает температуру в ядре горения, подавляя тем самым как преобразование азота топлива, так и образование тепловых  $NO_x$ . Внедрение рециркуляции дымовых газов в воздух, поступающий для горения, является эффективным методом снижения выбросов  $NO_x$  в высокотемпературных системах сжигания, таких как котлы с жидким шлакоудалением и установки, работающие на нефти или газе, хотя, как правило, он малоэффективен для котлов с твердым шлакоудалением, работающих на пылеугольном топливе. При сжигании природного газа с помощью рециркуляции дымовых газов можно добиться снижения выбросов  $NO_x$  на 30–60%. При сжигании тяжелого нефтяного топлива снижение выбросов  $NO_x$  составляет 10–20%, хотя при этом могут увеличиться выбросы пыли.

272. *Горелки с малым выбросом  $NO_x$*  сконструированы для регулирования интенсивности и последовательности смешения топлива и воздуха в пропорции, необходимой для организации ступенчатого сжигания. Создается нестехиометрическая зона со смесью топливо/воздух и первичного воздуха. При завихрении первичного воздуха происходит внутренняя рециркуляция. Вокруг сопел первичного воздуха ряд вторичных сопел подают вторичный воздух в зону горения. При подобном ступенчатом сгорании уменьшается температура пламени и концентрация кислорода на некоторых этапах горения, в свою очередь подавляя образование тепловых и топливных  $NO_x$ . Горелки с низким уровнем выбросов  $NO_x$  следует устанавливать на все новые установки, поэтому в порядке вещей можно ожидать реконструкцию существующих установок. Горелки с низким уровнем выбросов  $NO_x$  эффективны при снижении выбросов  $NO_x$  на 30–50% [1] [5]; их можно использовать в сочетании с другими первичными мерами, например с острым дутьем, трехступенчатым сжиганием или рециркуляцией дымовых газов.

- ii) Вторичные меры (технология снижения выбросов  $\text{NO}_x$ , образующихся в процессе сжигания топлива на ТЭС)

273. *Селективное каталитическое восстановление (СКВ)* является наиболее отработанным и широко распространенным процессом уменьшения концентрации оксидов азота в отработанных газах из установок для сжигания в Европе и других странах, например Японии и США. Процесс СКВ можно использовать для многих видов топлива, в частности, таких как природный газ. В процессе СКВ в качестве восстановителя обычно используется аммиак, который вводится непосредственно в поток дымовых газов на входе в катализатор при достаточной концентрации кислорода. Преобразование  $\text{NO}_x$  обычно происходит на поверхности катализатора при температуре от 170 до 510 °C (обычно этот диапазон составляет 300–400 °C); при этом минимальная температура дымового газа зависит от содержания серы в топливе. При слишком низкой температуре дымовых газов образуется бисульфат аммония, который загрязняет элемент СКВ [3]. В зависимости от конструкции системы, активности катализатора и концентрации реакционных газов можно добиться сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  свыше 80–90% [2].

274. *Селективное некаталитическое восстановление (СНКВ)* позволяет уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$  без катализатора при температуре от 850 до 1 100 °C. Указанное температурное окно в значительной степени зависит от применяемого реагента, в качестве которого могут использоваться аммиак, мочевины или нашатырный спирт. Процесс СНКВ применяется для различных видов ископаемого топлива. Средняя достижимая эффективность уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  находится в пределах 30–50% [3]. СНКВ обходится дешевле, чем СКВ, поскольку не требует использования катализатора, при этом оно может применяться в небольших установках. Но СНКВ не предназначено для установок, которые работают в режиме переменных нагрузок (в связи с риском чрезмерного проскока и сильного запаха аммиака).

- iii) НИМ сокращения выбросов оксидов азота

- a. Сжигание бурого и каменного углей

275. Для очистки отходящих газов установок для сжигания, работающих на каменном и буром углях, от  $\text{NO}_x$  к НИМ относят сочетание первичных и/или вторичных мер. Однако в зависимости от технологии, применяемой в котлах, и вида топлива (например, высокие первичные выбросы  $\text{NO}_x$  у углей с низким выходом летучих веществ) среди НИМ следует проводить различия.

276. Сочетание первичных и вторичных мер, таких как СКВ, рассматривается как НИМ для установок сжигания пылеугольного топлива при базовой нагрузке.

277. Сочетание различных первичных мер для установок, работающих на пылевидном буром угле, рассматривается как НИМ. Вследствие низких выбросов  $\text{NO}_x$  в установках, работающих на пылевидном буром угле, технология СКВ не рассматривается как НИМ.

278. Использование ступенчатого сжигания каменного или бурого угля в кипящем слое классифицируется как НИМ.

- b. Сжигание биомассы и торфа

279. Для удаления  $\text{NO}_x$  из отходящих газов установок сжигания, работающих на биомассе и торфе, в качестве НИМ рассматривается сочетание первичных и/или вторичных мер. Однако в зависимости от технологии, используемой в котлах, между НИМ следует проводить различия.

с. Сжигание жидкого топлива

280. Для установок мощностью свыше 50 МВт<sub>тепл</sub>, особенно для крупных установок мощностью более 100 МВт<sub>тепл</sub>, работающих в режиме базовой нагрузки, НИМ удаления NO<sub>x</sub> из отходящих газов установок для сжигания, работающих на жидком топливе, считается сочетание первичных и/или вторичных мер, например СКВ.

281. В случае установок для сжигания мощностью менее 100 МВт<sub>тепл</sub> НИМ считается сочетание различных первичных мер.

d. Сжигание в газовых турбинах

282. Для новых газовых турбин к НИМ относятся сухие горелки с низкими выбросами NO<sub>x</sub> и предварительным смешением. В существующих газовых турбинах НИМ считаются впрыск воды и пара в качестве первичной меры или переход на технологию с применением сухих горелок с низкими выбросами NO<sub>x</sub> и предварительным смешением. Сухие горелки с низкими выбросами NO<sub>x</sub> и предварительным смешением являются единственными НИМ для новых турбин; к тому же на рынке имеется технология, пригодная для использования в газовых турбинах, работающих на жидком топливе.

Таблица 17

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов NO<sub>x</sub> с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на установках для сжигания (сокращение ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
<i>Котлы 50–100 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Слоевое сжигание, топливо: каменный и бурый уголь	ПМ и/или СНКВ	200–300 (другие значения в промышленности: существующие установки: 200–400)
Котел; топливо: каменный уголь	Сочетание ПМ, СНКВ или СКВ	90–300 (другие значения в промышленности: новые установки: 90–450, существующие установки: 90–500)
Котел; топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	200–450 (другие значения в промышленности: существующие установки: 200–500)
Циркулирующий КС; КС под давлением, пузырьковый КС; топливо: каменный уголь, бурый уголь	Сочетание ПМ	200–300
Слоевое сжигание, топливо: биомасса и торф	Слоевая топка с забрасывателем топлива	170–250 (новые) 200–300 (существующие)
Котел; топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ или СКВ	150–250 (новые) 150–300 (существующие)

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению</i>	<i>Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении ННМ<sup>a</sup> (мг/Нм<sup>3</sup>) [3]</i>
Циркулирующий КС; пузырьковый КС, топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ	150–250 (новые) 150–300 (существующие)
Котел; топливо: нефть	Сочетание ПМ СКВ СНКВ при сжигании ТНТ	150–300 (новые) 150–450 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 150–400)
Промышленный котел; топливо: газ	Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> или СКВ или СНКВ	50–100 (новые и существующие) (другие значения в промышленности: новые и существующие: 50–120)
<i>Котлы 100–300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; топливо: каменный уголь	Сочетание ПМ совместно с СКВ или комбинированные технологии	90–200 (новые) 90–200 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 100–200, существующие установки: 90–300)
Котел; топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	100–200 (новые) 100–200 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 100–450)
Циркулирующий КС; КС под давлением, пузырьковый КС, топливо: каменный уголь, бурый уголь	Сочетание ПМ, при необходимости совместно с СНКВ	100–200 (новые) 100–200 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 100–300)
Котел; топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ, при необходимости СНКВ и/или СКВ	150–200 (новые) 150–250 (существующие)
Циркулирующий КС; пузырьковый КС, топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ	150–200 (новые) 150–250 (существующие)
Котел, топливо: нефть	Сочетание ПМ совместно с СНКВ, СКВ или комбинированной технологией	50–150 (новые) 50–200 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 50–200; существующие установки: 50–450)
Промышленный котел; топливо: газ	Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> или СКВ или СНКВ	50–100 (3% O <sub>2</sub> ) (другие значения в промышленности: 50–120)

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению</i>	<i>Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИИМ<sup>a</sup> (мг/Нм<sup>3</sup>) [3]</i>
<i>Котлы &gt;300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; топливо: каменный уголь	Сочетание ПМ совместно с СКВ или комбинированными технологиями	90–150 (новые) 90–200 (существующие)
Котел; топливо: бурый уголь	Сочетание ПМ	50–200 (новые) 50–200 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 100–200; существующие установки: 100–450)
Циркулирующий КС; КС под давлением, пузырьковый КС, топливо: каменный уголь, бурый уголь	Сочетание ПМ	50–150 (новые) 50–200 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 100–200)
Котел; топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ, при необходимости СКВ или СНКВ	50–150 (новые) 50–200 (существующие)
Циркулирующий КС; пузырьковый КС, топливо: биомасса и торф	Сочетание ПМ, при необходимости СКВ или СНКВ	50–150 (новые) 50–200 (существующие)
Котел, топливо: нефть	Сочетание ПМ совместно с СКВ или комбинированными технологиями	50–100 (новые) 50–150 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 50–200; существующие установки: 50–400)
Новые ПГУ без дополнительного сжигания топлива	Сухие горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и предварительным смешением или СКВ	20–50
Существующие ПГУ без дополнительного сжигания топлива	Сухие горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и предварительным смешением или впрыскивание воды и пара или СКВ при наличии пространства	20–90 (другие значения в промышленности: существующие установки: 80–120)
Новые ПГУ с дополнительным сжиганием топлива	Сухие горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и предварительным смешением или горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> в котельной части или СКВ или СНКВ	20–50

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению</i>	<i>Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ<sup>a</sup> (мг/Нм<sup>3</sup>) [3]</i>
Существующие ПГУ с дополнительным сжиганием топлива	Сухие горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и предварительным смешением или впрыскивание воды и пара и горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> в котельной части или СКВ при наличии пространства в рекуператоре или СНКВ	20–90 (другие значения в промышленности: существующие установки: 80–140)
Промышленный котел; топливо: газ	Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , или СКВ, или СНКВ	50–100 (3% O <sub>2</sub> ) (другие значения в промышленности: 50–120)
<i>Существующие газовые турбины</i>		
Топливо: природный газ	Впрыскивание воды и пара или СКВ	50–90 (другие значения в промышленности: 80–120)
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Впрыскивание воды и пара или СКВ	
<i>Новые газовые турбины</i>		
Топливо: природный газ	Сухие горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> и предварительным смешением или СКВ	20–50
Топливо: дизельное топливо или технологический газ	Мокрые технологии СКВ	

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердого топлива и 15% для газовых турбин.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям, и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также нарушений работы систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

*с) Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)*

283. Выбросы пыли образуются в процессе сжигания, особенно при сжигании тяжелого нефтяного топлива, угля и твердой биомассы. Выбросы пыли в результате сжигания твердого топлива превышают выбросы пыли при сжигании жидкого топлива. На крупных установках для сжигания в выбросах пыли содержится очень небольшая концентрация ЧУ, что объясняется высокой достигаемой эффективностью сгорания. ЧУ образуется при неполном сгорании и чаще всего характеризуется классом частиц диаметром менее 1 мкм. В таких крупных установках для сжигания концентрация ЧУ может возрасти во время пуска и останова, которые могут стать причиной неполного сгорания. Ровное, непрерывное и оптимальное горение снижает выбросы пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ), о чем было сказано в разделе D главы VI. В этом случае эффективными будут только те методы очистки от ЧУ, которые позволяют улавливать тонкодисперсные частицы. Опробованными технологиями удаления пыли на энергетических предприятиях являются тканевые и электрические фильтры (ЭФ) [6].

284. *Электрофилтры (ЭФ)* – технология сокращения выбросов, получившая наибольшее применение на углесжигающих энергетических установках [5]. Электрофилтры удаляют частицы из газового потока под действием электрического поля. Частицы получают электрический заряд, проходя через зону коронного разряда, в которой образуются ионы газа. Электрическое поле, прижимающее заряженные частицы к стенкам, создается электродами, к которым подведен ток высокого напряжения, в центре газотока [7].

285. Рассматриваемые устройства сокращения выбросов удаляют пыль, включая дисперсные частицы диаметром 10 и 2,5 микрон и меньше, а также опасные дисперсные загрязнители воздуха, например большинство оксидов металлов [7]. Электрофилтры применяются в большинстве установок для сжигания, работающих как на твердом, так и на жидком топливе; имеются электрофилтры для небольших и крупных установок для сжигания [1]. ЭФ обеспечивают высокую эффективность удаления тонкодисперсных частиц (и, соответственно, ЧУ, который является компонентом тонкодисперсного состава пыли, если таковой имеется). Эффективность ЭФ рассматривается в разделе Е главы VI.

286. *Тканевые филтры (рукавные пылеуловители)* широко используются во всем мире для удаления частиц. Тканевый филтр состоит из одной или нескольких изолированных камер, содержащих несколько цилиндрических, прямоугольных или фасонных тканевых рукавов или гофрированных карманов. Запыленный газ проходит вдоль поверхности рукавов, а затем радиально через ткань. Частицы задерживаются на поверхности рукавов в их верхней части, а очищенный газ выбрасывается в атмосферу [8]. Это очистное оборудование эффективно удаляет пыль, содержащую дисперсные частицы диаметром 10 и 2,5 микрон и меньше, а также дисперсные опасные загрязнители воздуха, например, большинство оксидов металлов [9]. Выбор между ЭФ или ТФ, как правило, зависит от марки угля, габаритов установки, типа и конфигурации котла [5]. ТФ обеспечивают высокую эффективность тонкой очистки (и соответственно от ЧУ, который является компонентом тонкодисперсного состава пыли, если таковой имеется). Эффективность ТФ обсуждается в разделе Е главы VI.

287. *Мокрые скрубберы* представляют собой устройства для очистки выбросов отработанных газов из стационарных источников от пыли и кислых газов при условии, что концентрация РМ уже находится в необходимых пределах, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию аппарата (если не требуется иная технология сокращения выбросов РМ перед ДДГ). Низкие капитальные затраты на приобретение мокрых скрубберов по сравнению с затратами на ЭФ и рукавные пылеуловители делают их потенциально привлекательными для промышленного использования, хотя этому могут мешать относительно большой перепад давления и высокие эксплуатационные расходы [3]. Загрязнители в основном удаляются путем абсорбции загрязнителя каплями жидкости. Затем жидкость, содержащую загрязнители, собирают для удаления. Существует множество типов мокрых скрубберов, которые предназначены для удаления как кислых газов, так и пыли.

i) НИМ удаления пыли

a. Сжигание каменного и бурого углей

288. Для удаления пыли из отходящих газов на новых и существующих установках для сжигания, работающих на каменном и буром углях, НИМ считаются использование ЭФ или ТФ, при этом ТФ, как правило, должны обеспечивать уровень выбросов менее  $5 \text{ мг/м}^3$ . Циклоны и механические золоуловители, взятые в отдельности, не являются НИМ, хотя их можно использовать на этапе предварительной очистки. Для установок сжигания мощностью свыше  $100 \text{ МВт}_{\text{тепл}}$ , и осо-

бенно свыше 300 МВт<sub>тепл</sub>, устанавливаются более низкие уровни выбросов пыли, достигаемые при применении НИМ, поскольку технологии мокрой ДДГ, уже составляющие часть НИМ десульфуризации, также сокращают выбросы пыли [10].

b. Сжигание биомассы и торфа

289. Для удаления пыли из отходящих газов, образующихся на новых и существующих установках для сжигания, работающих на биомассе и торфе, НИМ считается использование ТФ или ЭФ. При сжигании топлива с низким содержанием серы, например, биомассы, потенциальная эффективность ЭФ снижается при снижении концентрации диоксида серы в дымовых газах. В этом случае предпочтительным вариантом является использование ТФ, которые обеспечивают выбросы пыли на уровне примерно 5 мг/Нм<sup>3</sup>. Циклоны и механические золоуловители, взятые в отдельности, не являются НИМ, хотя их можно использовать на этапе предварительной очистки [10].

c. Сжигание жидкого топлива

290. Для обеспыливания отходящих газов на новых и существующих установках для сжигания, работающих на жидком топливе, НИМ является использование ТФ или ЭФ. Циклоны и механические золоуловители, используемые самостоятельно, не являются НИМ, хотя их можно использовать на этапе предварительной очистки. Для установок для сжигания мощностью свыше 300 МВт<sub>тепл</sub> устанавливаются более низкие уровни выбросов пыли, достижимые при применении НИМ, поскольку технология ДДГ, являющаяся НИМ для десульфуризации, также обеспечивает сокращение выбросов пыли [10].

d. Сжигание в газовых турбинах

291. Для новых газовых турбин НИМ являются малотоксичные сухие горелки с предварительным смешением и низкими выбросами NO<sub>x</sub> (МТГ). НИМ для существующих газовых турбин являются впрыск воды и пара в качестве первичной меры или переход на МТГ. МТГ являются НИМ только для новых газовых турбин там, где на рынке есть технология использования таких горелок в газовых турбинах, работающих на жидком топливе.

Таблица 18

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием достижимых уровней выбросов при их применении на установках для сжигания (сокращение ПМ означает первичные меры)**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов пыли при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
<i>Котлы мощностью 50–100 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; Топливо: каменный и бурый угли	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) (другие значения в промышленности: новые установки: 10–50) 5–30 (существующие) (другие значения в промышленности: существующие установки: 20–100)
Циркулирующий КС, Топливо: каменный уголь, бурый уголь	ЭФ или ТФ	



Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов пыли при применении ННМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Котел; Топливо: биомасса и торф Циркулирующий КС; Пузырьковый КС Топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–30 (существующие)
Котел, Топливо: нефть	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–30 (существующие) (другие значения в промышленности: новые и существующие установки: 10–50 ЭФ)
<i>Котлы мощностью 100–300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; Топливо: каменный и бурый угли	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	<5–20 (новые) 5–25 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 10–30; существующие установки: 10–100 ЭФ/ТФ; 10–50 в сочетании с мокрой ДДГ)
Циркулирующий КС, Топливо: каменный уголь, бурый уголь	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–25 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 10–30; существующие установки: 10–100 ЭФ/ТФ; 10–50 в сочетании с мокрой ДДГ)
Котел; Топливо: биомасса и торф, Циркулирующий КС; Пузырьковый КС; Топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–20 (существующие)
Котел, Топливо: нефть	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	<5–20 (новые) 5–25 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 5–30, существующие установки: 5–50)
<i>Котлы мощностью &gt;300 МВт<sub>тепл</sub></i>		
Котел; Топливо: каменный и бурый угли	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	<5–10 (новые) 10–20 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 10–30, существующие установки: 10–100; 10–50 в сочетании с мокрой ДДГ)
Циркулирующий КС; Топливо: каменный и бурый угли	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–20 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 10–30, существующие установки: 10–100; 10–50 в сочетании с мокрой ДДГ)

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов пыли при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) [3]
Котел; Топливо: биомасса и торф Циркулирующий КС; Пузырьковый КС Топливо: биомасса и торф	ЭФ или ТФ	<5–20 (новые) 5–20 (существующие)
Котел; Топливо: нефть	ЭФ или ТФ в сочетании с ДДГ	<5–10 (новые) 5–20 (существующие) (другие значения в промышленности: новые установки: 5–30, существующие установки: 5–50)

*Примечание:* Если не указано иное, приведенные значения являются среднесуточными при допущении, что объемная концентрация кислорода в отработанном газе составляет 3% для жидкого и газообразного топлива и 6% для твердого топлива.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям, и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также нарушений работы систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

##### a) Данные о затратах на сокращение выбросов NO<sub>x</sub>

Таблица 19

**Ориентировочные затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами NO<sub>x</sub>, образующимися на котельных установках (в евро 1999 года, Агентство по окружающей среде)**

Варианты сокращения	Обычно достижимое сокращение выбросов	Производительность (МВт <sub>эл</sub> )	Ориентировочные капитальные затраты (евро кВт <sub>эл</sub> )	Ориентировочные эксплуатационные расходы (евро кВт/ч)
СКВ <sup>a</sup>	80–90%	Различная	30–70 <sup>b</sup>	11–14 €/кВтэл/а <sup>b</sup>
СНКВ	30–50%	Различная	14	0,0011
Трехступенчатое сжигание	50–75%	Различная	42	0,0011
Рециркуляция дымовых газов	15–45%	Различная	14	0,00014
Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	30–50%	Различная	14	0

<sup>a</sup> Следует отметить, что организация СКВ носит сугубо индивидуальный характер, а это затрудняет определение капитальных затрат.

<sup>b</sup> J. Theloke, B. Calaminus, F. Dünnebeil, R. Friedrich, H. Helms, A. Kuhn, U. Lambrecht, D. Nicklaß, T. Pregger, S. Reis, S. Wenzel (2007): Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC Richtlinie, Umweltbundesamt, Texte 36/07, 498 pp. (cost data on p. 162).

##### b) Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов SO<sub>x</sub>

292. В таблице 20 приводятся ориентировочные оценки затрат на внедрение описанных выше технологий борьбы с выбросами серы. Однако при применении указанных технологий в каждом отдельном случае следует помнить, что капи-

тальные затраты на меры по сокращению выбросов зависят, помимо прочего, от конкретно используемых технологий, необходимых систем очистки, габаритов установки, технологических требований к степени сокращения выбросов и графиков технического обслуживания. Эксплуатационные расходы и затраты на техническое обслуживание для очистителей SO<sub>2</sub> в котельных установках возрастают при повышении содержания серы, поскольку требуется больше реагентов для очистки одного и того же объема газа [11].

293. Капитальные затраты варьируются в широком диапазоне и относительно велики для «мокрых» скрубберов, в которых используется известняк. При этом эксплуатационные расходы на эту технологию умеренны, что обусловлено автоматизацией, надежностью и возможностью получения товарного побочного продукта. Капитальные затраты на сухие скрубберы ниже на 30–50% по сравнению с затратами на «мокрые» скрубберы той же производительности, хотя эксплуатационные расходы у них выше из-за высокой стоимости сорбентов.

Таблица 20

**Ориентировочные затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами SO<sub>2</sub> на котельных установках (в евро 2001 года, ЕАОС)**

Вариант сокращения	Производительность МВт <sub>тепл</sub>	Капитальные затраты евро/кВт	Эксплуатационные затраты и затраты на техобслуживание евро/кВт	Годовые затраты евро/кВт	Затраты на тонну удаленного загрязнителя евро/т
Мокрый скруббер	>400	104–262	2–8	21–52	210–523
Мокрый скруббер	<400	262–1572	8–21	52–210	523–5 230
Сухой скруббер	>200	41–157	4–11	21–52	157–314
Сухой скруббер	<200	157–1 572	11–314	52–523	523–4 190

с) Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов пыли

Таблица 21

**Ориентировочные затраты на внедрение технологии борьбы с выбросами пыли на котельных установках (в евро 1999 года, Агентство по окружающей среде)**

Варианты сокращения	Обычно достижимое сокращение выбросов	Производительность	Ориентировочные капитальные затраты евро/кВт	Ориентировочные эксплуатационные затраты евро/кВт/час
ЭФ	Сокращение до уровня ниже 25 мг/м <sup>3</sup>	различная	35	0,00042
Тканевые фильтры	Сокращение до уровня ниже 25 мг/м <sup>3</sup>	различная	14	0,0015

## Справочные материалы, использованные в разделе С главы VII:

1. Rentz, O. and others (1999). *Task force of the assessment of abatement options/techniques for NO<sub>x</sub> from stationary sources*. BAT background document.

- United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
2. Environment Agency, Scottish Environment Protection Agency, Northern Ireland Environment and Heritage Service (2005). *IPPC Sector Guidance Note – Combustion Activities. Integrated Pollution Prevention and Control*. V2. 03 27.07.05.
  3. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants: Integrated Pollution Prevention and Control*.
  4. United States Environment Protection Agency (2005). *Multipollutant emission control technology options for coal fired power plants*. EPA-600/R-05/034.
  5. IEA Clean Coal Centre. Available from <http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/home>.
  6. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Thermal Power Plants*.
  7. United States Environment Protection Agency. *Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Dry Electrostatic Precipitator (ESP)-Wire-Plate Type*. EPA-452/F-03-028.
  8. United States Environment Protection Agency. *Wet Scrubbers for Particulate Matter*. Sect. VI, chap. II, EPA-452/B-02-001.
  9. United States Environment Protection Agency. *Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Fabric Filters*. EPA-452/F-03-026.025.024.
  10. Kraus, K. and others (2006). *Assessment of technological developments: Best Available Techniques and limit values*. Task Force on Heavy Metals, United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
  11. United States Environment Protection Agency. *Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Flue Gas Desulphurization-Wet, Spray Dry, and Dry Scrubber*. EPA-452/F-03-034.

## **D. Выбросы SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> и пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и черный углерод) на нефтеперерабатывающих заводах топливно-масляного профиля и на газоперерабатывающих заводах**

### **1. Охват**

294. В этом разделе рассматриваются выбросы, образующиеся в процессе сжигания некондиционного топлива или смеси кондиционного и некондиционного топлива на технологических установках, установках флюид-каталитического крекинга, установках регенерации серы (УРС) и факельных системах.

295. Топливо для технологических установок значительно различается по своей природе и включает в себя жидкое и газообразное топливо, которые часто используется совместно. Значительная доля топлива, используемого для промышленных нагревательных устройств, приходится на газ нефтепереработки. Различные процессы являются источниками большого количества соединений, попадающих в газ нефтепереработки, а это является причиной образования различных видов выбросов. Другие виды топлива, используемые в установках по производству минеральных масел, включают в себя природный газ, нефтяной кокс, тяжелое нефтяное топливо или другие жидкие или газообразные остатки, полученные в результате атмосферной и вакуумной дистилляции, флюид-каталитического

крекинга (ФКК) и термического каталитического крекинга (ТКК). Процессы переработки, такие как ФКК, могут предусматривать сжигание кокса, уложенного на слой катализатора, и СО, а также дополнительного топлива для получения пара. Нефтяной кокс может использоваться в качестве исходного сырья для газификации, но этот процесс не получил широкого распространения.

296. Многие технологические установки выводят продукты сгорания через общую систему отвода выбросов. Выбросы технологических установок, образующиеся в результате основных технологических процессов, включают выбросы  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  и пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и черный углерод (ЧУ)). ЧУ является неотъемлемой частью тонкодисперсной фазы. Его выбросы в установках сжигания могут образовываться только при неполном сгорании, происходящем во время запуска, останова и сажеобдувки, а также при нарушении режима эксплуатации. Источником выбросов ЧУ могут становиться факельные системы.

297. В настоящее время в Институте перспективных технологических исследований (ИПТИ) в Севилье продолжается работа над пересмотром БРЕФ по нефтеперерабатывающим заводам 2003 года [3]. Документ 2003 года является основным источником информации для большинства УВ-НИМ, рассматриваемых в настоящей главе.

## 2. Источники выбросов

298. Ниже основное внимание уделяется выбросам, образующимся в процессах переработки сырой нефти в рафинированные продукты. К ним относятся технологические нагреватели и котлы, электрогенерирующие установки и котлы-утилизаторы, установки каталитического крекинга и регенерации серы и факельные системы.

299. *Технологические нагреватели и котлы.* При большинстве процессов переработки для повышения температуры сырья до необходимого уровня требуется использовать тепло. Основными источниками тепла являются технологические нагреватели и котлы. Технологические нагреватели устанавливаются при атмосферной дистилляции, перед установками вакуумной дистилляции, перед установками ФКК и перед установками гидроочистки. Перерабатывающие заводы могут иметь на своей территории несколько технологических нагревателей, работающих на различном сырье [1].

300. *Газотурбинные установки* применяются для преобразования тепловой энергии в механическую работу. В них используется постоянный поток сжатого газа (по большей части, воздуха), воспламеняемого с газообразным или жидким топливом (иногда некондиционным). Энергия выхлопных газов может быть использована в рекуперативном генераторе на выходе из газовой турбины. Рекуперативный генератор состоит из парового котла или технологического нагревателя, который может быть оборудован дополнительной системой подачи топлива. Паровые турбины используются для преобразования энергии давления пара в механическую работу. В комбинированном цикле объединяется работа газовых и паровых турбин для производства электрической и тепловой энергии с более высоким КПД, чем у турбин открытого цикла.

301. *(Флюид)-каталитический крекинг (ФКК)* является одним из наиболее распространенных процессов перегонки тяжелых углеводородных фракций в более ценные легкокипящие фракции. При этом для расщепления более крупных молекул углеводородов на более мелкие, легкие молекулы используется тепло и катализатор. Установка каталитического крекинга обычно входит в состав технологического комплекса, включающего газофракционирующую установку, контур

аминовой очистки легких (включая C3/C4) газов и технологического оборудования для обработки потоков различных продуктов.

302. К установкам регенерации серы (UPC), как правило, относятся установки Клауса и установки очистки остаточных газов. Принцип их работы основан на окислительной конверсии  $H_2S$  из установки по очистке от кислых газов с получением элементарной серы. Установка очистки остаточных газов предназначена для увеличения общей регенерации элементарной серы. Они работают по принципу неполного сжигания потока газа, обогащенного сероводородом, в присутствии катализатора с последующим взаимодействием полученного диоксида серы и сероводорода для регенерации элементарной серы [3].

303. Факельная система, состоит по меньшей мере из факельного сепаратора и факельной трубы, а также дополнительного вспомогательного оборудования и соединяется сетью трубопроводов со многими технологическими производствами. Основной функцией факельной системы является сброс и регулирование давления в технологическом оборудовании (например, колоннах и сосудах) в случае необходимости, а также обеспечение безопасности процесса переработки даже в чрезвычайной ситуации. Во время останова или запуска оборудования, например, до и после технического обслуживания, факельные системы должны собирать отходящие газы для безопасного выброса. Факельные системы являются источниками выбросов  $SO_2$ ,  $NO_x$  и пыли (включая ЧУ).

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### а) $SO_2$

304. Выбросы сероводорода напрямую зависят от содержания серы в используемом в установках для сжигания нефтезаводском газе и нефтяном топливе. В зависимости от источника и состава сырой нефти [2] в остатках тяжелого нефтяного топлива, как правило, содержатся значительные количества серы и азота.

305. Существуют различные технологии десульфуризации дымовых газов с эффективностью очистки  $SO_2$  в пределах от 50% до 95–98%. В целом, удаление  $SO_2$  из дымовых газов осуществляется в мокрых скрубберах (известковый метод, метод Веллмана-Лорда, десульфуризация с применением морской воды, технология получения серной кислоты методом мокрого катализа), в распылительных сухих скрубберах, а также с помощью сорбентов и регенеративных процессов. При применении известковой суспензии можно достичь эффективности очистки от 90% до 98%. При добавлении присадок и использовании распылительных сухих скрубберов можно добиться эффективности очистки более 92%. Однако указанные показатели эффективности зависят от исходных концентраций, габаритов установок и их конкретного назначения.

306. Повышение энергоэффективности путем совершенствования тепловой интеграции и рекуперации тепла в масштабах всего НПЗ на основе энергосберегающих технологий и оптимизации производства и потребления энергии считается НИМ [3].

307. Использование всего ряда выпускаемых жидких топлив с низким содержанием серы, достигаемым, например, путем гидродесульфуризации, а также ДДГ на крупных котлах/печах в тех случаях, когда это экономически выгодно, считаются НИМ. Еще одним возможным вариантом является переход на другие виды топлива.

308. При каталитическом крекинге сокращение выбросов  $SO_2$  достигается путем использования реагентов, понижающих содержание серы, ДДГ регенеративного газа с эффективностью 95–99% (нормированный уровень выбросов опреде-

ляется нерегулируемым уровнем), что считается НИМ, если это экономически выгодно [3].

309. Мокрая очистка (например, очистка методом Веллмана-Лорда) является одним из вариантов ДДГ, который при надлежащей организации способен обеспечить эффективность удаления  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  и дисперсного вещества. При добавлении колонны дополнительной очистки для окисления NO до  $\text{NO}_2$  можно также добиться частичного удаления  $\text{NO}_x$  [3].

310. Перед восстановлением элементарной серы в УРС необходимо отделить топливные газы (в первую очередь, метан и этан) от сероводорода. При этом, как правило, сероводород растворяют в химическом растворителе (абсорбция). Самыми распространенными растворителями являются амины [3].

311. Для установок регенерации серы (УРС) НИМ считается применение ступенчатой УРС, включая очистку остаточных газов с указанной ниже эффективностью регенерации (на основе подаваемого в УРС кислого газа), при этом диапазон зависит от соображений экономической эффективности [3].

Таблица 22

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов  $\text{SO}_x$  с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению	Уровни выбросов $\text{SO}_x$ при применении НИМ <sup>a</sup> ( $\text{мг}/\text{Нм}^3$ ) [3]
Вид топлива: нефтезаводской топливный газ		
Нагреватели, котлы, газовые турбины	Использование технологий удаления серы из топливного газа и использование мониторинга	5–20 <sup>c</sup> , при использовании топливного газа путем очистки нефтезаводского топливного газа
Вид топлива: жидкое топливо		
Нагреватели, котлы	Сочетание: Низкосернистые топлива Применение технологий ДДГ (когда это возможно и рентабельно)	50–850 для всего нефтезаводского ряда жидких топлив
Каталитический крекинг		
Каталитический крекинг	Соответствующее сочетание: Гидроочистка сырья, если это рентабельно и технически возможно Реагенты, понижающие содержание серы (РПСС) ДДГ регенераторного газа, если это рентабельно	10–350
Установки регенерации серы (УРС)		
Степень регенерации серы <sup>b</sup>	Новые установки Существующие установки	99,5–99,9% 98,5–99,5%

*Примечание:* Указание на концентрацию кислорода: в пересчете на сухое вещество, 3% для сжигания (а также для газовых турбин (при 15% диапазон для газовых турбин составляет 7–17)).

- <sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также нарушений работы систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.
- <sup>b</sup> Степень регенерации серы выражается как процентная доля введенного  $H_2S$ , преобразованного в элементарную серу, на среднегодовой основе.
- <sup>c</sup> Поскольку значения выражаются в пересчете на сухое вещество, это значение необходимо скорректировать для углеводородных-водородных смесей. Верхний диапазон значений, таким образом, увеличивается пропорционально концентрации водорода в топливе со значением 35 при концентрации  $H_2$  50% по объему.

b)  $NO_x$

312. Основные выбросы  $NO_x$  образуются на установках сжигания и каталитического крекинга нефтеперерабатывающих заводов. Кроме вида топлива выбросы  $NO_x$  зависят от содержания азота в топливе (в жидком топливе) или содержания водорода, а также содержания  $S_{3+}$  (в газообразном топливе), конструкции горелок и нагревателей, а также условий эксплуатации [4].

313. Обычно уменьшение потребления топлива и замена существующих горелок на горелки с низким уровнем выбросами  $NO_x$  во время крупных плановых остановов рассматриваются в качестве НИМ, насколько это возможно при существующей технологической схеме.

314. Применение комплекса следующих первичных и вторичных мер, позволяющих добиться уровней выбросов от 20 до 150 мг/Нм<sup>3</sup> в нагревателях и котлах, работающих на газообразном топливе, рассматривается в качестве НИМ [3]:

- a) конструкция печей/котлов с высоким тепловым КПД и эффективными системами контроля;
- b) технология горелок с низкими выбросами  $NO_x$ ;
- c) циркуляция дымовых газов в котлах;
- d) СКВ или СНКВ.

315. Для нагревателей и котлов, работающих на комбинации газа и жидкого топлива (жидкое топливо в качестве преобладающего) применение соответствующего комплекса следующих первичных и вторичных мер, позволяющих добиться уровня выбросов от 55 до 300 мг/Нм<sup>3</sup>, рассматривается как НИМ [3]:

- a) топливо с низким содержанием азота;
- b) горелки с низким уровнем выбросов  $NO_x$ ;
- c) циркуляция дымовых газов в котлах;
- d) технология трехступенчатого сжигания;
- e) СКВ или СНКВ для жидкого топлива, более тяжелого, чем газойль (если это технически и экономически целесообразно).

316. Для газовых турбин НИМ считается применение комплекса следующих первичных и вторичных мер, позволяющих добиться уровня выбросов от 20–75 мг/Нм<sup>3</sup> [3]:

- a) впрыскивание разбавителя;
- b) топочные камеры с низкими выбросами и сухим подавлением  $NO_x$ ;
- c) СКВ (если это технически и экономически возможно).



Таблица 23

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов NO<sub>x</sub> с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Одна или несколько мер по сокращению</i>	<i>Уровень выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ<sup>a</sup> (мг/Нм<sup>3</sup>) [3]</i>
Вид топлива: нефтезаводской топливный газ		
Нагреватели, котлы	Конструкции с высоким тепловым КПД и эффективными системами контроля – технология горелок с низкими выбросами NO <sub>x</sub> – рециркуляция дымовых газов в котлах – СКВ или СНКВ (если это технически и экономически возможно)	20–150 <sup>2</sup>
Газовые турбины, работающие как на газе, так и легком жидком топливе	Впрыск разбавителя – топки с низкими выбросами и сухим подавлением NO <sub>x</sub> – СКВ (если это технически и экономически применимо)	20–75 (более низкие уровни при сжигании природного газа и более высокие выбросы у небольших газовых турбин и при РДГ)
Вид топлива: сжигание тяжелого жидкого топлива (преобладающее топливо)		
Нагреватели, котлы	Жидкое топливо с низким содержанием азота – технология горелок с низкими выбросами NO <sub>x</sub> – рециркуляция дымовых газов в котлах – СКВ или СНКВ при сжигании жидких топлив тяжелее, чем газойль (если это технически и экономически применимо)	55–300 <sup>2</sup>
Каталитический крекинг		
Каталитический крекинг	СО-печь/котел в условиях частичного окисления на крупных установках сжигания	100–300
	Сочетание (если это экономически целесообразно): модификация конструкции и режима работы регенератора, СКВ, СНКВ	300–600
		40–150

*Примечание:* Указание на концентрацию кислорода: в пересчете на сухое вещество 3% – для сжигания, 15% – для газовых турбин.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также нарушений работы систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> В справочнике БРЕФ ЕС 2003 года приводятся несколько различных значений в отношении БРЕФ УВ-НИМ.

с) *Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)*

317. Основными источниками выбросов пыли на нефтеперерабатывающих заводах являются технологические нагреватели и котлы, работающие на жидком тяжелом нефтяном топливе, каталитические генераторы тепла, коксовые печи, печи для сжигания отходов, операции по удалению нагара и продувки сажи в нагревателях и факельных системах [3].

318. Уровни выбросов пыли зависят от различных параметров, например вида топлива, конструкции горелки и концентрации кислорода на выходе радиационной части, и могут меняться в широких пределах.

319. Выбросы пыли из печей и котлов, работающих на тяжелом нефтяном топливе, состоят из смеси золы, сажи и ЧУ. Минеральные примеси являются естественным компонентом сырой нефти и при сжигании более тяжелого нефтяного топлива превращаются в золу. Сажа и ЧУ образуются вследствие несовершенства топочного процесса. При продолжительном горении в оптимальных условиях в пыли содержится небольшая концентрация ЧУ, хотя во время пуска и останова, когда может происходить неполное сгорание, она может увеличиваться.

320. Дисперсный состав выбросов из нагревателей и котлов, работающих на тяжелом нефтяном топливе, характеризуется частицами размером 1 мкм. Преобладающей технологией удаления дисперсного вещества являются ЭФ. Для сокращения выбросов пыли НИМ считается применение комплекса следующих технологий [3]:

- а) сокращение потребления топлива;
- б) максимальное использование газа и низкотемпературных жидких топлив;
- в) усовершенствование процесса распыления жидких топлив;
- г) использование ЭФ или фильтров для очистки дымовых газов в нагревателях и котлах при сжигании тяжелого жидкого топлива [3], если это технически и экономически возможно.

Таблица 24

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием уровней выбросов, достижимых при их применении на нефтеперерабатывающих заводах**

Источник выбросов	Одна или несколько мер по сокращению	Уровни выбросов пыли при применении НИМ <sup>1</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> )
Вид топлива: тяжелое жидкое топливо (преобладающее топливо)		
Нагреватели, котлы	Путем сочетания: – Сокращение потребления топлива – Максимальное использование газа и низкотемпературного жидкого топлива – Распыление потока жидкого топлива – Использование ЭФ	5–20 [3] (другие значения в промышленности: 5–50)
ФКК регенераторы	Путем сочетания: комплексные технологические меры, ЭФ, Трехступенчатые циклоны, скрубберы	10–40 <sup>2</sup> [5]

*Примечание:* Указание на концентрацию кислорода: в пересчете на сухое вещество, 3% – для сжигания, 15% – для газовых турбин.

<sup>1</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям, и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также нарушений работы систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>2</sup> Если при модернизации существующих ЭФ возникают технические трудности, то достичь верхнего предела может стать трудной задачей. В таких случаях цифра 50 представляется как более достижимое значение [3].

321. НИМ для факельных систем: Факельные системы могут оснащаться надлежащими системами мониторинга и контроля, которые необходимы для их бездымной работы, причем для предотвращения выбросов они должны функционировать постоянно в штатных условиях.

322. К технологиям, которые могут сокращать выбросы (в том числе ЧУ) [3] из факельных систем, относятся следующие:

а) запальные горелки обеспечивают более надежный розжиг отдувочных газов, поскольку они защищены от ветра;

б) закачка пара в факельные трубы может сократить выбросы дисперсного вещества;

с) следует не допускать образования нагара в факельных оголовках;

д) избыточный нефтезаводской газ должен сжигаться на факеле, а не выбрасываться через систему вентиляции. Для удаления жидкостей следует устанавливать парожидкостные сепараторы, оснащенные надежными затворами и системой отвода жидкости для недопущения ее уноса в зону горения. Вода из гидрозатворов должна направляться в систему сбора кислых стоков;

е) по экологическим и экономическим соображениям были разработаны системы рекуперации факельного газа. Для использования в других целях факельный газ улавливается и сжимается. Обычно рекуперированный факельный газ фильтруется и направляется в систему топливного газа нефтеперерабатывающего завода. В зависимости от состава рекуперированный факельный газ может использоваться в других целях. Согласно некоторым сообщениям на одном из газоперерабатывающих заводов Норвегии объемы сжигаемого в факелах газа удалось уменьшить до 0,08–0,12% производства. Рекуперация факельного газа сопряжена с существенными затратами, если сокращение объемов газа, сжигаемых в факеле, не сопровождается другими мерами.

#### 4. Новые методы

323. Новые методы сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  включают в себя улавливание  $\text{SO}_2$  из дымовых газов с последующим преобразованием в жидкую серу, а также биологический метод очистки от  $\text{H}_2\text{S}$  [3].

324. Комбинированный цикл внутрицикловой газификации (КЦВГ) представляет собой метод производства пара, водорода и электрической энергии из различных видов низкосортного топлива. Газифицированное твердое топливо сжигается в камере сгорания газовой турбины. Эта технология обеспечивает низкие выбросы. Такая же технология разработана также для тяжелых нефтяных остатков. Однако этот процесс еще не получил широкого промышленного распространения на нефтеперерабатывающих заводах. В Европе и США действует несколько опытно-промышленных установок, в основном мощностью примерно 250 МВт<sub>эл</sub>.

## Справочные материалы, использованные в разделе D главы VII:

1. EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook (1996). *Process Furnaces without contact*. SNAP Code 01 03 06.
2. Environment Agency (2009). *How to comply with your environmental permit, Additional guidance for: Guidance for the gasification, liquefaction and refining sector (EPR 1.02)*.
3. European Commission (2003). *Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries: Integrated Pollution Prevention and Control*.
4. Rentz, O. and others (1999). *Task force of the assessment of abatement options / techniques for NOx from stationary sources*. BAT background document. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
5. Schacht, J. and others (2007). *ESP units realise major dust emission reduction at Total Refinery Antwerp*. Total Refinery Antwerp, Belgium.
6. CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Integrated Pollution Prevention and Control (2009). *Refining BREF review – Air Emissions*. CONCAWE report 4/09 available from <https://www.concawe.eu/>.

## Е. Выбросы ЛОС на нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводах

### 1. Охват

325. В данной главе рассматриваются производства, являющиеся источником неорганизованных выбросов ЛОС на нефтеперерабатывающих заводах: неорганизованные выбросы, факельная система, резервуары-хранилища и нефтяные сепараторы. Неорганизованные выбросы ЛОС (например, из фланцев, насосов или любого другого оборудования) и потери с резервуаров для хранения жидких продуктов могут составлять более 50% общих выбросов ЛОС. Выбросы ЛОС происходят также в ходе процессов, связанных с сжиганием, и при использовании факелов, хотя на них приходится меньший объем выбросов ЛОС на нефтеперерабатывающих заводах. Станция отправки готовой продукции нефтеперерабатывающего завода рассматривается в разделе Т главы VII.

### 2. Источники выбросов

326. Рассматриваются следующие источники выбросов ЛОС:

#### а) Неорганизованные выбросы

327. Неорганизованные выбросы ЛОС происходят из-за ненадлежащего уплотнения элементов арматуры технологических установок высокого давления, например, таких как клапаны, фланцы и соединители, открытые линии и системы отбора проб, содержащие летучие жидкости или газы. Определение летучих продуктов дается в стандарте 15446 CEN (Европейского комитета по стандартизации) [7] и справочном документе [8], согласно которому к летучим продуктам относятся все продукты, не менее 20% которых по массе имеют давление паров выше 0,3 кПа при 20 °C.

328. Объем выбросов ЛОС из уплотнительных и затворных элементов зависит от:

- а) размера, типа и материала элемента;

- b) технического состояния, длительности эксплуатации;
  - c) давления, температуры и физического состояния продукта. На нефтеперерабатывающих заводах, выпускающих легкие продукты (нефтеперерабатывающие заводы топливного профиля), образуется больше выбросов.
  - d) клапаны являются источником 50–60% неорганизованных выбросов [1]. Основная часть неорганизованных выбросов происходит из небольшого количества источников (на менее 1% газовых/паровых клапанов может приходиться более 70% неорганизованных выбросов нефтеперерабатывающих заводов).
- b) Факельные системы*
329. Факельные системы используются для обеспечения безопасности и охраны окружающей среды при выбросах нежелательных или излишних горючих веществ и при аварийных сбросах газов или сбоях оборудования [1]. Выбросы ЛОС из самих факельных систем составляют малую часть общих выбросов нефтезаводских ЛОС. Однако неорганизованные выбросы могут образовываться в результате утечек в арматуре системы коллекторов факельного газа.
- c) Водонефтяные сепараторы*
330. Системы очистки сточных вод, применяемые на нефтеперерабатывающих заводах, состоят из нейтрализаторов, сепараторов для разделения нефти и воды, осадительных камер, осветлителей, системы флотации и прудов – накопителей активированного ила. Если нефтезаводские сточные воды загрязнены нефтью, их направляют на многоступенчатую очистку воды с помощью нефтяного сепаратора или коагуляционной установки.
331. Выбросы из канализационных систем и нефтяных сепараторов образуются главным образом при испарении НМЛОС с открытых поверхностей жидкостей. К прямым источникам относятся процессы промывки (например, обессоливание), отгонки кислой воды, а также пар, используемый в эжекторах для создания вакуума. К непрямым источникам относятся утечки из теплообменников, конденсаторов и насосов.
332. К источникам загрязнения углеводородами относятся [4]:
- a) установки для обессоливания: 40%;
  - b) резервуары-хранилища: 20%;
  - c) дренажные системы: 15%;
  - d) прочие процессы: 25%.
- d) Хранилища сырой нефти и летучих продуктов*
333. Без применения НИМ из резервуаров-хранилищ сырой нефти и летучих нефтепродуктов может происходить значительная часть выбросов ЛОС нефтеперерабатывающих заводов. В зависимости от их физических и химических свойств эти продукты могут храниться в различных типах хранилищ, например резервуарах со стационарной крышей, резервуарах с внешней или внутренней плавающей крышей. Резервуары со стационарной крышей можно использовать только для хранения нефтепродуктов с очень низким давлением пара.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

334. К НИМ сокращения выбросов ЛОС относятся следующие методы [1] [2].

a) *Неорганизованные выбросы*

- a) количественное определение источника выбросов ЛОС для установления их основных каналов в каждом конкретном случае;
- b) выполнение программы обнаружения и устранения утечек (ПОУУ) или ее эквивалента на основе проведения соответствующих кампаний. В надлежащей ПОУУ предусматривается определение периодичности конкретных измерений, типа оборудования, подлежащего проверке, типа фракционных линий, утечек, подлежащих устранению, и срочности устранения;
- c) использование системы очистки при техническом обслуживании и ремонте;
- d) выбор и использование герметичной арматуры, такой как клапаны с графитовым уплотнением или их аналоги, на линиях, предназначенных для нефтепродуктов с высоким давлением пара;
- e) использование герметичных насосов (например, без уплотнения, с двойным уплотнением, с газонепроницаемым уплотнением или надежными механическими затворами) на линиях, предназначенных для продуктов с высоким давлением пара;
- f) установка заглушек и уплотнений на затворы концевых и предохранительных клапанов;
- g) использование распределительной арматуры с высоким потенциалом выбросов ЛОС на факел;
- h) применение компрессорных установок с высоким потенциалом возврата выбросов ЛОС обратно в технологический процесс и, если это невозможно, на факел для сжигания;
- i) использование полностью замкнутого контура во всех штатных пробоотборниках, которые могут стать источниками выбросов ЛОС;
- j) сведение к минимуму факельного сжигания.

335. Программа ПОУУ основана на следующих принципах [3]:

- a) определение того, что является утечками, и установление соответствующих пороговых значений;
- b) определение частоты проведения осмотров;
- c) составление перечня и определение включенных компонентов;
- d) ремонт негерметичных компонентов в зависимости от категории утечки.

336. Повышение герметизации оборудования можно осуществлять, не прерывая его работы (за исключением клапанов с дистанционным управлением, например затяжка болтов для устранения утечек из штоков клапанов или фланцев, установка концевых герметизирующих колпачков и т.д.).

337. Техническое обслуживание с демонтажем оборудования или его заменой должно проводиться только при останове установки с изоляцией линий и дегазацией. Это означает, что проведение технического обслуживания исключительно для сокращения неорганизованных выбросов может повлечь неприемлемые расходы.

338. Техническое обслуживание оборудования может заключаться в его частичной или полной замене аналогичным технологическим оборудованием (в данном

документе определяется как базовое техническое обслуживание). Возможна также полная замена оборудования, например, новейшими клапанами, не допускающими утечек (в данном документе не рассматривается).

*b) Водоочистные сооружения [1]*

а) Использование сепараторов, отстойников и приемных резервуаров закрытого типа и отвод отработанных газов на водоочистную установку. Внедрение некоторых из этих технологий может нарушить работу водоочистной установки и повлиять на безопасность при ненадлежащем проектировании и эксплуатации. По этим причинам данный метод может привести к возникновению некоторых технических проблем в случае переоснащения.

*c) Хранение и обращение [1] [2]*

а) Обеспечение того, чтобы жидкости и газы хранились в соответствующих емкостях или резервуарах в зависимости от фактического давления пара хранимых материалов;

б) использование высокоэффективной арматуры в резервуарах с плавающей крышей (примеры, приведенные в документе [1], свидетельствуют о том, что растущий потенциал сокращения выбросов с переходом с первичной запорной арматуры с механическими затворами на гидравлические составляет 84%);

с) защита насыпью всех хранимых химических веществ с отдельной защитной насыпью для несовместимых веществ;

д) применение мер по уменьшению выбросов при очистке резервуаров;

е) применение концепции рационального ведения хозяйства и природопользования;

ф) сведение к минимуму количества резервуаров и их объема за счет рационального сочетания технологических линий, интеграции перерабатывающих установок, причем указанные технологии гораздо легче применять на новых установках, например регуляторы давления паров при переливе из заполненной емкости в пустую. Несовместимость паров в резервуаре и использование резервуаров с внешней плавающей крышей являются отдельными примерами, иллюстрирующими ограничения по применению. Пределы применения должны отражать экономические параметры, тип и габариты используемой емкости (например, бак, автоцистерна, железнодорожная цистерна, судно), тип углеводородных фракций и частоту использования емкости. Поскольку рассматриваемая технология имеет непосредственное отношение к последующей технологии, следует выполнять их совместную оценку при реализации на конкретном предприятии;

г) применение оборудования рекуперации паров (ОРП) (неприменимо для нелетучих продуктов) в цистернах, транспортных средствах, судах и т.д., особенно при стационарном использовании и при наливке/сливе. Достижимые уровни выбросов в значительной степени зависят от области применения, но рекуперация 95–>99% паров рассматривается как НИМ. Если оборудование для рекуперации паров не считается приемлемыми для определенных нефтепродуктов, в качестве НИМ рассматриваются установки для разрушения паров. При определении применимости данного НИМ следует учитывать такие свойства фракций, как вид вещества, совместимость веществ или их количество. Пределы применения должны отражать экономические параметры, тип и габариты используемой емкости (например, бак, автоцистерна, железнодорожная цистерна, судно), вид углеводородных фракций и частоту использования емкости. Поскольку рассматриваемая технология имеет непосредственное отношение к приведенной выше,

следует выполнять их совместную оценку при реализации на конкретном предприятии;

h) уменьшение риска загрязнения почвы путем осуществления программы профилактических осмотров, которая может включать меры по рациональной организации производства, резервуары с двойным дном, непроницаемую обшивку;

i) установка самозапорных шланговых штуцеров или применение дренажных сливов трубопроводов;

j) некоторые другие наилучшие методы.

339. Внешние и внутренние плавающие крыши могут обеспечивать следующую эффективность сокращения выбросов: уровень выбросов при применении НИМ для крупного резервуара с внешней плавающей крышей составляет как минимум 97% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер). Такого уровня можно добиться, если 95% кольцевого зазора между крышей и стенкой составляет менее 3,2 мм, а при этом применяются гидравлические или механические затворы. Путем установки первичных гидравлических затворов и вторичных уплотняющих затворов можно добиться сокращения выбросов в атмосферу до 99,5% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер) [2].

340. Достижимое снижение выбросов для крупного резервуара с внутренней плавающей крышей составляет как минимум 97% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер). Такого уровня можно добиться, если более 95% кольцевого зазора между крышей и стенкой составляет менее 3,2 мм, а при этом применяются гидравлические или механические затворы. Путем установки первичных гидравлических затворов и вторичных уплотняющих затворов можно добиться дальнейшего сокращения выбросов в атмосферу. Однако чем меньше объем резервуара и чем меньше циклов наполнения–слива, тем ниже эффективность плавающей крыши.

341. Однако измерения в диффузных источниках (например, в резервуарах) можно проводить только в течение коротких промежутков, а экстраполяция для получения годовой оценки уровней выбросов обусловлена значительной погрешностью, обусловленной временным колебанием выбросов из источников этой категории.

Таблица 25

**Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ сокращения выбросов в процессе хранения**

<i>Источники выбросов</i>	<i>Сочетание НИМ</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при использовании НИМ</i>
Резервуары-хранилища для летучих продуктов	Внутренняя плавающая крыша Внешняя плавающая крыша Прочие конструкции резервуаров и надлежащая покраска	97–99,5% по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер*

\* Если эффективности невозможно добиться в силу особых характеристик резервуара (например, небольшого объема или малого диаметра), следует использовать наилучшую имеющуюся первичную и вторичную арматуру.



Таблица 26

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС при операциях налива и слива**

<i>Источник выбросов</i>	<i>НИМ и эффективность сокращения</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ* кг ЛОС/м3/кПа[1], [5]</i>
Заполнение автоцистерны, нижний или верхний налив и выравнивание давления паров от предыдущего слива ОРП	ОРП с эффективностью 95–99% [1]	0,0228 x 0,05 до 0,0228 x 0,01
Железнодорожная цистерна, верхний налив и ОРП		0,0108 x 0,05 до 0,0108 x 0,01
Морской танкер, типичные условия грузовых танков		0,004 x 0,05 до 0,004 x 0,01
Нефтеналивная баржа – типичные условия грузовых танков		0,007x 0,05 до 0,007 x 0,01

*Примечание:* кПа: фактическое давление летучего продукта.

\* Отсутствуют в справочном документе [1], но были рассчитаны с помощью справочного документа [5].

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий ограничения выбросов

342. Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов ЛОС на нефтеперерабатывающих предприятиях приводятся в кратком списке ГЭТЭВ [6] выбросов ЛОС.

343. Расходы на программу ПОУУ зависят от пороговых значений, определяющих природу утечек. В документе [1] приводятся эксплуатационные расходы, колеблющиеся в пределах от 0,04 до 0,08 млн. евро/год для 10 000 ppm (частей на миллион) и 0,8 млн. евро/год для 100–500 ppm (частей на миллион).

#### Справочные материалы, использованные в разделе Е главы VII:

1. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques for mineral oil and gas refineries*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
2. European Commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques on emissions from storage*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
3. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2003). *Background document on the organic chemical industry*.
4. CONCAWE Air and Water Quality Management Groups by its Special Task Forces AQ/STF-55 and WQ/STF-28 (1999). *Best Available Techniques to reduce emissions from refineries*.
5. CONCAWE Air and Water Quality Management Group's Special Task Force on Emission Reporting methodologies (2009). *Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries*. CONCAWE Report n°1/2009 (Amending report 2007).
6. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Synopsis sheet - Processes in refineries – Emissions of NMVOC*.

7. *Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors. Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks.* BS EN15446:2008.
8. United States Environmental Protection Agency (1995). *Protocol for equipment leak Emission estimates.* EPA-453/R-95-017.

## **Е. Коксовые печи**

### **1. Охват**

344. В настоящем разделе рассматриваются выбросы из коксовых печей при производстве чугуна и стали. Дальнейшее использование кокса или коксовых газов в настоящем разделе не рассматривается. Более подробную информацию см. в разделе «Производство чугуна и стали».

### **2. Источники выбросов**

345. В производстве первичного чугуна и стали основной эксплуатационной единицей является доменная печь (см. раздел «Производство чугуна и стали»). Кокс в основном используется в качестве восстановителя в доменном производстве в силу своих физических и химических свойств. Кокс получают в коксовой печи путем сухой перегонки угля.

346. *Коксовая батарея.* Кокс получают путем безвоздушной перегонки смеси угля коксующихся сортов. Коксовая печь представляет собой камеру, выложенную огнеупорными кирпичами. Простенок коксовой батареи состоит из отопительных каналов с форсунками для подачи топлива и с каналами для впуска воздуха. Как правило, очищенный коксовый газ используется в качестве топлива наряду с другими газами, например доменным газом. Полученный кокс далее используется в качестве восстановителя в доменных печах.

347. В связи с высокой стоимостью кокса его заменителями в качестве восстановителя в доменном производстве могут стать пылеугольное топливо, нефтяное топливо, пластмассы и т.д. [2]. Такое уменьшение потребления кокса также позволяет снизить общие выбросы при производстве кокса. Для производства перелдельного чугуна без использования кокса были разработаны некоторые процессы «прямой» и «восстановительной выплавки» (например, процесс КОРЕКС).

### **3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)**

#### **а) $SO_2$**

348. В целом выбросы  $SO_2$  можно свести к минимуму путем уменьшения содержания серы в угле.

349. В процессе коксования сера, содержащаяся в угле, полностью преобразуется в  $H_2S$  и захватывается вместе с коксовым газом, который обычно используют после очистки коксового газа, например в качестве топлива для коксовой печи при недожоге. Следовательно, выбросы  $SO_2$  можно свести к минимуму путем использования коксующегося угля с более низким содержанием серы, а также путем надлежащей десульфуризации коксового газа. При недожоге можно использовать коксовый и доменный газы.

350. В качестве НИМ рассматривается использование десульфурованного коксового газа. Десульфуризация коксового газа абсорбционными методами или окислительной десульфуризации рассматривается в качестве НИМ.

351. Предотвращение утечек между камерой печи и нагревательной камерой регулярной работы коксовой печи рассматривается в качестве НИМ [2]. В таблице 27 приводятся отдельные НИМ сокращения выбросов  $H_2S$  с соответствующими уровнями  $H_2S$  в коксовом газе (для дальнейшего использования в качестве топлива, в частности, для недожога в коксовой печи).

Таблица 27

**Содержание  $H_2S$  в коксовом газе при применении НИМ сокращения  $H_2S$  [2]**

Сочетание мер по сокращению		Уровни $H_2S$ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Коксовый газ	Десульфуризация абсорбционными методами	500–1 000
	Окислительная десульфуризация	<500

*Примечание 1:* Можно предположить, что достичь уровней выбросов при применении НИМ возможно в течение длительного периода в стандартных условиях и при типичной нагрузке.

*Примечание 2:* Согласно докладу Германии о выполнении Директивы ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнений за 2006 год выбросы  $SO_x$  из коксовых печей в Германии, в которых без исключений применяется десульфуризация КГ, составляли 110–250 мг/м<sup>3</sup> при использовании только КГ (90% значений, выраженных в перцентилях, основываются на получасовых средних значениях, полученных в ходе непрерывных измерений). При сжигании смеси газов (главным образом смеси КГ и доменного газа) зафиксированные значения находились в пределах 80–160 мг/м<sup>3</sup>.

b)  $NO_x$ 

## Коксовый газ

352. Выбросы азота при работе коксовой печи образуются в основном в результате действия тепловых и топливных механизмов образования  $NO_x$  (описание различных механизмов см. в разделе D главы III). Топливные  $NO_x$  образуются в результате остаточного содержания азотных соединений в коксовом газе после очистки, например, аммиака. Вместе с тем большое значение имеет также вид сжигаемого топлива. [1].

353. Наиболее эффективным способом подавления образования  $NO_x$  является снижение температуры пламени в нагревательной камере [1]. Поэтому выбросы  $NO_x$  из коксовой печи предпочтительнее сводить к минимуму путем технологических мер, хотя можно также использовать очистные технологии в конце производственного цикла. Однако в связи с высокой стоимостью денитрификация дымовых газов (например, СКВ) в настоящее время не применяется, за исключением ограниченного количества новых установок в случаях, когда возможно несоблюдение стандартов качества окружающей среды [2].

354. Для новых батарей в качестве НИМ рассматривается использование модифицированных технологий сжигания, например, технологий с низкими выбросами  $NO_x$  и ступенчатое сжигание. Достижимая величина выбросов  $NO_x$  составляет 500–770 мг/Нм<sup>3</sup>.

Таблица 28

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения уровней выбросов NO<sub>x</sub> в коксовых печах [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению</i>	<i>Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ1а (мг/Нм3)</i>
Сжигание коксового газа	Модификация технологии сжигания (на новых установках)	500–770 (5% O <sub>2</sub> ) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Можно предположить, что достичь уровней выбросов при применении НИМ возможно в течение длительного периода в стандартных условиях и при типичной нагрузке. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Доклад Германии о выполнении Директивы ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнений за 2006 год: выбросы NO<sub>x</sub> из коксовых печей, выраженные как среднегодовые величины в различных установках, составляли 322–414 мг (при сжигании только КГ или смеси газов).

с) *Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и черный углерод)*

355. С информацией о выбросах из доменных печей, где используется коксовый газ, можно ознакомиться в разделе «Производство чугуна и стали».

356. Выбросы пыли в коксовых печах образуются, как правило, из диффузных источников выбросов пыли в коксовой батарее, начиная от погрузки-выгрузки и подготовки угля, диффузных выбросов из загрузочных люков, дверей коксовой печи и выталкивания кокса до его тушения.

357. Согласно источникам [4] [5] коксовые печи являются крупным источником выбросов ЧУ в развивающихся странах. В западных странах выбросы контролируются и ограничиваются. Данные мониторинга очень скудны. Выбросы пыли могут содержать определенную долю ЧУ. Меры по снижению выбросов пыли могут приводить к последующему снижению выбросов черного углерода, если эти меры эффективны для тонкодисперсных частиц. Выбросы пыли (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и черный углерод) следует предотвращать путем сведения к минимуму выбросов при загрузке шихты (таблица 29), эффективной герметизации отверстий и надлежащего технического обслуживания, сведения к минимуму утечек в простенках между камерой коксовой печи и нагревательной камерой и, в частности, обеспыливания при выдаче кокса. Пыль в отработанном газе при неполном сгорании в коксовой печи можно удалять с помощью тканевых фильтров или ЭФ [2] [3].

Таблица 29

**Источники выбросов и отдельные НИМ сокращения выбросов пыли с указанием уровней выбросов при их применении в коксовых печах [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер сокращения</i>	<i>Уровни выбросов пыли при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup> или (кг/т)</i>
Загрузка	«Бездымная» или последовательная загрузка  Предпочтительно с помощью двух стояков или перемычек; эффективный отвод и последующее сжигание и фильтрация на тканевых фильтрах	(<5 г/т кокса)

Источник выбросов	Сочетание мер сокращения	Уровни выбросов пыли при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)
Выдача	Вытяжка с (комплексным) колпаком на коксовой станочной линии и наземная очистка газов	(<5 г/т кокса (выбросы из дымовых труб))
	Очистка извлекаемого газа и использование коксотушильного вагона с одним выгрузочным циклом	
Тушение	Мокрое тушение	(<50 г/т кокса)
	Сухое тушение кокса (СТК)	<5 мг/м <sup>3</sup> (<6–12 г/т кокса)

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### 4. Новые методы

358. В связи с высокими затратами и воздействием использования кокса на окружающую среду при использовании кокса процессы «прямой» и «восстановительной плавки» могут заменить собой этап доменного процесса, а в результате этого отпадает необходимость в производстве кокса [2].

359. Целью внедрения так называемых «первоклассных» коксовых печей является, в частности, сокращение выбросов NO<sub>x</sub> и пыли.

#### Справочные материалы, использованные в разделе F главы VII:

1. Rentz, O. and others (1999). *Task force of the assessment of abatement options / techniques for NO<sub>x</sub> from stationary sources*. BAT background document. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
2. European commission (2001). *Best Available Techniques Reference Document on the production of Iron and Steel*.
3. European commission (2008). *Best Available Techniques Reference Document on the production of Iron and Steel*. In preparation.
4. United Nations Environment Programme, World Metrological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
5. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from: <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).

### G. Производство чугуна и стали

#### 1. Охват

360. В данном секторе рассматриваются производство чугуна и стали на металлургических комбинатах (агломерационные установки, установки по производству окатышей, батареи коксовых печей, доменные печи и кислородные конвер-

теры, включая непрерывную разливку и разливку в слитки) и выплавка стали в электродуговых печах [1]. Остальные технологические операции, такие как обработка черных металлов на литейных заводах, прокат или цинкование, рассматриваются в разделе «Обработка черных металлов». Выбросы из коксовых печей при выплавке чугуна и стали рассматриваются в разделе, посвященном коксовым печам.

## 2. Источники выбросов

361. Производство чугуна и стали является материало- и энергоемкой отраслью, в которой более половины вводимых ресурсов превращается в отработанные газы и твердые отходы/отходы производства. В общем объеме выбросов большинства загрязнителей преобладают выбросы в атмосферу из агломерационных установок. Помимо агломерационных установок, большинство подобных выбросов образуется на установках по производству окатышей, батареях коксовых печей (рассматриваются в отдельном разделе данного сектора), в доменных печах, при выплавке стали в кислородных конвертерах и разливке, а также при электросталеплавином производстве и разливке [1] [2].

### a) Агломерационные установки

362. Производство агломерата, являющегося продуктом агломерации металлургической шихты, является основным источником экологических проблем на металлургических комбинатах. Этот продукт получают путем нагрева слоя шихты (железной руды, кокса, известняка и т.д.) с просасыванием нагретого дымового газа через этот слой с последующим образованием расплавления его поверхности и образованием агломерата. Агломерационные установки играют очень важную роль в управлении внутренними материальными потоками на металлургических комбинатах, поскольку в данных условиях содержащееся в большинстве отходов железо можно повторно использовать в составе шихты, а тем самым экономить сырье. Отходящие выбросы газовых агломератов содержат такие загрязнители, как пыль, тяжелые металлы, SO<sub>2</sub>, HCl, HF, ПАУ и хлорорганические соединения [1] [3].

363. Согласно документам [10] [11] [13] агломерационные установки не являются крупными источниками ЧУ. Данные мониторинга очень скудны.

### b) Установки по производству окатышей

364. Производство окатышей представляет собой альтернативу процессу агломерации железосодержащих материалов, причем гранулы производят в основном на месте разработки или в порту отгрузки. Опять-таки выбросы в атмосферу являются основной причиной экологических проблем [1] [9].

365. Согласно документам [10] [11] [12] установки по производству окатышей не относятся к крупным источникам ЧУ. Данные мониторинга очень скудны.

### c) Коксовые батареи

366. Батареи коксовых печей не включаются в данную часть, но рассматриваются в разделе F главы VII.

### d) Доменные печи

367. Доменный процесс до настоящего времени остается наиболее важным процессом производства передельного чугуна из железосодержащих материалов. Путем восстановления углеродом и воздействия горячего газа происходит преобразование железной руды в передельный чугун, который далее используется в

качестве сырья в сталелитейном производстве. В связи с большим количеством вводимых восстановителей (кокс, пылеугольное топливо) данный процесс потребляет большую часть энергии на сталелитейных предприятиях с законченным циклом производства [1]. При этом образовывается большой объем технологического газа, который нуждается в очистке перед использованием для внутреннего сжигания или внутреннего/внешнего производства энергии.

368. Хотя доменный процесс остается основным процессом производства чугуна, в настоящее время разрабатывается ряд других способов производства чугуна в чушках. Два основных типа альтернативных процессов производства чугуна включают в себя прямое восстановление (производство твердого передельного чугуна из железной руды с помощью восстановителя, например, природного газа) и восстановительную выплавку (сочетание прямого восстановления в восстановительной шахте с выплавкой в отдельном плавильном газификаторе без использования кокса). КОРЕКС представляет собой промышленный опробованный вариант процесса восстановительной выплавки [4]. В рассматриваемых технологиях в качестве восстановителя используется кокс, уголь или природный газ. В некоторых из новых технологий в качестве основного сырья используется кусковая руда и окатыши измельченной железной руды. Твердый продукт называется железом прямого восстановления (ЖПВ) и используется преимущественно в качестве сырья в электродуговых печах (ЭДП) [4] [9].

369. Согласно документам [10] [11] [12] доменные печи не относятся к крупным источниками ЧУ. Данные мониторинга крайне скудны.

*e) Выплавка стали в кислородных конверторах и разливка*

370. Производство стали кислородно-конвертерным способом преследует цель уменьшить содержание углерода и удалить нежелательные примеси, содержащиеся в горячем металле из доменной печи. Оно включает предварительную обработку горячего металла, процесс окисления в кислородном конвертере, вторичную металлургическую обработку и разливку (непрерывную и/или разливку в слитки). В дополнение к горячему металлу в качестве загружаемого материала можно использовать до 25% металлического лома. Собранный газ из кислородного конвертора очищают и хранят для последующего сжигания в качестве топлива, если это экономически целесообразно, для энергосбережения [1] [4].

371. Согласно документам [10] [11] [12] кислородные конвертеры не относятся к крупным источникам ЧУ. Данные мониторинга крайне скудны.

*f) Выплавка стали в электродуговых печах и разливка стали*

372. В электродуговых печах обычно осуществляется прямая выплавка железосодержащих материалов, в основном, металлолома. Это процесс потребляет значительное количество энергии и является источником существенных выбросов в атмосферу. Энергопотребление (и соответствующий объем выбросов CO<sub>2</sub>) при выплавке стали в электродуговых печах составляет примерно одну треть от энергии, потребляемой в доменной печи/кислородном конвертере. Применение данного производственного метода с меньшим выбросом CO<sub>2</sub>, однако, упирается в обеспеченность металлоломом и определенными характеристиками стали, которые можно получить только в ходе первичного технологического процесса [1].

373. Согласно документам [10] [11] [12] электродуговые печи не являются крупными источниками ЧУ. Данные мониторинга крайне скудны.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### а) $SO_2$

374. В *агломерационных установках* выбросы  $SO_2$  можно свести к минимуму путем снижения поступления серы (использование коксовой пыли и железной руды с низким содержанием серы); при этом можно добиться концентрации в выбросах  $<500 \text{ мг } SO_2/\text{Нм}^3$ . Выбросы  $SO_2$  из агломерационных установок можно также сократить путем использования методов сухой или полусухой адсорбции в сочетании с высокоэффективными фильтрами-пылеуловителями (в рамках технологии сокращения выбросов нескольких загрязнителей).

375. При мокрой десульфуризации отработанного газа можно добиться сокращения выбросов  $SO_2 >98\%$  и концентрации  $SO_2 <100 \text{ мг/Нм}^3$ . В связи с высокими затратами к мокрой десульфуризации отработанного газа следует прибегать только в тех случаях, когда возможно нарушение нормативов качества окружающей среды [1], а также уменьшение эксплуатационной надежности (коэффициент готовности оборудования).

376. В *установках производства окатышей* удаление пыли,  $SO_2$  и других загрязнителей из отработанного газа обжиговой ленты можно осуществлять либо путем промывки, либо полусухой десульфуризации с последующим удалением пыли (например, абсорбер газовзвеси (АГВ)), либо путем использования любого другого устройства с аналогичной эффективностью удаления [1].

377. Добавление таких адсорбентов, как гашеная известь, негашеная известь или зола уноса с высоким содержанием негашеной извести, можно применять для дальнейшего снижения выбросов  $SO_2$  с впрыском этих адсорбентов в отводящийся отработанный газ перед фильтрацией [9].

Таблица 30

#### Уровни выбросов $SO_2$ при применении НИМ в производстве чугуна и стали

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> $\text{мг/Нм}^3$ или $(\text{кг/т})$	Примечания
Агломерационные установки [1]	$<500$ (1)	500 согласно БРЕФ
Установки по производству окатышей [1]	$<20$	$SO_2$ как $SO_2$ ; с использованием системы с эффективностью удаления $>80\%$
Доменные печи: кауперы (нагревательные печи)	$<200$	При концентрации кислорода 3% В докладе Германии о выполнении Директивы ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнений за 2006 год диапазон $60\text{--}210 \text{ мг/м}^3$ указан в пределах 5 и 95 перцентилей на основе получасовых средних значений при непрерывных измерениях.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.



b)  $NO_x$ 

378. В *агломерационных установках* выбросы  $NO_x$  следует сводить к минимуму, например, путем рециркуляции отработанного газа, денитрификации отработанного газа с применением регенеративной очистки активированным углем или селективного каталитического восстановления. Регенеративная очистка активированным углем и селективное каталитическое восстановление представляют собой варианты сокращения выбросов  $NO_x$ , которые пока еще не применяются в полном масштабе в регионе ЕЭК ООН вследствие высокой стоимости (в настоящее время проводятся опытно-промышленные испытания СКВ на одном сталелитейном заводе в Европе) [1].

379. Для *установок по производству окатышей* в качестве НИМ рассматривается оптимизация их конструкции для повторного использования полезной теплоты и снижения выбросов  $NO_x$  на всех этапах процесса обжига (зона подогрева, где это применимо, и сушка при размоле) [1]. Для одной установки по производству окатышей уровень выбросов  $NO_x$  в пределах 175 г/т окатышей достигается исключительно путем принятия технологических мер, а именно путем сочетания малого энергопотребления, использования топлива с низким содержанием азота (уголь и нефть) и ограничения избытка кислорода [5] [6].

380. Применение современных горелок может способствовать уменьшению выбросов  $NO_x$  в *кауперах доменных печей*.

Таблица 31

**Уровни выбросов  $NO_x$  при применении НИМ в производстве чугуна и стали**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Доменная печь (нагревательные печи) [1]	20–120	При концентрации кислорода 3%  В докладе Германии о выполнении Директивы ЕС о комплексном предотвращении и контроле загрязнений за 2006 год диапазон 20–120 мг/м <sup>3</sup> указан в пределах 5 и 95 перцентилей на основе получасовых средних значений при непрерывных измерениях.
Агломерационные установки <sup>a</sup> [6]	300–400 100–120 <sup>b</sup>	Нормальные эксплуатационные условия СКВ <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Можно предположить, что достичь уровней выбросов при применении НИМ возможно в течение длительного периода в стандартных условиях и при типичной нагрузке. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Уровни выбросов основаны на данных Японии и Тайваня.

<sup>c</sup> В связи с высокой стоимостью денитрификация отработанных газов не проводится, за исключением тех случаев, когда возможно несоблюдение стандартов качества окружающей среды.

с) *Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)*

381. По возможности следует использовать тканевые фильтры, снижая содержания пыли до уровня менее  $20 \text{ мг/м}^3$  (среднечасовое). Если условия не позволяют сделать это (вследствие их быстрой засоряемости и воспламеняемости), можно использовать ЭФ и/или высокоэффективные скрубберы, уменьшающие содержание пыли до  $50 \text{ мг/м}^3$ . При многих вариантах применения тканевых фильтров можно добиться значительно более низких значений [4] [7].

382. *Агломерационные установки* могут стать основным источником выбросов пыли на сталеплавильных заводах полного цикла. Выбросы образуются в первую очередь при обработке материалов и на конвейерной ленте при агломерации.

383. Более того, пыль (наряду с ПХДД/Ф) является наиболее значительным загрязнителем на агломерационных установках, и удаление пыли из отработанного газа рассматривается в качестве НИМ, например, путем применения современной технологии электростатического улавливания (ЭФ с подвижными электродами, ЭФ с импульсным питанием, ЭФ с высоким напряжением) или электростатического улавливания плюс тканевый фильтр, или предварительной очистки от пыли (например, ЭФ или циклон) плюс мокрые скрубберы высокого давления. Эффективность работы ЭФ может ограничивать присутствие мелкодисперсной пыли, которая состоит в основном из щелочей и хлоридов свинца.

384. К НИМ также относится герметизация и вентиляция агломерационных операций, когда это применимо, которые являются потенциальными источниками неорганизованных выбросов, а также применение технологических мер сокращения неорганизованных выбросов, которые не удалось подавить с помощью герметизации и вентиляции. Для уменьшения выбросов пыли при переработке материалов их следует хранить в помещениях или закрытых складах, если это возможно, а также применять простую линейную технологическую схему. Закрытые загрузочные конвейерные пункты и бункеры для хранения навалом тонкоизмельченного концентрата могут способствовать дальнейшему выбросу тонкоизмельченных веществ материалов (наиболее серьезную озабоченность в данном случае вызывают неорганизованные выбросы угольной пыли) [1] [4] [9].

385. Данные мониторинга о выбросах ЧУ чрезвычайно скудны. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в предыдущих пунктах, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

386. Информацию об *установках по производству окатышей* (см. выше раздел G-3 а) главы VII).

387. Для очистки *доменного газа* от пыли эффективными НИМ считаются следующие технологии разделения сухим способом (например, дефлектор) и повторное использование грубодисперсных частиц. Далее осуществляется улавливание мелкодисперсных частиц с помощью скруббера или мокрого электростатического фильтра либо любой другой технологии, которая позволяет достигнуть такой же эффективности очистки. На литейных дворах (летки, бегунки, сепараторы, загрузочные штуцеры ковшов сигарообразной формы) уровень выбросов может быть сведен к минимуму путем накрытия бегунков и отвод выбросов из упомянутых источников, а также очисткой посредством фильтрации с помощью тканевых фильтров или электростатического улавливания пыли [1].

388. Данные мониторинга выбросов ЧУ крайне скудны. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в предыдущих пунктах, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

389. Для процессов выплавки стали в кислородных конвертерах и разливки стали, включая предварительную обработку горячего металла, вторичную металлургическую обработку и непрерывную разливку (включая процессы переноса горячего металла, десульфуризацию и удаление шлака) в качестве НИМ сокращения выбросов дисперсного вещества считается эффективный отвод и последующая очистка посредством фильтрации с помощью тканевых фильтров или ЭФ. При выплавке стали в кислородных конвертерах и непрерывной разливке для сокращения выбросов пыли применяются вихревые пылеуловители в целях вторичной очистки от пыли.

390. Для улавливания газа кислородного конвертера и первичного удаления пыли НИМ считается применение подавленного сжигания и сухого электростатического пылеосаждения (в новых и существующих установках) или скруббирование (в существующих установках). Вторичная очистка от пыли рассматривается в качестве НИМ эффективного удаления при заполнении и пробивании летки с последующей очисткой посредством тканевой фильтрации или ЭФ, или любой другой технологии с аналогичной эффективностью удаления. Эффективный отвод следует также применять при обработке горячего металла, удалении шлака из горячего металла и внепечной обработке стали с последующей очисткой посредством тканевой фильтрации или любой другой технологии с аналогичной эффективностью удаления [1].

391. Согласно документу [3] никаких выбросов ЧУ не образуется. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в предыдущих пунктах, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

392. Для электросталеплавильного производства и разливки в качестве НИМ рассматривается достижение эффективного улавливания пыли путем сочетания непосредственного отвода отработанного газа (4-е или 2-е отверстие) и системы отвода конвертерных газов или кессона и системы отвода конвертерных газов, или общей очистки здания 98% (первичные и вторичные выбросы). Удаление пыли из отработанного газа рассматривается в качестве НИМ при использовании тканевых фильтров надлежащей конструкции, обеспечивающих уровень выбросов пыли величиной 5 мг/Нм<sup>3</sup> для новых установок и 15 мг пыли/Нм<sup>3</sup> для существующих, причем оба значения выражаются в виде среднесуточных величин [1].

393. Согласно документу [3] никаких выбросов ЧУ не образуется. Однако данных по результатам мониторинга выбросов ЧУ немного. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в предыдущих пунктах, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

Таблица 32

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ в производстве чугуна и стали**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Агломерационные установки	<50 [1]	Существующие агломерационные установки, оснащенные новейшими ЭФ
	10–20 [1]	Применение тканевых фильтров
	(0,04–0,12) [4]	

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Установки по производству окатышей	10 [1] (0,04) [4]	Использование системы с эффективно- стью удаления >95%
Доменные печи: Нагревательные печи	<10 [1] (0,035–0,05) [4]	При концентрации кислорода 3% кг/т чугуна в чушках
Доменные печи: неорганизованны е выбросы (полностью уловленные)	(0,005–0,015) [1]	АООС США 1998 [8] приводит данные о следующих долях РМ <sub>1</sub> в пыли: Литейный цех (старый тип): 15%; Печь с местным эвакуированием: 9%; Десульфуризация расплавленного металла: 2%
Выплавка и разливка стали в кислородных конвертерах	5–15 [1] 20–30 [1] (0,035–0,07) [4]	Тканевые фильтры ЭФ АООС США 1998 [8] приводит данные о следующих долях РМ <sub>1</sub> в пыли: Загрузка (в источнике) 12%; Выпуск плавки (в ис- точнике) 11%
Выплавка и разливка стали в электродуговых печах	<5 <sup>b</sup> [1]; (0,06) <sup>c</sup> [4] <15 <sup>b</sup> [1]; (0,12) <sup>c</sup> [4]	Для новых установок Для существующих установок АООС США 1998 [8] приводит данные о следующих долях РМ <sub>1</sub> в пыли ЭДП: Плавка и рафинирование (углеродистая сталь, неконтролируемое): 23%

*Примечание:* Международная финансовая корпорация [9] рекомендует ограничить предельно допустимые выбросы пыли для всех процессов на сталелитейных заводах полного цикла 50 мг/Нм<sup>3</sup> и 20 мг/Нм<sup>3</sup>, если присутствуют токсичные металлы.

В БРЕФ для производства чугуна и стали подчеркивается, что только атмосферные выбросы ЭДП и данные по сточным водам доменного производства выражаются как среднесуточные значения, тогда как все остальные уровни выбросов при применении НИМ необходимо приводить к обычным эксплуатационным условиям (например, исключая периоды запуска и останова) при стандартной конструкции оборудования и усреднять за продолжительный период (консенсус в отношении этого определения пока еще не достигнут).

<sup>a</sup> Можно предположить, что достичь уровней выбросов при применении НИМ возможно в течение длительного периода в стандартных условиях и при типичной нагрузке.

В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Данное значение является среднесуточным.

<sup>c</sup> Рекомендуемый показатель эффективности.

#### d) ЛОС

394. Выбросы летучих органических соединений и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) могут происходить на различных этапах производства чугуна и стали. К ним относятся отработанные газы в процессах производства окатышей и агломерации вследствие содержания соединений углерода в твердом топливе для агломерации или производства окатышей, например при добавлении вторичной окалины [9].

395. Поскольку указанный сектор не считается крупным источником выбросов летучих органических соединений, дальнейшая информация об уровнях выбросов при применении НИМ не приводится.

*е) Воздействие на другие среды*

396. В отношении всех упомянутых выше технологий сокращения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

397. Так, удаление пыли с помощью ЭФ или ТФ приводит к увеличению выбросов твердых отходов, которые в отдельных случаях можно повторно использовать в технологическом процессе. Если на рукава ТФ предварительно нанести покрытие путем впрыска гашеной извести, можно также добиться значительного снижения выбросов некоторых кислотных компонентов (HCl, HF).

398. В сочетании с вводом буроугольного кокса или активированного угля ТФ также позволяют значительно снизить выбросы полихлорированного дифенилоксида/дифенилофурана (до величины менее 0,1–0,5 нг/м<sup>3</sup>). Сведение выбросов пыли к минимуму связано с минимизацией выбросов тяжелых металлов, исключая тяжелые металлы в газовой фазе, например ртуть [1] [2].

#### **4. Новые методы**

399. Технологии прямого восстановления и восстановительной выплавки находятся на стадии разработки (см. описание в разделе производственных технологий), которые в перспективе могут уменьшить необходимость в агломерационных установках и доменных печах.

400. Использование новых реагентов в процессе десульфуризации горячего металла может привести к уменьшению выбросов пыли и образованию другого (более полезного) состава получаемой пыли. Технология находится в процессе разработки. Уже разработано несколько технологий вспенивания при предварительной обработке чугуна в чушках и рафинировании стали, в ходе которых происходит поглощение пыли, образующейся при обработке расплавленного металла [4].

401. Интерметаллические рукавные фильтры электродуговых печей сочетают фильтрационные и каталитические функции и позволяют снизить выбросы пыли и сопутствующих загрязнителей [2].

402. Кроме того, внедряется некоторое количество печей нового типа, которые можно использовать в промышленном масштабе и которые имеют преимущества в отношении тяжелых металлов и выбросов пыли, например:

а) ЭДП Comelt (комплексный предварительный подогрев шахтного лома и полный сбор отходящих газов на всех технологических этапах);

б) ЭПД Contiarc (существенное сокращение объема отработанных газов и пыли, а газонепроницаемая обвязка печи улавливает все первичные и почти все вторичные выбросы).

## 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

Таблица 33

**Примеры капитальных затрат и эксплуатационных расходов на варианты ограничения выбросов NO<sub>x</sub> [6]**

Характеристики указанной установки	Варианты сокращения выбросов	Инвестиции <sup>a</sup> [евро]	Эксплуатационные расходы <sup>b</sup> [евро/год]	Уменьшенный массовый расход [Mg NO <sub>x</sub> /год]
Источник: предыдущий руководящий документ				
<i>Производство чугуна и стали: Агломерационная установка</i>				
Агломерационная машина с подвижной колосниковой решеткой; Топливо: коксовая мелочь; Производительность: 12 000 Мг агломерата/сутки; Время работы: 8 400 ч/год	Рециркуляция дымовых газов	5 000 000	–200 000 <sup>a</sup>	2 000
	СКВ	50 000 000	5 300 000	3 200

<sup>a</sup> Вследствие потребления коксовой мелочи.

## Справочные материалы, использованные в разделе G главы VII:

1. European Commission (2001). *Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
2. European Commission (2008). *Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel: Integrated Pollution Prevention and Control*. Draft intermediate document.
3. Kupiainen, K and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079.
4. Kraus, K and others (2006). *Assessment of technological developments: Best Available Techniques and limit values*. Task Force on Heavy Metals, United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
5. Lindfors, N and others (2005). *BAT examples from the Nordic iron and steel industry*. Nordic Council of Ministers. Available from: <http://www.norden.org/pub/miljo/miljo/uk/TN2006509.pdf>.
6. United Nations Economic Commission for Europe (1999). *Guidance documents on control techniques and economic instruments to the Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone*.
7. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Base Metal Smelting and Refining*.
8. United States Environment Protection Agency (1998). *Compilation of air pollutant emission factors*. 5<sup>th</sup> edition, EPA AP-42.
9. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills*.

10. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
11. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from: <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
12. United States Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*. EPA-450/R-12-001.

## Н. Обработка черных металлов, включая чугунолитейные цеха

### 1. Охват

403. В настоящем разделе, посвященном обработке черных металлов, описывается работа чугунолитейных заводов (информацию о непрерывном литье и разливке в слитки см. в главе «Производство чугуна и стали») производительностью более 20 т/сутки, а также установок горячей и холодной формовки, включая горячую и холодную прокатку, волочение проволоки, установок для непрерывного нанесения покрытия, включая горячее покрытие и покрытие проводов, а также установок периодического цинкования [1] [2].

### 2. Источники выбросов

#### а) Литейная отрасль

404. На литейных заводах осуществляется плавка черных металлов и сплавов (далее рассматриваются только черные металлы), а также переформовка в продукцию такой же или примерно такой же конечной формы посредством разливки и затвердевания расплавленного металла или сплава в литейной форме. В литейном производстве используются те же присадки и топливо, которые используются при обработке чугуна в чушках. В этой промышленности применяется широкий круг установок, работа большинства из которых включает в себя следующие технологические этапы: плавку и обработку металла, подготовку форм и литейных стержней, отливку расплавленного металла в форму, охлаждение для отверждения и извлечение из формы, обработку сырой отливки. Основные экологические проблемы, возникающие в данной индустрии, — это выбросы в атмосферу (пыль, кислотообразующие соединения, продукты неполного сгорания и летучие органические соединения) [2] [3].

#### б) Горячая и холодная прокатка

405. При *горячей прокатке* размеры, форма и механические свойства стали меняются в результате повторяющегося сжатия горячего металла (1 050–1 300 °C) между вальцами. Исходные материалы различаются по форме — слитки, слэбы, блюмы, заготовки, гнутые профили — в зависимости от продукции прокат, как правило, подразделяется на классы плоского и длинного проката. На станах горячей прокатки, как правило, производятся следующие технологические операции: обработка подаваемого материала (зачистка, шлифовка); нагрев до температуры прокатки; удаление окалины; прокатка и чистовая обработка. Основные экологические проблемы, возникающие при горячей прокатке, связаны с выбросами в атмосферу, особенно NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>, энергопотреблением и выбросами пыли.

406. При *холодной прокатке* свойства горячекатаных полос (толщина, механические и технологические характеристики) меняются в результате сжатия между

валками без предварительного нагрева. К технологическим этапам для низколегированной стали (углеродистой стали) относятся травление поверхности металла, прокатка для уменьшения толщины, отжиг или тепловая обработка для регенерации кристаллической структуры, дрессировка отожженной стальной полосы для придания необходимых механических свойств и чистовая обработка. Технологический процесс для высоколегированной стали (нержавеющая сталь) включает дополнительные этапы, которые состоят из отжига горячекатаной полосы и травления, холодной прокатки, окончательного отжига и травления (или светлый отжиг), дрессировки и чистовой обработки. К основным экологическим проблемам, возникающим при холодной прокатке, относятся кислотные отходы и сточные воды, атмосферные выбросы обезжиривающей кислотной пены или масляного тумана из установки для обезжиривания, выбросы пыли и  $\text{NO}_x$  (травление смесью кислот и сжигание в печи).

407. *Волочение проволоки* представляет собой процесс уменьшения размера прутков/проволоки путем протяжки через отверстия конической формы и малого сечения, называемые протяжными кольцами. На типовом заводе предусмотрены следующие технологические линии: предварительная обработка (удаление окалины и травление), сухое или мокрое волочение, тепловая и чистовая обработка. Основными экологическими проблемами при волочении проволоки являются выбросы в атмосферу при кислотной очистке поверхности металла, кислотные отходы и сточные воды, летучая мыльная пыль, отработанные смазочные материалы и газы сгорания [1].

c) *Непрерывное горячее нанесение покрытия*

408. В процессе горячего покрытия стальной лист или проволоку непрерывно пропускают через расплавленный металл. Происходит сплавление двух металлов, обеспечивающее надежное соединение покрытия и субстрата. Линии для непрерывного нанесения покрытия на листовую прокат предусматривают такие этапы, как очистку поверхности (химическая или термическая обработка), тепловую обработку, погружение в ванну расплавленного металла, а также окончательную обработку. Работа установок непрерывного цинкования проволоки состоит из таких этапов, как травление, офлюсование, цинкование и чистовая обработка. Основными экологическими проблемами являются кислотные выбросы в атмосферу, отходы и сточные воды, а также энергопотребление [1].

d) *Периодическое (поштучное) цинкование*

409. Горячее цинкование является методом защиты от коррозии, при котором на чугунные и стальные изделия наносится покрытие из цинка. В данном секторе преобладающим процессом является поштучное цинкование, в ходе которого происходит обработка разнообразных продуктов для различных заказчиков; поштучное цинкование, как правило, состоит из таких этапов, как обезжиривание, травление, офлюсование, цинкование и чистовая обработка. Основными экологическими проблемами являются выбросы в атмосферу ( $\text{HCl}$ , пыль), отработанные технологические растворы и маслосодержащие сточные воды, а также цинкосодержащие отходы [1].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

a)  $\text{SO}_2$

410. Для нагревательных печей станов *горячей прокатки* к НИМ относится тщательный выбор топлива и автоматизация управления работы печей с целью оптимизации условий сгорания. Технологические отработанные газы, как правило,



используются в нагревательных печах вместо ископаемого топлива. Обычно используется топливо с низким содержанием S [1].

Таблица 34

**Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ в черной металлургии**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup> или (кг/т)</i>	<i>Примечания</i>
Литейное производство: плавка черных металлов [2]	20–100	Вагранка на горячем дутье
	100–400	Вагранка на холодном дутье
	70–130	Вращающаяся дуговая печь
Отливка и разливка с использованием бракованных отливок (регенерационные установки) [2]	120	
Горячая прокатка: нагревательные и обжиговые печи [1]	100	Для природного газа
	400	Для всех остальных газов или смесей газов
	1 700 <sup>b</sup>	Для нефтяного топлива <1%S
Холодная прокатка: травление H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8–20	Регенерация свободной кислоты путем кристаллизации; устройства мокрой очистки воздуха регенерационной установки
Холодная прокатка: травление HCl [1]	50–100	Регенерация кислоты путем распылительного обжига или в кипящем слое (или эквивалентным методом)

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> В документе БРЕФ ЕС приводятся различные мнения по вопросу о том, является НИМ использование нефтяного топлива с содержанием серы <1% или при этом необходимы дополнительные меры по сокращению выбросов SO<sub>2</sub>.

b) NO<sub>x</sub>

411. Для нагревательных и отжиговых печей станов *горячей прокатки* в качестве НИМ<sup>b</sup> рассматриваются горелки второго поколения с низким уровнем выбросов NO<sub>x</sub>.

412. Для травления металла на станах *холодной прокатки* в качестве НИМ используется либо регенерация свободной кислоты (путем непрерывной регенерации или ионного обмена или электродиализа), либо регенерация кислоты распылительным обжигом или выпариванием. Как правило, при травлении металла на станах холодной прокатки следует применять закрытое оборудование/колпаки и скруббирование, а для высоколегированных сталей кроме того следует применять либо очистку H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, мочевиной в скрубберах и т.д., либо осаждение NO<sub>x</sub> пу-

<sup>b</sup> В БРЕФ 2001 года содержатся различные мнения по вопросу о том, можно ли считать СКВ и СНКВ НИМ для нагревательных и термических печей станов горячей прокатки.

тем добавления  $\text{H}_2\text{O}_2$  или мочевины в травильную ванну или путем использования СКВ. Альтернативным вариантом является травление без азотной кислоты, а также закрытого оборудования или оборудования, снабженного колпаками или очистным оборудованием. Для отжиговых печей станов холодной прокатки НИМ является использование горелок с малым выбросом  $\text{NO}_x$  в печах длительного горения, сжигание предварительно подогретого воздуха горения путем использования регенеративных или рекуперативных горелок или предварительного нагрева сырья отработанным газом.

413. Для *непрерывного горячего нанесения покрытия* в качестве НИМ рассматривается использование горелок с малым выбросом  $\text{NO}_x$  и регенеративных или рекуперативных горелок для отжиговых печей и оцинкования изделий с отжигом. Для отжиговых печей тепловой обработки дополнительными НИМ являются предварительный нагрев полосы и производство пара для повторного использования тепла отработанного газа, если есть необходимость в применении пара [1].

Таблица 35

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ в черной металлургии**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Литейная отрасль: плавка черных металлов [2]	10–200 20–70 160–400 10–50 50–250	Вагранка с горячим дутьем Вагранка с холодным дутьем Безкоксвая вагранка Электродуговая печь Вращающаяся дуговая печь
Отливка и разливка с использованием бракованных отливок (регенерационные установки) [2]	150	
Горячая прокатка: нагревательные и обжиговые печи [1]	390 1 100 250–400	Топливо: доменный газ; горелки с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ Топливо: коксовый газ, тяжелое нефтяное топливо; горелки с низким выбросом $\text{NO}_x$ Топливо: природный газ, газойль; горелки с низким уровнем выбросов $\text{NO}_x$ 3% $\text{O}_2$ для газа, 6% $\text{O}_2$ для жидкого топлива
Горячая прокатка: нагревательные и обжиговые печи с использованием СКВ <sup>b</sup> и СНКВ <sup>b</sup> [1]	320 205	СКВ <sup>b</sup> СНКВ <sup>b</sup> , проскок аммиака 5 мг/Нм <sup>3</sup> 3% $\text{O}_2$ для газа, 6% $\text{O}_2$ для жидкого топлива
Холодная прокатка: травление $\text{HCl}$ [1]	300–370	
Холодная прокатка: травление смесью кислот [1]	200–650 200	Регенерация кислот путем распыли- тельного обжига

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
	100	Регенерация кислот выпариванием
Холодная прокатка: обжиговые печи [1]	250–400	Без предварительного подогрева воздуха, 3% O <sub>2</sub> , степень сокращения 60% для NO <sub>x</sub>
Горячее нанесение покрытия: сушильные печи и цинкование с отжигом [1]	250–400	Без предварительного подогрева воздуха, 3% O <sub>2</sub>

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> В документе БРЕФ ЕС приводятся различные мнения по вопросу о том, следует ли считать НИМ СКВ и СНКВ (в Европе действуют одна СКВ и одна СНКВ).

<sup>c</sup> Эти уровни выбросов приводятся по одной существующей установке СКВ (печь с шагающим подом) и одной существующей установке СНКВ (печь с шагающим подом).

с) Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)

414. Для литейных заводов основной проблемой сокращения выбросов является не только очистка отходящих и отработанных газов, но и их улавливание. НИМ состоит в сведении к минимуму неорганизованных выбросов из различных открытых источников в технологической цепочке, например из печей при открытии или пробивании летки – путем оптимизации захвата и очистки, и очистке отработанных печных газов с последующим сбором, охлаждением и удалением пыли. При плавлении литейного чугуна в вагранке НИМ сокращения выбросов пыли является повышение теплового КПД и использование тканевых фильтров или мокрых скрубберов.

415. Для индукционных печей НИМ, помимо всего прочего, является использование вытяжного колпака, сливного носка или крышки для каждой индукционной печи для улавливания отработанных печных газов и выполнение сухой очистки дымового газа [2].

416. Для технологий чистовой обработки, например абразивной обрезки, дробеструйной зачистки и зачистки НИМ, считаются сбор и очистка отработанного газа методами мокрой или сухой очистки. Для тепловой обработки НИМ считаются сжигание чистого топлива (т.е. природного газа или топлива с низким содержанием серы), автоматизированная работа печи и управление горелкой/нагревателем, а также улавливание и отвод отработанного газа из сушильных печей.

417. Для горячей прокатки в качестве НИМ рассматриваются использование кожухов для машинной огневой зачистки и уменьшение выбросов пыли путем использования тканевых фильтров или электрофильтров в тех случаях, когда эксплуатация тканевых фильтров невозможна из-за влажного дыма. Для механической зачистки в станах горячей прокатки НИМ считаются использование вытяжных колпаков при машинной зачистке и специальных кабин, оснащенных колпаками для сбора отходов при ручной очистке, а также уменьшение выбросов пыли с помощью тканевых фильтров. На этапе чистовой обработки в качестве НИМ рассматриваются вытяжные системы с отводом воздуха через тканевые фильтры и повторным использованием уловленной пыли. Для шлифования и сварки в ка-

честве НИМ считаются использование пылеулавливающих колпаков и последующее сокращение выбросов пыли с помощью тканевых фильтров. На этапе чистовой обработки НИМ считаются вытяжные системы с очисткой улавливаемого воздуха с помощью тканевых фильтров и рециркуляцией собранной пыли. Для правки и сварки НИМ считаются применение вытяжных колпаков и последующее сокращение пыли с помощью тканевых фильтров.

418. Для *холодной прокатки* в операциях правки и сварки к НИМ причисляют использование вытяжных колпаков с снижением запыленности путем применения тканевых фильтров.

419. Для *нанесения покрытия на провода* в качестве НИМ считается рациональная организация нанесения покрытия путем погружения в расплав<sup>c</sup> [1].

420. Согласно документам [7] [8] чугуно- и сталелитейные заводы не считаются крупными источниками выбросов ЧУ. Данные мониторинга крайне скудны. В документе [3] не предлагается какой-либо коэффициент выбросов. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в предыдущих пунктах, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

Таблица 36

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ в черной металлургии**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup> или (кг/т)</i>	<i>Примечания</i>
Чугунолитейная отрасль [2]	5–20	среднесуточные, стандартные условия
Чугунолитейные заводы: индукционные печи [2]	(0,2)	
Горячая прокатка: машинная огневая зачистка [1]	5/20 <sup>b</sup> 10/20–50 <sup>b</sup>	тканевые фильтры ЭФ, когда применение ТФ невозможно из-за влажного дыма
Горячая прокатка: зачистка [1]	5/20 <sup>b</sup>	
Горячая прокатка: чистовая обработка, правка и сварка [1]	5/20 <sup>b</sup>	
Холодная прокатка: разматывание [1]	5/20 <sup>b</sup>	
Холодная прокатка: травление HCl [1]	20–50	
Холодная прокатка: правка и сварка [1]	5/20 <sup>b</sup>	
Нанесение покрытия на провода: погружение в расплав [1]	10	
Ванны для цинкования [4]	15	

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным, стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок,

<sup>c</sup> Cf. EIPPCB BREF 2001, Chapter B.4.

пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Значение по документу БРЕФ ЕС.

d) ЛОС

421. На литейных заводах используют различные присадки для связывания песка при изготовлении форм и литейных стержней; к ним относятся органические и неорганические соединения (растворители, бензол, толуол, этилбензол и ксилол, фенол, формальдегид и т.д.): образование продуктов распада продолжается и далее при охлаждении отливки и ее извлечении из формы. Поскольку в процессе задействованы различные источники выбросов (горячие отливки, песок, расплавленный металл), ключевой проблемой является не только очистка отработанного газа, но и его улавливание [5].

422. Выбросы углеводородов и масляного тумана могут возникать на станах холодной прокатки, поэтому для их сокращения можно использовать такие современные системы улавливания выбросов и предотвращения запотевания, как тканевые фильтры с предварительно нанесенным покрытием [6].

Таблица 37

**Выбросы ЛОС при применении НИМ в обработке черных металлов**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Литейные заводы: плавка черных металлов	10–20	Вагранка с холодным дутьем

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ приведены к среднесуточным стандартным условиям и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

e) Воздействия на другие среды

423. Для всех упомянутых выше технологий сокращения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации загрязнения могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

4. Новые методы

424. При горячей и холодной прокатке беспламенные горелки или диффузия пламени максимально увеличивают рециркуляцию дымовых газов и обеспечивают стабильное достижение уровня выбросов NO<sub>x</sub> величиной 100 мг/м<sup>3</sup>, хотя эта технология до сих пор не нашла широкого промышленного применения. Сокращение выбросов NO<sub>x</sub> также достигается с помощью горелок с крайне низкими выбросами NO<sub>x</sub> (полное смешивание топлива и воздуха горения в печи, а следовательно, стабилизация пламени в топке) и впрыска воды (понижение температуры и тем самым подавление образования термических NO<sub>x</sub>) [1].

## 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

Таблица 38

**Информация о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов NO<sub>x</sub> для печей мощностью 50 МВт [1]**

Технология	Стандартный диапазон сокращения выбросов NO <sub>x</sub>	Капитальные затраты (фунты стерлингов '000)	Эксплуатационные расходы (фунты стерлингов/ГДж)	Общая себестоимость технологии (фунтов стерлингов '000/год на печь 50 МВт)		
				2 000 часов/год	4 000 часов/год	8 000 часов/год
Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	до 97%	328	0,0	53,7	53,7	53,7
Ограниченный подогрев воздуха		ДН	0,0257 для 50% сокращения NO <sub>x</sub>	92,5	185	370
Рециркуляция дымовых газов	до 93% (44,74 15% РДГ)	75,6 (631)*	0,098 (0,072)*	47,6 (129)*	82,9 (154)*	153 (206)*
СКВ	до 95% (Обычно 70–90)	1 100–2 530	0,0722	205–438	231–464	283–516
СНКВ (с NH <sub>3</sub> )	до 85% (Обычно 50–60)	350–650	0,0361	69,9–119	82,9–132	109–158

Примечания:

Затраты приводятся в фунтах стерлингов 1996 года.

ДН – Данных нет; для расчетов цифры принимаются небольшими по сравнению с эксплуатационными расходами.

\* Цифры в скобках относятся к тем случаям, когда потребовалось бы увеличить мощность горелок и регенерационных установок.

NB1 – Все эксплуатационные расходы на рециркуляцию дымовых газов основаны на 15% РДГ.

Расчетные потери, связанные с потреблением топлива = 3,2%.

Увеличение эксплуатационных расходов на вентиляторы (основываясь на регенеративных горелках) = 1,6% расходов на топливо (0,32% если бы была увеличена мощность горелок и регенеративных установок).

NB2 – Все затраты на впрыск воды основываются на показателе 15 кг (вода)/ГДж (топливо):

Расчетные потери, связанные со стоимостью топлива = 11,8%.

Расходы на водоснабжение не включены.

## Справочные материалы, использованные в разделе II главы VII:

1. European Commission (2001). *Reference Document on Best Available Techniques in the Ferrous Metals Processing Industry: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
2. European Commission (2005). *Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
3. Kupiainen, K. and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*.

International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079.

4. Department for Food and Rural Affairs (2006). *Sector Guidance Note IPPC SG5– Integrated Pollution Prevention and Control. Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Galvanising Sector*. Available from <http://www.defra.gov.uk>.
5. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Foundries*.
6. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills*.
7. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
8. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from: <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).

## I. Производство цветных металлов<sup>d</sup>

### 1. Алюминий

#### a) Охват

425. Алюминиевая промышленность является самой крупной отраслью производства цветных металлов. В данной главе рассмотрено производство первичного и вторичного алюминия.

#### b) Источники выбросов

426. Производство алюминия подразделяется на два типа: первичное и вторичное производство.

427. При первичном производстве сырьем для производства алюминия служит глинозем. Глинозем получают из бокситов, которые добывают на рудниках. Для извлечения оксида алюминия из бокситов используется каустическая сода в ходе стандартного процесса при высокой температуре и давлении. Затем электролитическим методом из оксида алюминия получают алюминий. В ходе указанного процесса происходит улавливание отработанных газов и их очистка в сухих скрубберах с использованием глинозема и в системах очистки от пыли, например ЭФ или рукавных фильтрах. Использование иных систем уменьшения выбросов пыли можно рассматривать отдельно для каждого конкретного случая.

428. Затем полученный алюминий очищают от примесей путем подачи газа в расплавленный металл. Выбор газа зависит от вида примесей. В ходе этих процессов образуются выбросы пыли, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> [1].

429. При *вторичном производстве* алюминий получают из лома. Алюминиевый лом может подвергаться предварительной обработке (высушивание металлической стружки или термическое удаление пленки) перед тем, как из него будет получен алюминий.

<sup>d</sup> Информация, включенная в эту подглаву, основывается на БРЕФ по цветным металлам, который в настоящее время пересматривается в Институте перспективных технологических исследований (ИПТИ) в Севилье.

430. Для плавления сырья могут использоваться различные печи, в основном вращающиеся или отражательные. Наиболее часто в качестве топлива используется малосернистый природный газ. Затем осуществляется очистка полученного алюминия в поворотном миксере, как и при первичном производстве алюминия. Перечисленные процессы являются источниками выбросов пыли, SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub> [1].

c) *Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)*

431. Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа, измеренной концентрации кислорода и сухого газа и без смешивания газов с воздухом.

i) SO<sub>2</sub>

432. При первичном производстве алюминия выбросы SO<sub>2</sub> определяются содержанием серы в анодах, используемых при электролитическом восстановлении. При вторичном производстве и при изготовлении угольных анодов для первичного производства с предварительной термообработкой возможным источником выбросов SO<sub>2</sub> может стать сера, содержащаяся в используемом топливе. Как правило, выбросы SO<sub>2</sub> не вызывают серьезных проблем в процессе производства алюминия, хотя их необходимо учитывать в каждом отдельном случае в зависимости от местных и экологических условий.

433. При первичном производстве алюминия НИМ сокращением выбросов SO<sub>2</sub> считается ограничение содержания серы в топливе и анодах с учетом их рыночной доступности. При вторичном производстве алюминия в качестве НИМ сокращения выбросов SO<sub>2</sub>, образующихся в процессе выдержки и дегазации расплавленного металла и предварительной обработки материала, а также в ходе процессов плавки и разлива, считаются мокрые или полусухие щелочные скрубберы.

434. Возможность применения систем сокращения выбросов SO<sub>2</sub> следует определять в каждом конкретном случае с учетом технических характеристик завода, его географического расположения и местных условий, обращая особое внимание на возможное воздействие на другие среды.

Таблица 39

**Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности<sup>e</sup> [1] [9]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Выдержка и дегазация расплавленного металла при производстве первичного и вторичного алюминия	Мокрые или полусухие щелочные скрубберы (при необходимости)	<50–200
Предварительная обработка материала, плавка и разлива при производстве вторичного алюминия		<50–100
Дробление, смешивание и обжиг (если к смеси добавляется сера или топливо содержит высокую процентную долю серы) [1]		<50–200

<sup>e</sup> В настоящее время информация, включенная в таблицу 39, обсуждается в связи с пересмотром БРЕФ по цветным металлам.



ii)  $\text{NO}_x$ 

435. При производстве алюминия выбросы  $\text{NO}_x$  образуются в ходе процессов сгорания, применяющихся для плавления сырья. Выбросы определяются различными параметрами: видом топлива, типом сжигания, коэффициентом избытка воздуха и температурой пламени. К мерам, которые считаются НИМ сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  при производстве алюминия, относятся кислороднотопливные горелки и горелки с низким уровнем выбросов выбросом  $\text{NO}_x$  [1].

436. В приводящейся ниже таблице содержится общий обзор достижимых уровней выбросов  $\text{NO}_x$  при производстве алюминия.

Таблица 40

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Печи для производства первичного и вторичного алюминия и сушка стружки	Горелка с низкими выбросами $\text{NO}_x$	<100
	Кислороднотопливная горелка	<100–300

iii) Пыль (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и ЧУ)

437. При первичном производстве алюминия выбросы пыли образуются в основном в процессе получения глинозема, электролиза, выплавки и литья. Согласно документам [11] [12] данные процессы не относятся к крупным источникам выбросов ЧУ. Данные о выбросах ЧУ крайне скудны. Согласно документу [13] при первичном производстве алюминия выбросов ЧУ не образуются, а при вторичном производстве выбросы ЧУ составляют 1,2 г/т.

438. Дымовые газы при производстве оксида алюминия необходимо улавливать, а для удаления кальцинированного глинозема и пыли можно использовать тканевые фильтры или ЭФ. Газы, собранные при других процессах, необходимо очищать от пыли. При этом может использоваться тканевый фильтр. В зависимости от местных условий можно также применять мокрый скруббер [6].

439. При вторичном производстве алюминия источниками выбросов пыли являются предварительная обработка, вторичная плавка и выдержка. При вторичном плавильном процессе для удаления пыли из уловленных газов могут использоваться керамические или тканевые фильтры. Что касается других процессов, то требуется собирать дымовые газы, которые при необходимости можно фильтровать с помощью тканевых фильтров [1]. При возможности собранную с фильтров пыль следует использовать вторично.

440. Источниками неорганизованных выбросов пыли являются получение, транспортировка и хранение. Эти выбросы необходимо сводить к минимуму путем надлежащего обращения с сырьем и защиты его от ветра. В таблице ниже приводятся общие сведения о достижимых уровнях выбросов пыли при производстве алюминия [3]. Предпочтительной технологией сокращения выбросов пыли является использование тканевого или керамического фильтра. Если в пыли присутствует ЧУ, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в таблице 41, если такие меры эффективны для тонкодисперсных частиц.

Таблица 41

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в алюминиевой промышленности [1] [4]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Электролиз, предварительная обработка	Тканевый фильтр	Пыль: 1–5
Первичное и вторичное литье	Керамический или тканевый фильтр	

**2. Медь***a) Охват*

441. Медь широко используется из-за ее высокой тепло- и электропроводимости, ее относительной стойкости к коррозии, а также легкости повторного использования. Данная категория охватывает производство первичной и вторичной меди.

*b) Источники выбросов*

442. Производство меди подразделяется на два типа: первичное и вторичное производство.

*i) Первичное производство*

443. Концентраты, используемые для производства первичной меди, в основном состоят из сульфидов и кроме меди содержат другие металлы. Поэтому для разделения различных веществ и их максимального извлечения используются различные методы. В зависимости от состава концентратов (сульфиды) в ходе этих процессов образуются значительные уровни выбросов SO<sub>2</sub>. Для производства первичной меди используются два метода: пирометаллургические и гидрометаллургические процессы.

444. *Пирометаллургический метод* состоит из несколько этапов: обжиг, выплавку, конвертирование, огневое аффинирование и электролитическое рафинирование.

445. Обжиг является основным источником выбросов SO<sub>2</sub>. В ходе обжига сульфиды нагревают для образования серы. После этого требуется десульфуризация дымовых газов; как правило, их направляют на внутрипроизводственные серно-кислотные установки для производства серной кислоты или жидкого SO<sub>2</sub>.

446. Этап выплавки позволяет отделить сульфиды меди от других веществ, содержащихся в руде. Этапы обжига и выплавки осуществляются в особой печи при высокой температуре, обеспечивающей разделение штейна, содержащего в основном сульфиды меди, и шлака, содержащего преимущественно сульфиды железа [1].

447. Этап конвертирования заключается в продувке полученного ранее расплава штейна воздухом и кислородом. Процесс конвертирования может проводиться периодически, что применяется чаще всего, или непрерывно. В ходе этих процессов также образуются значительные выбросы.

448. Далее необходимо выполнить рафинирование меди; сначала применяется огневое рафинирование. В процессе огневого рафинирования расплавленный металл подвергают продувке воздухом для окисления примесей и удаления послед-

них остатков серы. При этом можно добавить небольшое количество восстановителя, но это увеличивает выбросы  $\text{NO}_x$ .

449. Процесс электролитического рафинирования проводят в электролизной ванне, в которую подвешивают литой медный анод и матрицу из катодной меди. Система помещается в электролит, содержащий сульфат меди и серную кислоту.

450. Гидрометаллургический процесс в основном применяется к оксидным рудам, оксидно-сульфидным рудам или сложным рудам. Сначала выполняется дробление руды, а затем ее подвергают выщелачиванию серной кислотой. Раствор, полученный в процессе выщелачивания, затем осветляется, очищается и концентрируется с помощью экстрагирования растворителем. И наконец, медь извлекается путем электролиза. Единственным отличием от электролитического рафинирования является форма анода [1].

## ii) Вторичное производство

451. Вторичную медь получают в ходе пирометаллургического процесса. Этапы данного процесса зависят от содержания меди во вторичном сырьевом материале. Он может содержать и другие органические материалы, например покрытия. Поэтому вторичная выплавка и вторичное рафинирование проектируются в зависимости от подаваемого материала [1].

## c) Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

452. Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа, измеренной концентрации кислорода и сухого газа и без смешивания газов с воздухом.

## i) $\text{SO}_2$

453. При производстве меди наибольшую проблему представляют выбросы  $\text{SO}_2$ . Серу в основном получают из руд, используемых при производстве меди. Таким образом, выбросы  $\text{SO}_2$  являются большей проблемой при первичном, а не при вторичном производстве. Обжиг, выплавка и конвертирование являются основными источниками выбросов диоксида серы.  $\text{SO}_2$  получают из сульфидов меди, используемых в производстве меди. Процессы обжига и выплавки проводятся в той же печи. Для лучшего сбора газов печь необходимо герметизировать. Для обеспечения высокой концентрации диоксида серы применяется обогащение кислородом. Тем самым сокращаются объемы дымовых газов. Для конвертирования этих газов применяются серноокислотные установки.

454. Процесс конвертирования также является источником выбросов  $\text{SO}_2$ , однако сбор газа не является полностью эффективным при использовании периодических процессов из-за колебаний концентрации диоксида серы. Таким образом, системы очистки от  $\text{SO}_2$  необходимо проектировать соответствующим образом [1].

455. Выбросы диоксида серы, образующиеся при обжиге, плавлении и конвертировании, удаляются из дымовых газов с помощью серноокислотной установки. Приводящаяся ниже таблица содержит общий обзор достижимых уровней выбросов  $\text{SO}_2$  при производстве меди.

Таблица 42

**Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в медеплавильной промышленности [1] [10]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Насыщенный SO <sub>2</sub> отходящий газ (>5%) Первичный обжиг, плавление и конвертирование	Двухконтактная сернокислотная установка	99,7–99,92% (коэффициент нейтрализации)
Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное огневое рафинирование, электроочистка шлака и плавление	Щелочной полусухой скруббер и тканевый фильтр Мокрый щелочной или двойной щелочной скрубберы с применением извести, гидроксида магния или гидроксида натрия Сочетания сульфата или оксида/сульфата алюминия с известью для регенерации реагента и образование гипса	<50–200
Процессы вторичного сбора дыма и сушки	Тканевый фильтр с впрыском сухой извести в охлажденный газ	<500
	Мокрый щелочной скруббер для сбора SO <sub>2</sub> из горячих газов (из осушенных газов после удаления пыли)	<50–200

ii) NO<sub>x</sub>

456. При производстве меди источниками выбросов NO<sub>x</sub> являются использование кислорода и высокотемпературные процессы. При первичном производстве оксиды азота почти целиком поглощаются полученной серной кислотой. Поэтому выбросы NO<sub>x</sub> не вызывают особой озабоченности. НИМ сокращения таких выбросов заключается в применении кислородотопливных горелок и горелок с малым выбросом NO<sub>x</sub> [1].

457. В таблице ниже приводится общий обзор достижимых уровней выбросов NO<sub>x</sub> при производстве меди [1].

Таблица 43

**Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ в медеплавильной промышленности**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Первичное и вторичное производство меди	Горелка с малым выбросом NO <sub>x</sub>	< 100
	Кислородотопливная горелка	< 100–300

iii) Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  и ЧУ)

458. При производстве меди основными источниками выбросов пыли являются выплавка, конвертирование и рафинирование. Для сокращения выбросов пыли и содержащихся в ней летучих металлов в ходе этих технологических процессов с помощью ЭФ и тканевых фильтров осуществляется сбор, охлаждение и фильтрация дымовых газов [1] [2].

459. Согласно документам [11] [12] этот источник не считается крупным источником выбросов ЧУ. Данных о выбросах ЧУ немного. Согласно документу [13] выбросы ЧУ при производстве других цветных металлов не образуются.

460. Приводимая ниже таблица содержит общий обзор достижимых уровней выбросов пыли при производстве меди. Предпочтительной технологией сокращения выбросов пыли является использование тканевого или керамического фильтра. Электрофильтры следует применять для очистки газов с повышенной влажностью, для горячих газов или при слишком липкой пыли. Скрубберы следует применять в том случае, если температура или природа газов не позволяют использовать другие технологии или если газы или кислоты необходимо удалять одновременно с пылью.

461. Если ЧУ присутствует в пыли, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в таблице 44, если такие меры эффективны для частиц соответствующего размера.

Таблица 44

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в медеплавильной промышленности [1] [3]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $mg/Hm^3$ )
Процессы выплавки, конвертирования и рафинирования	Тканевые фильтры ЭФ Скрубберы	Пыль: 1–5

## 3. Свинец и цинк

## a) Охват

462. Эта категория охватывает как первичное, так и вторичное производство свинца и цинка. Указанные металлы нередко встречаются совместно в рудах и концентратах. Поскольку рассматриваемая отрасль также относится к обработке цветных металлов, выбросы  $SO_2$  и пыли вызывают более серьезную озабоченность. В этой категории также подробно рассмотрены выбросы  $NO_x$ .

## b) Источники выбросов

463. Как и при производстве меди или алюминия получение свинца и цинка может осуществляться в ходе первичных или вторичных процессов.

464. Существуют два *первичных процесса производства свинца*: процесс агломерации/плавки и процесс прямой плавки. Применение процесса первичного производства цинка как метода производства сокращается [6] [7].

465. Процесс *агломерации/плавки* предусматривает агломерацию концентратов свинца и цинка, повторно используемых мелких фракций агломерата, вторичного сырья и других технологических материалов.

466. Продукт, полученный при агломерации, затем дробят, подвергают измельчению и загружают в стандартную плавильную печь, где происходит процесс плавки. В печи происходит прямое извлечение свинца в виде побочного продукта и его последующее рафинирование. Извлекается также смесь цинка и свинца. Перед рафинированием цинк необходимо отделить от свинца [1].

467. Отделение цинка от свинца проводится в цинковом конденсаторе с разбрызгиванием, где поток расплавленного свинца позволяет осуществить абсорбцию свинца. Затем полученный сплав охлаждается, а свинец, собравшийся на поверхности цинка, извлекается. После этого он подвергается рафинированию.

468. В процессе *прямой выплавки* свинцовый концентрат и другие материалы загружают непосредственно в печь, расплавляют и окисляют перед последующим рафинированием.

469. *Вторичный свинец* производят из повторно используемого свинцового лома и отходов. Основным источником свинца являются аккумуляторы.

470. Аккумуляторы дробятся и разделяются на части перед загрузкой в печь. Процесс извлечения свинца из автомобильных аккумуляторов начинается со слива из них кислоты перед последующей переработкой [9]. Свинец, содержащийся в других материалах, можно извлекать с помощью простых процессов выплавки [1].

471. Существуют 2 процесса рафинирования свинца: *электролитическое и пирометаллургическое*.

472. Электролитическое рафинирование является весьма дорогим процессом, а поэтому его применяют в тех местах, где имеются источники дешевой электроэнергии (например, гидроэлектроэнергия).

473. При пирометаллургическом рафинировании осуществляется нагрев свинцовых элементов для удаления примесей. Сначала происходит извлечение меди путем механического сбора, затем мышьяк, сурьма и олово удаляются в результате окисления, происходящего в процессе механического сбора [1].

474. Первичный цинк, полученный при первичном производстве свинца, очищают в ходе *процесса дистилляции*. Это позволяет на первом этапе отделить цинк и кадмий от свинца, а на втором этапе отделить свинец от кадмия. И, наконец, для удаления мышьяка и сурьмы цинк обрабатывают натрием.

475. В Европе первичный цинк лишь в минимальной степени получают в ходе производства первичного свинца (~5%); его производят путем *гидрометаллургического процесса*. Указанный процесс используется преимущественно для обработки сульфидов цинка, но может также для обработки оксидов, карбонатов или силикатов. Он состоит из обжига материалов в обжиговых печах с кипящим слоем, в ходе которого получают диоксид серы и известь (оксид цинка). Затем кальцинированную окись цинка охлаждают и выщелачивают серной кислотой. Данный процесс аналогичен гидрометаллургическому процессу производства меди. Полученный электролит для цинкования очищают и направляют в электролизные ванны. Здесь происходит извлечение цинка электролитическим методом [6].

476. Вторичное производство цинка при обработке металлического лома заключается в физическом отделении, плавлении и другой высокотемпературной обработке [1]. Оцинкованные продукты с истекшим сроком эксплуатации повторно используют для извлечения стали, а оксиды цинка преобразуются в возгоны (пыль электродуговой печи (ЭПД)), которые впоследствии обрабатывают пирометаллургически (вельц-печи или другие типы печей) для извлечения фракций с большим содержанием оксида цинка [6].

#### 4. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

477. Если не указано иное, приведенные в данном разделе уровни выбросов являются среднесуточными значениями, определенными в стандартных условиях постоянного мониторинга при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа, измеренном содержании кислорода и сухого газа, без смешивания газов с воздухом.

##### a) $SO_2$

478. В процессе производства свинца и цинка сера, содержащаяся в материалах, окисляется с выделением диоксида серы. Поэтому требуется десульфуризация дымовых газов. Для преобразования этих газов можно использовать сернокислотные установки в случаях, когда соединения серы не подвергаются предварительной обработке. В зависимости от содержания  $SO_2$  в дымовых газах в качестве НИМ сокращения уровня выбросов рассматривается использование одно- или двухконтактных сернокислотных установок. Выбросы, образующиеся при рафинировании, предварительной обработке материалов и вторичной выплавке сокращаются с помощью очистителя  $SO_2$ . В качестве НИМ рассматриваются мокрый щелочной скруббер или полусухой щелочной скруббер, а также тканевый фильтр [1].

479. Для сокращения выбросов  $SO_2$  и соблюдения предельных нормативов, установленных для сернокислотных установок, сырье, загружаемое в печи вторичного производства свинца, перед выплавкой можно подвергать десульфуризации [6]. В таблице ниже приводится общий обзор достижимых уровней выбросов  $SO_2$  при производстве цинка и свинца.

Таблица 45

**Уровни выбросов  $SO_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности [1] [10]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Отходящие газы с низким содержанием $SO_2$ (<5%)	Одноконтактная сернокислотная установка или сернокислотная установка с мокрой очисткой газов	>99,1% (коэффициент преобразования)
Первичный обжиг, плавление и агломерация		
Отходящие газы, насыщенные $SO_2$ (>5%)	Двухконтактная сернокислотная установка	99,7–99,92% (коэффициент преобразования)
Первичный обжиг, плавление и спекание		
Предварительная обработка, вторичная выплавка, огневое рафинирование, процессы вторичной плавки цинка и плавка шлака на возгон [8]	Мокрые щелочные скрубберы Щелочной полусухой скруббер и тканевый фильтр.	<50–200

##### b) $NO_x$

480. При производстве цинка и свинца основными источниками выбросов  $NO_x$  являются процессы обжига и выплавки. Оксиды азота почти полностью абсорбируются серной кислотой, полученной при первичном обжиге, выплавке и конвертировании в ходе очистки дымовых газов. Таким образом, выбросы  $NO_x$  не вызывают особой озабоченности. К НИМ сокращения выбросов  $NO_x$  в ходе других

технологических процессов относится использование кислородотопливных горелок и горелок с низким выбросом  $\text{NO}_x$  [1]. В таблице ниже приводится общий обзор достижимых уровней выбросов  $\text{NO}_x$  при производстве цинка и свинца.

Таблица 46

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ для сокращения выбросов в свинцовой и цинковой промышленности [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Производство свинца и цинка	Горелка с низкими выбросами $\text{NO}_x$ Кислородотопливная горелка	<100 <100–300

с) *Пыль (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  и ЧУ)*

481. Процессы обжига и выплавки являются основными источниками выбросов пыли в свинцовой и цинковой промышленности. Для сокращения выбросов пыли следует улавливать и очищать газы. В ходе этих технологических процессов для борьбы с выбросами пыли и содержащимися в ней летучими металлами, дымовые газы подвергаются сбору охлаждению и фильтрация с помощью ЭФ и тканевых фильтров [1]. Предпочтительной технологией сокращения выбросов пыли является использование тканевых или керамических фильтров. Электрофильтры следует использовать для очистки газов с повышенной влажностью, горячих газов или очистки от слишком липкой пыли. Скрубберы следует применять в том случае, если температура или природа газов не позволяют использовать другие технологии, или если газы или кислоты необходимо удалять одновременно с пылью.

482. В приводящейся ниже таблице содержатся уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения ее выбросов. Согласно документам [11] [12] этот источник не относится к крупным источникам выбросов ЧУ. Данных о выбросах ЧУ немного. Согласно документу [13] выбросы ЧУ в производстве других цветных металлов не образуются.

483. Если в пыли присутствует ЧУ, он может быть удален, по крайней мере частично, путем использования тех же НИМ, какие были описаны в отношении пыли в таблице 47, поскольку они также эффективны в случае мелкодисперсных частиц.

Таблица 47

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения ее выбросов в свинцовой и цинковой промышленности [1] [5]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Обжиг и плавление	Тканевые фильтры ЭФ	Пыль: 1–5

## Справочные материалы, использованные в разделе I главы VII:

1. European Commission (2001). *Reference document on Best Available Techniques in the non-ferrous metal industries: Integrated Pollution Prevention and Control*.
2. Kraus, Katja, and others (2006). Assessments of technological developments BAT and limit value, non-ferrous metal processing industry, draft background



document. Submitted to the Task Force on Heavy Metals United Nations Economic Commission for Europe Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

3. Passant, N and others (2000). UK fine particulate emissions from industrial processes. A report produced for the Department for Environment, Transport and the Regions, the National Assembly for Wales, the Scottish Executive and the Department of the Environment in Northern Ireland. AEAT.
4. United State Environment Protection Agency (1995). *Metallurgical Industry*. AP 42, Fifth edition, vol. 1, chap. 12. January 1995.
5. Bennett, R and others (1989). *Characterization of particulate emissions from non-ferrous smelters*. JAPCA, 39:2, 169-174, DOI.
6. Comments from Lynette Chung, EUROMETAUX, 02/2009. EGTEI - Compilation of the answers to questions and proposals of EGTEI technical secretariat.
7. Comments from Aldo Zucca, PORTOVESME, 03/2009. EGTEI - Compilation of the answers to questions and proposals of EGTEI technical secretariat.
8. Comments from Thomas Krutzler, UBA Austria, 03/2009. EGTEI - Compilation of the answers to questions and proposals of EGTEI technical secretariat.
9. Comments from Ines Flügel, UBA Germany, 03/2009. EGTEI - Compilation of the answers to questions and proposals of EGTEI technical secretariat.
10. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of large volume Inorganic Chemicals – Ammonia, Acids and Fertilisers: Integrated Pollution Prevention and Control*.
11. United Nations Environment Programme, World Metrological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
12. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
13. Kupiainen, K and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079.

## J. Производство цемента

### 1. Охват

484. К выбросам цементных заводов, которые вызывают наибольшую озабоченность, относятся выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и пыли. Хотя выбросы диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) уступают им по объему, они также рассматриваются в настоящем руководящем документе. В данной главе рассматриваются установки для производства цементного клинкера во вращающихся печах производительностью более 500 т в сутки, или в других печах производительностью свыше 50 т в сутки [согласно документу БРЕФ] [1].

## 2. Источники выбросов

485. Процесс производства цемента можно подразделить на три этапа. Первый этап — кальцинация, в ходе которой происходит разложение карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) с образованием оксида кальция ( $\text{CaO}$ ) при температуре около 900 °C. На следующем этапе клинкер подвергается обжигу, в ходе которого оксид кальция вступает в реакцию с кремнием, оксидом алюминия и железа при температуре около 1 400–1 500 °C, образуя клинкер, который затем охлаждают. Затем клинкер измельчают и смешивают с сульфатом кальция и другими присадками для производства цемента.

486. Процесс клинкерования объединяет этапы кальцинации и обжига шлама. Он является самым крупным источником выбросов  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и пыли. Процесс клинкерования протекает в печи. Большинство печей относятся к вращающемуся типу. Для производства клинкера используют различные способы: сухой, полусухой, полумокрый, мокрый. В процесс могут дополнительно включаться подогреватель или декарбонизатор.

487. Более 75% производимого клинкера в Европе получают сухим способом.

488. В процессе клинкерования сырье загружают во вращающуюся печь, где его высушивают, подогревают, кальцинируют и агломерируют для получения цементного клинкера. Затем клинкер охлаждают и хранят до смешивания с гипсом для производства цемента [1].

489. Для клинкерования есть различные технологии предварительного подогрева:

а) *колосниковый подогреватель* используется за пределами печи. Применение колосникового подогревателя укорачивает длину вращающейся печи, сокращает теплотери и повышает энергоэффективность;

б) *предварительный подогрев взвеси* заключается в поддержании сырьевой смеси во взвешенном состоянии в атмосфере горячих дымовых газов вращающейся печи. Значительно увеличенная поверхность контакта обеспечивает почти полный теплообмен, по меньшей мере, теоретически;

в) *система предварительного кальценирования* подразделяет процесс сгорания на два этапа. Первичное сгорание осуществляется в зоне обжига печи, а вторичное — в специальной камере сгорания между вращающейся печью и подогревателем.

490. Наконец, отработанный газ проходит через различные очистные устройства для удаления пыли и/или десульфуризации [1].

491. В настоящее время на цементных заводах может применяться когенерация. Избыточное тепло при производстве цемента может использоваться для выработки электроэнергии [1].

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

492. Если не указано иное, уровни выбросов, указанные в данном разделе, выражены на основе среднесуточных значений в стандартных условиях при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа, 10% концентрации кислорода и сухом газе.

### а) $\text{SO}_2$

493. При производстве цемента на выбросы  $\text{SO}_2$ , в основном, влияет содержание летучей серы в сырье. Таким образом, основной мерой по сокращению выбросов  $\text{SO}_2$  является использование десульфурованного топлива или топлива с низким содержанием серы. Выбросы  $\text{SO}_2$  из цементной печи могут быть низкими

без какой-либо очистки дымовых газов – просто при использовании сырья и топлива с низким содержанием серы.

494. Однако, если исходные уровни выбросов  $\text{SO}_2$  достаточно велики, можно использовать различные системы очистки дымовых газов.

495. Добавление абсорбентов, например, гашеной извести ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), негашеной извести ( $\text{CaO}$ ) или активированной золы уноса с высоким содержанием  $\text{CaO}$  в дымовые газы, может способствовать абсорбции части  $\text{SO}_2$  и рассматривается в качестве НИМ. Их добавление может осуществляться сухим или мокрым способами. Рекомендуется использовать абсорбенты на основе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с большой удельной площадью поверхности и высокой пористостью. Малая реактивность данных абсорбентов предполагает применение молярной концентрации  $\text{Ca/S}$  в диапазоне от 3 до 6.

496. Мокрая очистка является НИМ для десульфуризации. При применении технологий мокрой очистки дымовые газы извлекаются в первую очередь, а затем очищаются распыленным раствором щелочных соединений.  $\text{SO}_2$  вступает в реакцию с этим раствором, образуя различные побочные продукты, которые можно восстановить до серной кислоты, серы, гипса или скруббирующего агента. При этом можно ожидать снижения выбросов  $\text{SO}_2$  более чем на 90% [1].

497. УВ-НИМ можно добиться путем добавления абсорбента или применения мокрого скруббера.

498. Что касается добавления абсорбента, то следует учитывать, что стоимость абсорбентов означает увеличение эксплуатационных расходов при увеличенной концентрации  $\text{SO}_2$ , а поэтому данная мера может стать нерентабельной при исходном уровне выбросов  $\text{SO}_2$  свыше 1 200 мг/м<sup>3</sup>.

499. В цементной промышленности ожидаемые значения находятся в диапазоне 50–400 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании соответствующих технологий. В таблице ниже приводится общий обзор уровней выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ в цементной промышленности.

Таблица 48

**Уровни выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности [1]**

Параметры	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> ) (среднесуточное значение)
Содержание серы в топливе	Добавление абсорбента Система мокрой очистки	$\text{SO}_2$ : <50–<400

<sup>a</sup> Эти величины являются среднесуточными значениями, а в этом диапазоне учитывается содержание серы в сырье.

**b)  $\text{NO}_x$**

500. При производстве цемента выбросы  $\text{NO}_x$  определяются многими параметрами: видом топлива, типом сжигания, коэффициентом избытка воздуха и температурой горения. Таким образом, для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  можно принимать ряд мер.

501. К основным первичным мерам, принимаемым на цементных заводах, можно причислить понижение температуры факела, применение горелок с низким выбросом  $\text{NO}_x$ , ступенчатое сжигание, сжигание в средней части печи и добавление минерализаторов в сырье:

а) *понижения температуры горения* можно добиться путем добавления воды в топливо или непосредственно в зону горения. Это понижает температуру и тем самым подавляет образование  $\text{NO}_x$ ;

б) *добавление минерализаторов*, например, фтора, в сырье обеспечивает снижение температуры в зоне спекания, и тем самым сокращения образования  $\text{NO}_x$ ;

с) *горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$*  позволяют уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$  в процессе сгорания. Организация сжигания с помощью горелок с низким выбросом  $\text{NO}_x$  заключается в низкотемпературном сжигании с внутренней или внешней рециркуляцией дымовых газов. Сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  до 30% можно добиться в эффективно работающих установках. Сообщается об уровнях выбросов в пределах 600–1 000 мг/Нм<sup>3</sup> при применении данной технологии [1];

д) *при ступенчатом сжигании*; первый этап сжигания происходит во вращающейся печи. Второй этап сжигания осуществляется с помощью горелки на входе печи; при этом происходит разложение оксида азота, образовавшегося на первом этапе. На третьем этапе сжигания топливо подается в обжиговую печь с некоторым количеством третичного воздуха. Указанная система снижает образование топливных  $\text{NO}_x$  из топлива, а также снижает выбросы  $\text{NO}_x$  из печи. На четвертом и последнем этапе сжигания оставшийся третичный воздух подается в систему в качестве воздуха для дожигания остатков. Технологию ступенчатого сжигания, в общем, можно использовать только для печей, оснащенных декарбонизатором [1];

е) *сжигание в средней части печи* применяется в длинных печах мокрого или сухого типа. При нем образуется восстановительная зона при впрыске топлива в средней точке системы печей. В отдельных установках, где используется данная технология, удалось добиться сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в пределах 20–40%.

502. Хотя первичные меры достаточно эффективны, для более значительного сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  можно использовать вторичные меры. К ним относятся селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ), которые являются основными технологиями на цементных заводах. При СНКВ степень преобразования меньше: на цементных заводах она достигает 10–50%.

503. В цементной промышленности НИМ сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  считаются первичные меры в сочетании со ступенчатым сжиганием или СНКВ. При использовании данных технологий можно добиться уровней выбросов в пределах 200–500 мг/Нм<sup>3</sup>.

504. Селективное каталитическое восстановление (СКВ) является НИМ при условии разработки соответствующих катализаторов и усовершенствования технологии в цементной промышленности. При этом можно ожидать значительного сокращения выбросов (85–95%). В Европе уровень выбросов в пределах 100–200 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании данной технологии гарантируют как минимум два поставщика. Тем не менее капитальные затраты на внедрение данной технологии все еще значительно превышают затраты на СНКВ [1].

505. В таблице ниже приводится общий обзор уровней выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ производства цемента [1].

506. Если применяется попутное сжигание отходов, должны выполняться требования Директивы о сжигании отходов (ДСО) [1].

Таблица 49

**Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности [1]**

Источники выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Печи с предварительным подогревателем	Сочетание: первичных мер (низкотемпературное сжигание, горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> , сжигание в средней части печи, добавление минерализаторов и т.д.), ступенчатое сжигание	<200–450 <sup>a, b</sup>
Печи Леполь и длинные вращающиеся печи	(также в сочетании с декарбонизатором и сжиганием оптимальной смеси топлива), СНКВ, СКВ, при условии разработки соответствующих катализаторов и усовершенствовании технологии в цементной промышленности.	400–800 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> УВ-НИМ составляет 500 мг/Нм<sup>3</sup>, когда после применения первичных мер исходный уровень выбросов NO<sub>x</sub> составляет <1 000 мг/Нм<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> Существующие конструкции печных систем, характеристики смеси топлива, включая отходы и обжигаемость сырья могут влиять на возможность включения в этот диапазон. Уровни, не превышающие 350 мг/Нм<sup>3</sup>, достигаются в печах с благоприятными условиями. Среднесуточные значения менее 200 мг/Нм<sup>3</sup> были зарегистрированы только на трех заводах (использовалась легко сжигаемая смесь).

<sup>c</sup> В зависимости от исходных уровней и проскока аммиака.

*с) Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)*

507. При производстве цемента тремя основными источниками выбросов пыли из дымовой трубы являются: печь, клинкерный холодильник и цементные мельницы. Диффузные выбросы образуются при транспортировке и хранении материалов. Существенным источником может быть также дробление и измельчение сырья и обращение с топливом.

508. Согласно документам [2] [3] [4] цементная промышленность не относится к крупным источникам выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ скудны.

509. Для сокращения выбросов пыли в производстве цемента применяют электрофильтры (ЭФ) и тканевые фильтры. Если в пыли присутствует ЧУ, то описанные ниже методы в отношении пыли, будучи эффективными для мелких частиц, эффективны и для ЧУ. В тканевом фильтре должны быть предусмотрены многочисленные карманы, каждый из которых можно изолировать в случае разрыва рукава, поэтому их следует проектировать соответствующим образом для обеспечения надлежащего функционирования в случае выхода из строя одного из рукавов. По мере накопления пыли в фильтре возрастает динамическое сопротивление газовому потоку и давление. В каждом отделении следует предусмотреть датчики зон разрыва, которые будут сигнализировать о необходимости ремонта в подобных случаях.

510. Выбросов с концентрацией менее 5 мг/м<sup>3</sup> можно добиться с помощью хорошо спроектированных и правильно эксплуатируемых тканевых фильтров.

511. Электрофильтры надлежащего размера с надлежащим кондиционированием воздуха и оптимизированным режимом очистки могут обеспечить сокращение выбросов пыли до уровня менее 10 мг/Нм<sup>3</sup> (среднесуточное значение).

512. Для использования ЭФ необходимо регулировать уровень СО. Концентрацию СО следует поддерживать ниже предела взрываемости во избежание любых чрезвычайных ситуаций.

513. Дороги, по которым двигаются грузовики, должны иметь покрытие и периодически чиститься во избежание диффузных выбросов пыли. Кроме того, для предотвращения выбросов пыли используется распыление воды в месте размещения установки. В воду также можно добавлять химические вещества, позволяющие повысить эффективность агломерации пыли. Погрузочно-разгрузочные работы в максимально возможной степени следует проводить в закрытых помещениях, в которых воздух необходимо собирать и очищать с помощью тканевых фильтров [1].

514. В цементной промышленности к НИМ сокращения выбросов пыли относится применение ЭФ и тканевых фильтров. С помощью этих технологий достигаемая концентрация пыли составляет 5–50 мг/Нм<sup>3</sup>. При использовании гибридных фильтров (сочетание ТФ и ЭФ) достигаются значения в пределах 10–30 мг/Нм<sup>3</sup>. В таблице ниже приводится общий обзор уровней выбросов пыли при применении НИМ в цементной промышленности.

Таблица 50

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в цементной промышленности [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Все печные системы Холодильник для клинкера Цементные мельницы	Тканевые фильтры или ЭФ	Пыль: <10–20
Пылящие операции <sup>a</sup>	Сухая очистка отходящих газов	Пыль: <10 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Было отмечено, что для небольших источников (<10 000 Нм<sup>3</sup>/ч) необходимо применять подход с учетом приоритетов.

<sup>b</sup> Точечные замеры по меньшей мере каждые полчаса.

#### 4. Новые методы

515. Поскольку при производстве цемента наибольшую озабоченность вызывают выбросы NO<sub>x</sub>, рассматриваемые в настоящем документе новые методы являются методами, направленными на сокращение выбросов NO<sub>x</sub>.

516. Сжигание топлива в кипящем слое и ступенчатое сжигание в сочетании с СНКВ представляют собой новый метод снижения выбросов NO<sub>x</sub>.

517. При сжигании тяжелого нефтяного топлива в кипящем слое выбросы NO<sub>x</sub> колеблются в пределах от 115 мг/Нм<sup>3</sup> до 190 мг/Нм<sup>3</sup>, а пылеугольного топлива – от 440 мг/Нм<sup>3</sup> до 515 мг/Нм<sup>3</sup> при использовании.

518. Теоретически, сочетание ступенчатого сжигания и СНКВ дает такие же результаты к тем же показателям, что и технология СКВ.

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

519. Приводящаяся ниже таблица содержит общий обзор затрат на внедрение различных технологий сокращения выбросов [1].

Таблица 51

**Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами NO<sub>x</sub> в цементной промышленности [1]**

Технология	Возможность применения	Эффективность сокращения	Указанные затраты <sup>a</sup>	
			Капитальные (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные (евро/т клинкера)
Охлаждение пламени	Все	0–35%	До 0,2	До 0,5
Горелка с низким выбросом NO <sub>x</sub>	Все	0–35%	До 0,45	0,07
Ступенчатое сжигание	Декарбонизатор	10–50%	0,1–2	0
СНКВ	Предварительный подогреватель		1–4	0
	Предварительный подогреватель и декарбонизатор	30–90%	0,5–1,2	0,1–1,7
	Предварительный колосниковый подогреватель	35%	0,5	0,84
СКВ <sup>b</sup>	Вероятно, все	43–95%	2,2–4,5	0,33–3,0

<sup>a</sup> Капитальные и эксплуатационные затраты применительно к печи производительностью 3 000 т в сутки и исходным выбросам до 2 000 мг NO<sub>x</sub>/м<sup>3</sup>.

<sup>b</sup> Данные о затратах основаны на печи производительностью 1 500 т клинкера/сутки.

Таблица 52

**Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами SO<sub>2</sub> в цементной промышленности**

Технология	Возможность применения печных систем	Эффективность сокращения	Подтвержденные затраты	
			Капитальные (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные (евро/т клинкера)
Добавление абсорбента	Все	60–80%	0,2–0,3	0,1–0,4
Мокрый скруббер	Все	>90%	5,8–23	0,5–2
Активированный уголь	Сухие	до 95%	15 <sup>a</sup>	Данных нет

<sup>a</sup> В эти затраты также включается процесс СНКВ применительно к печи производительностью 2 000 т клинкера/сутки и исходным выбросам 50–600 мг SO<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>.

Таблица 53

**Затраты на внедрение технологий борьбы с выбросами пыли в цементной промышленности [1]**

Технология	Возможность применения	Затраты <sup>a</sup>	
		Капитальные (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные (евро/т клинкера)
Электрические фильтры	Все печные системы	2,1–6,0	0,1–0,2
	Холодильники	0,8–1,2	0,09–0,18
	Цементные мельницы	0,8–1,2	0,09–0,18

Технология	Возможность применения	Затраты <sup>a</sup>	
		Капитальные (в 10 <sup>6</sup> евро)	Эксплуатационные (евро/т клинкера)
	Все печные системы	2,1–6,0	0,15–0,35
	Холодильники для клинкера	1,0–1,4	0,1–0,15
Тканевые фильтры	Цементные мельницы	0,3–0,5	0,03–0,04

<sup>a</sup> Капитальные и эксплуатационные затраты на сокращение выбросов до 10–50 мг/м<sup>3</sup> обычно относятся к печи производительностью 3 000 т клинкера в сутки при исходных выбросах пыли до 500 г/м<sup>3</sup>.

## Справочные материалы, использованные в разделе J главы VII:

1. European Commission (2010). *Reference document on Best Available Techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries*.
2. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
3. United States Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*.
4. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.

## К. Производство извести

### 1. Охват

520. В данной категории рассматриваются производство извести и использование печи для ее обжига в известковой промышленности. В ней не рассматриваются печи для обжига извести, используемые в других промышленных процессах, например в бумажной промышленности.

521. Среди выбросов заводов известковой промышленности наибольшую озабоченность вызывают выбросы пыли (ОВЧ). Производство извести также является источником выбросов оксидов азота (NO<sub>x</sub>) и диоксида серы (SO<sub>2</sub>). В основном выбросы данного типа образуются в процессе кальцинирования известняка [1].

### 2. Источники выбросов

522. Известь получают путем нагревания. Карбонат кальция или магния нагревают до образования двуокси углерода и извести. В ходе этого процесса образуются выбросы NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> и пыли.

523. Для производства извести используют различные технологии. Выбор технологии зависит от количества производимой извести и размера подаваемого известняка.

524. Большинство используемых печей имеют либо шахтную, либо вращающуюся конструкцию. Во всех перечисленных конструкциях различают три зоны: зона предварительного подогрева, где происходит нагрев известняка до 800 °С, зона кальцинирования, где происходит обжиг и образование извести при температуре



более 900 °С, и зона *охлаждения*, где известь охлаждается. Известь, получаемая в результате процесса охлаждения, называется негашеной известью (СаО).

525. Некоторые вращающиеся печи и печи с кипящим слоем эксплуатируют совместно с отдельными подогревателями.

526. Негашеную известь, полученную в процессе охлаждения, пропускают через сито, а наименее чистые мелкие частицы удаляют. Просеянную негашеную известь дробят и классифицируют для регулирования фракционного состава продукции.

527. Можно производить также гашеную известь. К ней относится гидратная известь, известковое молоко и известковое тесто. Гидратную известь производят из негашеной извести в установке для гашения извести. Известковое молоко и известковое тесто получают за счет гашения извести при избыточном количестве воды. Для этого используют гасители извести периодического и непрерывного действия [1].

### 3. Уровни выбросов при использовании НИМ (УВ-НИМ)

528. Если не указано иное, уровни выбросов, приведенные в данном разделе, определены на основе среднесуточных значений и в стандартных условиях при температуре 273 К и давлении 101,3 кПа, 11% концентрации кислорода и сухом газе.

#### a) SO<sub>2</sub>

529. При производстве извести выбросы SO<sub>2</sub> определяются содержанием серы в сжигаемом топливе. Выбросы SO<sub>2</sub> также определяются конструкцией печи и установленным содержанием серы в производимой извести. Основной мерой по сокращению выбросов SO<sub>2</sub> является использование десульфурованного топлива или топлива с низким содержанием серы. На данный момент не существует вторичных мер для уменьшения выбросов SO<sub>2</sub>, рассматриваемых в качестве НИМ. Разработаны технологии добавления абсорбентов, которые, однако, в настоящее время не применяются.

530. Выбросы SO<sub>2</sub> в дымовых газах, образующиеся в ходе топочного процесса, можно сократить путем оптимизации мер/технологий, обеспечивающих эффективное поглощение диоксида серы, т.е. эффективным контактом между печными газами и негашеной известью.

531. Приводимая ниже таблица содержит характерные уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ в производстве извести [1].

Таблица 54

#### Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности [1]

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>a, b</sup>
Параллельно-поточная регенеративная печь (ППРП), кольцевая шахтная печь (КШП), шахтные печи с комбинированным дутьем (ШПКД), прочие шахтные печи (ПШП) и вращающаяся печь с предварительным	Сочетание: оптимизация процесса для обеспечения эффективной абсорбции SO <sub>2</sub> , использование топлива с низким содержанием серы и использование тех-	<50–200

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> ) <sup>a, b</sup>
подогревателем (ВППП)	нологии добавки абсор- бентов	
Длинная вращающаяся печь (ДВП)		<50–400

<sup>a</sup> Этот уровень зависит от исходного уровня SO<sub>x</sub> в отходящих газах и применяемой очистной технологии.

<sup>b</sup> При производстве агломерированной доломитовой извести с помощью метода «двойного прохождения» выбросы SO<sub>x</sub> могут быть выше верхнего предела этих значений.

*b) NO<sub>x</sub>*

532. При производстве извести на выбросы NO<sub>x</sub> воздействуют следующие параметры: тип топлива, тип сжигания, соотношение температуры факела и воздуха горения. Указанные параметры зависят от качества получаемой извести и конструкции печи.

533. Для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> могут использоваться как первичные, так и вторичные меры.

534. К первичным мерам сокращения выбросов NO<sub>x</sub> относятся:

а) оптимизация процесса: отлаживание и оптимизация работы завода и/или гомогенизация топлива и сырья;

б) конструкция горелки: выбросы NO<sub>x</sub> можно свести к минимуму путем использования специальных горелок с низким выбросом NO<sub>x</sub>. Эти горелки способствуют снижению температуры факела и тем самым уменьшению выбросов тепловых и (в определенной степени) топливных NO<sub>x</sub>. Сокращение выбросов NO<sub>x</sub> достигается путем подачи продувочного воздуха для снижения температуры факела или импульсного режима работы горелок. Горелки с низким уровнем выбросом NO<sub>x</sub> используют только во вращающихся печах.

535. К вторичным мерам, которые можно применять в данном случае, относятся: селективное некаталитическое восстановление (СНКВ): в процессе селективного некаталитического восстановления (СНКВ) дымовые газы очищаются от оксидов азота (NO + NO<sub>2</sub>) путем селективного некаталитического восстановления и преобразуются в азот и воду за счет добавления восстановителя в печь и его вступления в реакцию с оксидами азота. Реакции происходят при температуре от 850 до 1 020 °C, причем оптимальный диапазон колеблется в пределах от 900 до 920 °C. При изготовлении извести СНКВ применяется для вращающихся печей с предварительным подогревателем (решетка печи Леполя). В настоящее время очистка СНКВ в вертикальных печах не представляется технически возможной, поскольку температура дымовых газов в них значительно ниже 200 °C. В таких вращающихся печах применение технологии СНКВ нецелесообразно, поскольку зона с оптимальным температурным окном расположена во вращающейся части печи. Будучи новым методом в известковой промышленности, СНКВ в настоящее время применяется только на одном из заводов Европы.

536. В приводимой ниже таблице представлены стандартные уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ в известковой промышленности [1].

Таблица 55

**Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Кольцевая шахтная печь (КШП), параллельно-поточная регенеративная печь (ППРП), шахтная печь с комбинированным дутьем (ШПКД) и прочие шахтные печи (ПШП)	Сочетание: первичные меры (использование топлива с низким содержанием азота, оптимизация процесса, конструкция горелки (горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub> ), ступенчатая подача воздуха (ВППП)) и СНКВ (вращающаяся печь Леполь)	100—<350 <sup>a, b</sup>
Длинная вращающаяся печь (ДВП)		<200—<500 <sup>a, c</sup>
Вращающаяся печь с предварительным подогревателем (ВППП)		

<sup>a</sup> Более высокий ряд значений связан с производством доломитовой извести и извести жесткого обжига.

<sup>b</sup> Для ДВП и ВППП с шахтой для производства извести жесткого обжига верхний диапазон значений достигает порядка 800 мг/Нм<sup>3</sup>.

<sup>c</sup> Когда первичных мер/технологий недостаточно и когда вторичных мер/технологий для сокращения выбросов NO<sub>x</sub> до 350 мг/Нм<sup>3</sup> не имеется, за верхний уровень принимается 500 мг/Нм<sup>3</sup>, особенно для извести жесткого обжига.

*c) Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)*

537. При производстве извести топочные процессы и процессы последующего охлаждения являются основными источниками выбросов пыли. Кроме того, значительные неорганизованные выбросы также образуются при обращении с материалами и их хранении.

538. Как правило, для сокращения выбросов пыли вращающиеся печи оборудуются ЭФ, а шахтные печи и известняковые мельницы оснащаются тканевыми фильтрами. В тканевых фильтрах следует устанавливать датчики зон разрыва рукава, которые будут сигнализировать о необходимости ремонта.

539. Циклоны можно использовать в качестве установок предварительной очистки дымовых газов. Циклоны просты в эксплуатации и рентабельны, но не задерживают микрочастицы с достаточной степенью эффективности и не исключают использование ЭФ и ТФ.

540. Очистку от пыли в дымовых газах, образующихся при гашении извести, можно производить с помощью мокрых скрубберов или тканевых фильтров, в то время как пыль в дымовых газах, образующихся в процессе дробления извести, можно удалить, применяя как циклоны, так и тканевые фильтры.

541. Согласно справочным материалам [3] [4] [5] производство извести не относится к крупным источникам выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ крайне скудны.

542. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше методы НИМ в отношении пыли, которые эффективны для тонкодисперсных частиц, эффективны также и для ЧУ.

543. В приведенной ниже таблице представлен общий обзор достижимых уровней выбросов пыли при производстве извести.

Таблица 56

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в известковой промышленности [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Обжигательные печи	ЭФ	Пыль: <20 <sup>c, d</sup>
	Тканевые фильтры	Пыль: <10 <sup>d</sup>
Пылящие операции <sup>a</sup>	Тканевый фильтр	Пыль: <10 <sup>b</sup>
	Мокрые скрубберы (в основном применяются в установках гашения)	Пыль: <10–20 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Было отмечено, что для небольших источников (<10 000 Нм<sup>3</sup>/ч) следует применять подход, основанный на приоритетах.

<sup>b</sup> Значения выражаются в средних величинах за период отбора проб (точечные измерения, по меньшей мере в течение получаса).

<sup>c</sup> В исключительных случаях, когда отмечается высокое динамическое сопротивление пыли, среднесуточные УВ-НИМ могут быть выше, достигая 30 мг/Нм<sup>3</sup>.

<sup>d</sup> Среднесуточные значения.

#### 4. Новые методы

544. К рассматриваемым новым методам сокращения выбросов при производстве извести относятся:

- а) обжиг в кипящем слое для уменьшения уровня выбросов SO<sub>2</sub> и NO<sub>x</sub>;
- б) добавление абсорбента (гидратная известь или гидрокарбонат натрия) для сокращения выбросов SO<sub>2</sub>. В данном процессе для обеспечения его эффективности необходимо оптимизировать время выдержки;
- в) керамические фильтры для сокращения уровня выбросов пыли. В настоящее время они не применяются, но их способность к улавливанию пыли при высоких температурах повышает возможности применения.

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

545. Поскольку только выбросы пыли вызывают серьезную озабоченность, затраты на внедрение технологий сокращения выбросов приводятся только для пыли [1]. Существуют три основных технологии очистки от пыли, которые используют для печей для обжига извести: тканевые фильтры, электрофильтры (ЭФ) и мокрые скрубберы.

546. На объем капитальных затрат влияет размер фильтра и режим эксплуатации. Поэтому капитальные затраты могут колебаться в широких пределах. Основными факторами, определяющими затраты, являются инвестиции, техническое обслуживание и энергоресурсы.

547. В приводящейся ниже таблице представлены затраты на внедрение технологий сокращения выбросов пыли.

Таблица 57

**Затраты на внедрение технологий борьбы с пылью в известковой промышленности**

Технология	Возможность применения	Уровень выбросов		Затраты <sup>c</sup>	
		мг/м <sup>3</sup> : <sup>a</sup>	кг/т <sup>b</sup>	капитальные	эксплуатационные
ЭФ	Все печные системы, мельничная установка, вспомогательные процессы	<10–<20	0,015–0,1	0,6–3,9	>1,5
Тканевый фильтр	Все печные системы, мельничная установка, вспомогательные процессы	<10–<20	0,015–0,15		
		<10–<20	0,015–0,05	0,25–1,7	>1,5
Мокрый пылеуловитель	Все печные системы, установки для гашения извести	10–30	0,06–0,25	–	–

<sup>a</sup> Обычно относится к среднесуточным значениям, сухому газу, температуре 273 К, давлению 101,3 кПа и 11% концентрации O<sub>2</sub>, за исключением установок гашения извести, для которых принимаются условия выбросов.

<sup>b</sup> Кг/тонну извести из расчета 3 700 Нм<sup>3</sup>/т извести для вращающихся печей с предварительными подогревателями, 3 000 Нм<sup>3</sup>/т извести для кольцевых шахтных печей и параллельно-поточных регенеративных печей и 5 000 Нм<sup>3</sup>/т извести для длинных вращающихся печей.

<sup>c</sup> Инвестиции в 10<sup>6</sup> евро и эксплуатационные расходы в евро/т извести относятся ко всем печам с различной производительностью.

**Справочные материалы, использованные в разделе К главы VII:**

1. European Commission (2010). *Reference document on Best Available Techniques in the cement, lime and magnesium oxide manufacturing industries*.
2. United Nations Environment Programme/World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
3. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
4. Kupiainen, K. and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079.
5. United States Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*.

## L. Производство стекла

### 1. Охват

548. Сектор производства стекла включает в себя установки для изготовления стекла плавильной мощностью более 20 т в сутки. Производство стекловолокна и минерального волокна рассматривается в главе «Искусственные волокна» (раздел М главы VII). К данному сектору относится изготовление листового и тарного стекла, а также производство стекла специального назначения (телеэкраны, освещение), бытовых стеклянных изделий и жидкого стекла. Производство листового, тарного и промышленного стекла осуществляется преимущественно крупными многонациональными компаниями, в то время как изготовление стеклянной посуды и художественного стекла, как правило, осуществляется небольшими или средними предприятиями. В отличие от производства технического стекла производство бытового стекла характеризуется большим разнообразием продукции и процессов, включая ручное изготовление стекла [1] [2] [3].

### 2. Источники выбросов

549. Поскольку стекольное производство является энергоемкой отраслью, выбор источника энергии, технологии нагрева и использования тепла крайне важен для экологических характеристик установки. Тремя основными источниками энергии являются природный газ, нефтяное топливо и электроэнергия. Хотя в последние десятилетия нефтяное топливо стало преобладающим видом топлива в стекольной промышленности, все чаще используется природный газ, который упрощает борьбу с выбросами  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$  и позволяет сократить их объемы, но, как правило, за счет высоких затрат. Многие печи в настоящее время приспособлены для работы как на природном газе, так и на нефтяном топливе, причем для перехода с одного вида топлива на другой нужно лишь заменить горелки; отмечено также смешивание топлива и газа в одной горелке. Электричество (резистивный нагрев, при котором ток пропускается через расплавленное стекло) является третьим источником энергии для изготовления стекла; его можно использовать либо в качестве единственного источника энергии, или в сочетании с другими видами топлива [1].

550. Технологии варки охватывают производство стекла как в небольших электрических печах, так и в регенеративных печах с поперечным направлением пламени производительностью до 900 т в сутки в секторе листового стекла [4]. Приводящийся ниже список содержит основные технологии варки для печей различных классов производительности:

а) установки большой производительности (>500 т/сутки): Почти во всех случаях регенеративные печи с поперечным направлением пламени;

б) установки средней производительности (от 100 до 500 т/сутки): предпочтительно, регенеративные ваннные печи с подковообразным пламенем, хотя также можно применять регенеративные, рекуперативные плавильные печи с поперечным направлением пламени, а также электрические и кислородотопливные плавильные печи;

в) установки малой производительности (от 25 до 100 т/сутки): могут использоваться рекуперативные плавильные печи, регенеративные ваннные печи с подковообразным пламенем, электрические плавильные и кислородотопливные печи [1].

551. В *регенеративных печах* используют регенеративные системы рекуперации тепла и, обычно, горелки в местах ввода воздуха горения/отработанного газа и под ними. Тепло отработанных газов используют для подогрева воздуха горения,

пропуская отработанный газ через теплопоглощающую камеру. Разогрев печи происходит с одной стороны одновременно, и примерно через 20 минут направление разогрева меняется, и воздух горения проходит через ранее нагретую камеру. При этом можно получить температуру подогрева до 1 400 °С и крайне высокий тепловой КПД. Регенеративные печи относятся либо к типу с поперечным направлением пламени (головки горелок и горелки на обеих сторонах печи, камеры на любой из сторон) для относительно крупных установок, либо к типу ваннных печей с подковообразным пламенем (горелки и камеры на одной стороне).

552. В *рекуперативных печах* применяют теплообменники для рекуперации тепла отработанных газов, которые постоянно подогревают воздуха горения. Температура ограничивается примерно 750 °С для металлических рекуператоров; удельная плавильная мощность рекуперативных печей примерно на 30% меньше, чем у регенеративных печей. Горелки расположены вдоль каждой стороны печи и работают непрерывно с обеих сторон. Рекуперативные печи используют в основном в случаях, когда требуется значительная эксплуатационная гибкость при минимальных начальных капиталовложениях и когда экономически нецелесообразно использовать регенераторы вследствие незначительной производительности.

553. *Плавление с кислородным дутьем* заключается в замене воздуха горения кислородом (чистота >90%), за счет чего объем отработанного газа уменьшается примерно на две трети. Поскольку атмосферный азот не нужно нагревать до температуры факела, можно добиться экономии энергоресурсов, а также сокращения выбросов NO<sub>x</sub>. Конструкция этого типа печи в целом аналогична конструкции плавильных печей (несколько боковых горелок, одно выходное отверстие отработанного газа), однако в ней не применяются системы рекуперации тепла для подогрева подаваемого кислорода.

554. При *электроплавке* используется ванна с футеровкой и электродами, установленными в своде, по бокам или чаще всего снизу печи. Обогрев обеспечивается за счет резистивного нагрева при прохождении тока через расплавленную стекломассу. Эта технология обычно применяется в небольших печах (особенно для производства специального стекла), максимальный предел рентабельности определяется сравнением стоимости электроэнергии и ископаемого топлива. Замена ископаемого топлива в печи предотвращает образование побочных продуктов сгорания.

555. *Комбинированная плавка с помощью электроэнергии и ископаемого топлива* может состоять либо из обогрева ископаемым топливом и обогрева электрическим током, либо (реже) преимущественно электрообогрева с дополнительным обогревом ископаемым топливом.

556. *Периодическая плавка сырья* используется в случаях, когда требуется производство небольшого количества стекла, особенно если состав стекла периодически изменяется. Горшковые и ваннные печи периодического действия используют для плавления конкретных партий сырья, причем большинство этих печей имеют пороговую производительность для сектора в 20 т/сутки. В горшковых печах нижнюю секцию используют для подогрева воздуха горения, а верхняя секция, где находятся тигели, служит в качестве плавильной камеры. Ваннные печи периодического действия крупнее и напоминают стандартные печи, но заполняются сырьем ежесуточно.

557. Для повышения эффективности и экологических характеристик разработаны *особые конструкции стеклоплавильных печей* [1].

558. Основными экологическими проблемами в стекольной промышленности являются выбросы в атмосферу и энергосбережение. Производство стекла относится к высокотемпературным, энергоемким отраслям, сопряженным с выбросами

ми продуктов сгорания и высокотемпературным окислением атмосферного азота, и особенно с выбросами диоксида серы, двуокиси углерода и оксидов азота. В печных выбросах также содержится пыль, которая в основном образуется при испарительном переносе и последующей конденсации летучих сырьевых материалов [4].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### а) $SO_2$

559. Основными технологиями сокращения выбросов  $SO_2$  являются выбор топлива, состав сырья и очистка от кислого газа. В процессах сжигания нефти основным источником  $SO_2$  является окисление серы, содержащейся в топливе. Выбросы  $SO_2$  из сырья могут варьироваться в зависимости от применения сульфата натрия для химической стабилизации стекла и в некоторых случаях сульфита/сульфида в сырье, хотя они ниже, чем выбросы при обогреве нефтью. Очевидным способом снижения выбросов  $SO_2$  является уменьшение содержания серы в топливе или переход на обогрев газом (преимущественно без серы). Поскольку использование топлива с более низким содержанием серы не всегда приводит к повышению затрат (за исключением повышения стоимости топлива), переход на обогрев газом требует использования другого типа горелок и некоторых других модификаций. В качестве НИМ рассматривается использование газа или нефти с 1% содержанием серы или менее; сжигание топлива с более высоким содержанием серы может также стать НИМ, если оно сопровождается мерами по сокращения выбросов до соответствующего уровня [1] [8].

560. Что касается выбросов в результате использования сырья в стандартном производстве стекла, их основным источником являются сульфаты, поскольку они являются самыми распространенными осветляющими агентами, а также важными окислителями. В самых современных стеклоплавильных печах применение сырьевых сульфатов снижено до минимального возможного уровня.

561. Что касается очистки, то принципы сухой и полусухой очистки аналогичны: абсорбент вводится в поток отработанного газа и распыляется в нем, абсорбенты, выбранные для  $SO_2$ , также эффективны и для других кислых газов. Абсорбентом может быть сухой порошок (сухой процесс), взвесь или раствор при водяном охлаждении газового потока (полусухой процесс). Повторное использование отфильтрованной пыли (включая сульфатные остатки) часто считается целесообразным, если оно технически применимо. Такая мера способна уменьшить общие выбросы серы вплоть до технически целесообразной замены сырья отфильтрованной пылью; при этом может потребоваться внешнее удаление отфильтрованной пыли. Таким образом, специфические для местных условий решения могут включать баланс между потенциально противоречивым сведением к минимуму количества отходов и сокращением выбросов серы, а в этом случае принципиально важным становится баланс серы.

562. В большинстве установленных скрубберов для абсорбирования  $SO_2$  применяется очистка с помощью сухой извести при температуре примерно 400 °C; при этой температуре можно добиться снижения выбросов  $SO_2$  примерно на 50% (более высокая степень очистки возможна при температуре около 200 °C и во влажной среде) [1] [5].

563. Для тарного, листового, бытового и специального стекла в качестве НИМ рассматривается, когда это целесообразно, вторичное уменьшение выбросов пыли сухим и полусухим методом очистки от кислого газа в соответствующих условиях. В зависимости от топлива (для тарного и листового стекла) и от приоритета по сокращению выбросов из данной установки для НИМ приводятся раз-



личные значения, поскольку снижение уровня отходов путем фильтрации пыли и рециркуляции стеклобоя может повлечь повышение уровня выбросов SO<sub>2</sub>.

564. Для *силикатных эмалей (фриттов)* НИМ для SO<sub>2</sub> является выбор топлива (если целесообразно) и контроль состава сырья [1].

Таблица 58

**Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ в стеклоплавильных печах [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов SO <sub>2</sub> при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)		Примечания
	сжигание газа	сжигание нефти	
Тарное стекло с сокращением выбросов SO <sub>2</sub> в качестве приоритета	200–500 (0,3–0,75)	500–1 200 (0,75–1,8)	
Тарное стекло со сведением к минимуму образование отходов в качестве приоритета	<800 (1,2)	<1 500 (2,25)	Когда баланс масс не позволяет достичь указанных выше значений.
Листовое стекло с сокращением выбросов SO <sub>2</sub> в качестве приоритета	200–500 (0,5–1,25)	500–1 200 (1,25–3)	
Листовое стекло со сведением к минимуму образования отходов в качестве приоритета	<800 (2)	<1 500 (3,75)	Когда баланс масс не позволяет достичь указанных выше значений.
Бытовое стекло	200–500 (0,5–1,25)	500–1 300 (1,25–3,25)	При низком содержании сульфата в сырье, то <200 для сжигания газа. Цифры в верхнем диапазоне связаны с рециркуляцией пыли.
Специальное стекло (включая жидкое стекло)	200–500	500–1 200	Цифры в верхнем диапазоне связаны с рециркуляцией пыли.
Силикатные эмали (фритты)	<200 (0,1–0,5)	500–1 000	Сжигание нефти применяется редко.

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до 8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях, в стандартных условиях, и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

b)  $NO_x$ 

565. При производстве стекла оксиды азота в основном образуются в виде тепловых  $NO_x$  вследствие разложения соединений, содержащихся в сырье, и азота сжигаемого топлива под воздействием высокой температурой печи. Таким образом, некоторые параметры оказывают существенное влияние на уровень выбросов  $NO_x$ : вид и количество используемого топлива (природный газ, тяжелое нефтяное топливо), тип печи (с параллельно-поперечным направлением пламени, ванны печи с подковообразным пламенем; регенеративный, рекуперативный подогрев воздуха), температура плавления и вида получаемого стекла [1] [2]. Как правило, наиболее приемлемыми технологиями сокращения выбросов  $NO_x$  являются: первичные меры: кислородотопливное плавление, химическое восстановление топливом, селективное каталитическое восстановление (СКВ) и селективное некаталитическое восстановление (СНКВ). При сжигании в обогащенной кислородом атмосфере следует обращать особое внимание на энергоэффективность, чтобы не снизить потенциал уменьшения выбросов  $NO_x$  [1] [6].

566. Модификации первичного процесса основаны на применении следующих технологий или их сочетаний: снижение соотношения воздух – топливо (практически стехиометрическое сгорание), ступенчатое сжигание<sup>f</sup>, горелки с низким уровнем выбросов  $NO_x$  и герметичные горелки, а также смена вида топлива. К другим мерам относится работа печей практически в условиях восстановления и сведение к минимуму подачи воздуха горения. Последнее выполняется для того, чтобы повысить энергоэффективность и подавить образование  $NO_x$ . Обычно рекомендуется поддерживать 0,7–1% содержание  $O_2$  в стеклоплавильных печах и 1–2% концентрацию  $O_2$  в ваннах печах с подковообразным пламенем (измеряется на выходе камеры сгорания) и поддерживать максимально низкий уровень CO (от 200–300 до 1 000 частей на миллион CO максимум) [7] [8].

567. Вторичные технологии сокращения выбросов  $NO_x$  при изготовлении стекла следует применять в том случае, когда первичные меры не позволяют достичь требуемого уровня  $NO_x$ . К ним относятся химическое восстановление с помощью топлива, селективное каталитическое восстановление (СКВ) и редко используемое селективное некаталитическое восстановление (СНКВ) [8].

568. Для *тарного* стекла основными технологиями, которые могут рассматриваться как НИМ, являются первичные меры (модификации процесса сжигания), кислородотопливный обогрев, СНКВ или СКВ (другие технологии, позволяющие достичь предписываемого уровня выбросов, могут также считаться НИМ). Низкий уровень выбросов  $NO_x$  можно технически обеспечить, например, путем использования специальных стеклоплавильных печей или электрических печей. Однако эти технологии могут быть рентабельными только в определенных условиях. Более широко используемыми вариантами, которые, тем не менее, не следует рассматривать как наиболее предпочтительные для всех обстоятельств, являются кислородотопливный обогрев и предварительный подогрев сырья/стеклобоя.

569. Если такие вторичные технологии требуют отсрочки до следующего восстановительного ремонта, то многие печи, работающие на воздушно-топливной смеси, могут обеспечить достижение уровня выбросов в 600–850 мг/Нм<sup>3</sup> только при принятии первичных мер.

570. Для *листового* стекла НИМ являются первичные меры. Если другие технологии (например, СКВ) используются для достижения заданных уровней, их также можно рассматривать в качестве НИМ. Если эти технологии требуют от-

<sup>f</sup> Предполагается, что при установке новых горелок с низким выбросом  $NO_x$  применение этой меры будет прекращаться.

срочки до следующего восстановительного ремонта, многие печи, работающие на воздушно-топливной смеси, могут обеспечить достижение уровня выбросов  $<850 \text{ мг/Нм}^3$  только при модификации процесса сжигания.

571. Для *бытового стекла* сформулировать НИМ сложнее, поскольку в секторе к качеству продукта предъявляются более высокие требования, производиться меньше продукции и отмечаются более окислительные условия (более высокие уровни нитратов), что увеличивает вероятность выбросов  $\text{NO}_x$ . Для установок меньшего размера возможным вариантом могут быть печи с электрообогревом, которые также могут рассматриваться в качестве НИМ для свинцового стекла, художественного и матового стекла.

572. Предполагается, что в течение короткого периода с использованием мер первичного сжигания удастся сократить выбросы до 40% по сравнению с текущим уровнем. В среднесрочной перспективе ожидаемые значения находятся в пределах  $500\text{--}700 \text{ мг/Нм}^3$  при использовании следующих мер (или их сочетания), которые рассматриваются в качестве НИМ: первичные меры, кислородотопливное сжигание или СКВ (если затраты на них являются приемлемыми).

573. Для *специального стекла* значения НИМ основаны преимущественно на использовании кислородотопливной плавки и СНКВ или СКВ. Данный сектор отличается крайним разнообразием, а соответствующие технологии зависят от проблем, характерных для местных условий.

574. Для силикатных эмалей (фриттов) к НИМ относятся использование кислородотопливной плавки или воздушно-газовых систем, первичных или вторичных мер, которые могут способствовать достижению заданных уровней [1].

Таблица 59

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ в стеклоплавильных печах [1]**

Источник выбросов	Сочетание мер сокращения	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> , $\text{мг/Нм}^3$ (кг/т)	Примечания
Листовое стекло	НИМ (см. текст)	500–700 (1,5–1,75)	Переходный период до следующего восстановительного ремонта или существенное использование азотнокислых соединений: $<850$ (2,2)
Тарное стекло	НИМ (см. текст)	500–700 (0,5–1,1)	Переходный период до следующего восстановительного ремонта: 500–850 (0,9–1,3)
Специальное стекло	НИМ (см. текст)	500–700	
Бытовое стекло (свинцовое стекло, художественное стекло, матовое стекло)	Электрический обогрев	(0,2–1,0)	
	Модификации в краткосрочной перспективе: сжигание	1 000–1500 (2,5–3,5)	

Источник выбросов	Сочетание мер сокращения	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> (кг/т)	Примечания
	воздушно- топливной смеси		
	Среднесрочные предельные зна- чения: первичные меры, горение топлива в кисло- роде, СНКВ, СКВ	500–700 (0,5–1,75)	
Силикатные эмали (фритты)	Кислороднотоп- ливная плавка	(0,5–1,5)	
	Газо-воздушные системы и первичные/ вторичные меры	500–700	

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до 8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях, в стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

c) *Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)*

575. Выбросы пыли образуются на различных технологических этапах во всех подсекторах стекольного производства. Выбросы пыли в стекольной промышленности происходят преимущественно из печей и в меньшей степени при смешивании сырья (использовании размельченного, гранулярного или пылевидного сырья), а также чистовой обработке и обдувке стеклопродуктов. Выбросы пыли происходят из дозирочной установки в виде летучих компонентов, которые испаряются и конденсируются из сырья и стекломассы (в основном сульфата натрия), при смешивании отдельных видов ископаемого топлива, в небольших количествах при транспортировке материалов, погрузке-выгрузке, хранении и смешивании. Выбросы пыли в значительной мере зависят от вида используемого топлива, типа печи и вида получаемого стекла. Помимо природоохранных мер, в конце производственного цикла к возможным вариантам небольшого снижения выбросов пыли относятся: гранулирование стекольной шихты, смена системы нагрева с нагревания с помощью нефти/газа на электронагрев, загрузка большей части стеклянных отходов производства в сырье и тщательный выбор сырья (распределение частиц по классам) [2].

576. Выбросы пыли, образующиеся при транспортировке, хранении и смешивании, как правило, имеют более крупный дисперсный состав, чем выбросы при высокотемпературных процессах, которые, как правило, состоят из частиц размером <1 мкм. Выбросы при хранении можно сократить за счет закрытых скла-

дов, которые вентилируются с помощью надлежащего пылеочистного оборудования. При транспортировке надземными конвейерами их следует оснащать ветровыми щитами, необходимыми для предотвращения значительных потерь материала. Рассматриваемые системы можно проектировать таким образом, чтобы закрыть конвейер со всех сторон. При использовании пневмотранспорта важно обеспечить герметичность системы с фильтром для очистки воздуха транспортировки перед его сбросом. Для уменьшения выбросов пыли в процессе транспортировки и «переноса» мелких частиц из печи в сырье можно сохранять определенную влажность, обычно 3–4% [2].

577. В процессе плавления в электропечах периодического действия выбросы пыли значительно варьируются. Выбросы пыли из ванн хрустального стекла (<5 кг/т расплавленного стекла) превышают выбросы из других стекловых ванн (<1 кг/т расплавленного натриевого и калиевого стекла). Кислородотопливные горелки могут сократить объем выбросов отработанных газов и образование летучей золы на 60%. Наиболее важным средством уменьшения выбросов пыли из печей является использование систем, оборудованных либо электрофильтром, либо рукавным фильтром в сочетании с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа, где это целесообразно. Установка электрофильтров (ЭФ) может снизить выбросы пыли до 30 мг/м<sup>3</sup>, а тканевые (рукавные) фильтры способны уменьшить выбросы до уровня менее 10 мг/м<sup>3</sup>. Нормированные уровни выбросов при использовании этих технологий составляют 5–30 мг/Нм<sup>3</sup> (равен 0,1 кг/т расплавленной стекломассы), на основе типичного периода осреднения от 30 мин. до 24 часов. В отдельных случаях НИМ для выбросов металлов могут сократить уровни выбросов пыли [1] [2].

578. Для тарного, листового, бытового, технического стекла, стеклобоя в качестве НИМ сокращения выбросов пыли рассматривается использование электрофильтров или рукавных фильтров и, где это целесообразно, в сочетании с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа. В отдельных случаях применение НИМ сокращения выбросов металлов может снизить уровень выбросов пыли [1].

579. Согласно документам [11] [12] [14] стекловое производство не относится к крупным источникам выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ крайне скудны. Выбросы ЧУ обусловлены неполным сгоранием. Подобные ситуации не встречаются в стекловом производстве, в котором организован непрерывный процесс с высоким уровнем энергоэффективности. В документе [13] приводится коэффициент выбросов в размере 0,06% ОВЧ. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше НИМ для пыли, которые эффективны для тонкодисперсных частиц, будут также эффективны и для ЧУ.

Таблица 60

**Уровни выбросов при использовании НИМ в стеклоплавильных печах [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)
Тарное стекло	5–30 (<0,1)
Листовое стекло	5–30 (<0,1)
Бытовое стекло	5–30 (<0,1)
Специальное стекло	5–30
Силикатные эмали	5–30 (<0,1)

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до

8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях в стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

d) ЛОС

580. Выбросы ЛОС при производстве минерального волокна рассмотрены в разделе «Искусственные волокна» (раздел М главы VII). Для других операций по изготовлению стекла возможны незначительные выбросы летучих органических соединений, например, при нанесении покрытия холодным способом. Указанные выбросы не считаются существенными и в дальнейшем не рассматриваются.

e) Воздействия на другие среды

581. В отношении всех упомянутых выше технологий сокращения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

582. Для сектора производства стекла рециркуляция отфильтрованной пыли (включая сульфатные отходы) может увеличить выбросы SO<sub>x</sub>, а одновременная минимизация образования отходов и выбросов серы могут превратиться конфликтующими задачами (см. раздел L-3(a) главы VII).

#### 4. Новые методы

583. В среднесрочной перспективе не ожидается крупных технологических прорывов. К методам, которые уже не относятся к категории **инновационных** технологий, но которые, по всей вероятности, должны пройти дальнейшую доработку, относятся системы горелок с низким выбросом NO<sub>x</sub>, кислородотопливное плавление, предварительный подогрев стеклобоя и шихты, разработки, касающиеся состава сырья, интеграция процессов изготовления силикатных эмалей. Инновационными долговременными технологиями, применяющимися в экспериментальном порядке, являются системы с керамическими фильтрами и катализаторы, удаляющие в течение одной операции NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и пыль (CERCAT®), и ЭФ, в которых применяется очистки заряженными каплями воды (TRI-MER®) [1] [9].

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

Таблица 61

Затраты на внедрение технологий сокращения выбросов [1]

Технология сокращения	Капитальные затраты [тыс. евро] @ 100/300/600 [т/сутки]	Годовые эксплуатационные затраты [тыс. евро] @ 100/300/600 [т/сутки]	Удельные затраты [евро/тонну расплавленной стекломассы] @ 100/300/600 [т/сутки]
СКВ	615/1 000/1,800	64/123/330	4,98/2,83/2,99
СНКВ	280/450/1350	28/73/225	2,35/1,49/2,16

Технология сокращения	Капитальные затра- ты [тыс. евро] @ 100/300/600 [т/сутки]	Годовые эксплуатац- ионные затраты [тыс. евро] @ 100/300/600 [т/сутки]	Удельные затраты [евро/тону расплавленной стекломассы] @ 100/300/600 [т/сутки]
Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	100/180/550	21/35/72	1,34/0,72/0,83
Кислородотопливное сжигание	–300/–1,350/– 4,800	190/530/1,900	4,06/5,05/5,16
3R, включая ремонт и т.д.	– /270/680	– /185/285	2,87/2,28/1,91
3R, исключая ремонт	– /140/260	– /106/267	2,20/1,35/1,50
СКВ+фильтр	1500/2420/4550	108/200/470	10,2/5,75/5,78
Фильтр+скруббер	875/1420/2750	53/89/186	5,52/3,01/3,06

584. Значения производительности 100 [т/сутки] Тарное (11 120 м<sup>3</sup> дымовых га-  
зов/ч), 300 [т/сутки] тарное 23 000 м<sup>3</sup> дымовых газов/ч), 600 [т/сутки] полиро-  
ванное (70 000 м<sup>3</sup> дымовых газов/ч).

Таблица 62

**Эффективность очистки различных технологий сокращения NO<sub>x</sub>  
при производстве стекла [5]**

	Достижимое сокращение	Вторичные меры	Достижимое сокращение
Горелки с низким уровнем выбросов NO <sub>x</sub>	40%	3R процесс	85%
Ступенчатое сжигание	35%	СКВ	>70%
Кислородотопливное сжигание	<1кг NO <sub>x</sub> /т стекла	СНКВ	до 70%

Таблица 63

**Удельные затраты на различные сочетания фильтров (пыль) и скрубберов (SO<sub>x</sub>) в стеклоплавильных  
печах [10]**

Вид стекла	Производ- ство (т стек- ломассы в сутки)	ЭФ и сухой скруббер (CaOH) <sub>2</sub> Фильтр для рецир- куляции пыли [евро/т]	ЭФ и сухой скруббер (NaHCO <sub>3</sub> ) Фильтр для уда- ления пыли [евро/т]	ЭФ и сухой скруббер (NaHCO <sub>3</sub> ) Фильтр для уда- ления пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и сухой скруббер Фильтр для рецир- куляции пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и сухой скруббер Фильтр для уда- ления пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и полусухой скруббер Фильтр для рециркуля- ции пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и полусухой скруббер Фильтр для уда- ления пыли [евро/т]	Мокрый скруббер [евро/т]
Полированное	500	4,8	6,51			6	7–7,35	9,6 (газ)– 13 (нефть)	

Вид стекла	Производство (т стек- ломассы в сутки)	ЭФ и сухой скруббер (CaOH) <sub>2</sub> Фильтр для рецир- куляции пыли [евро/т]	ЭФ и сухой скруббер (CaOH) <sub>2</sub> Фильтр для удале- ния пыли [евро/т]	ЭФ и сухой скруббер (NaHCO <sub>3</sub> ) Фильтр для рецир- куляции пыли [евро/т]	ЭФ и сухой скруббер (NaHCO <sub>3</sub> ) Фильтр для удале- ния пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и сухой скруббер фильтр для рецир- куляции пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и сухой скруббер Фильтр для удале- ния пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и полусухой скруббер Фильтр для рециркуля- ции пыли [евро/т]	Рукавный фильтр и полусухой скруббер Фильтр для удале- ния пыли [евро/т]	Мокрый скруббер [евро/т]
Полированное	700	4,27	5,87	4,39	7,75	6,98				
Полированное	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Тарное	100–150	11	14							
Тарное	200		6,7			4,63–5,9	4,8–7			
Тарное (нефть)	200					6,4	9,25			
Тарное (нефть)	300–350	4,52–6	6,31–7,5		7,38–8,33	3,86–5	4,11–7,3	5,3	6,54	
Тарное	450	3,96–5,2	4,77–6,5			2,9	3,6			
Тарное (нефть)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Тарное (газ)	740	4	5,1							
Тарное (газ)	1 240	3,4	4,6							
Тарное (нефть)	1 240	3,7	6,2							
Посудное	30–35	15,65	16,7			12,85	13,84			
Посудное	180–200		7,66			3,75–4,35				
Е-стекло кисл.	100–120						11			14,4– 21,5*
Е-стекло воздух	100–120									15,7– 20,5*

\* Более высокие затраты на фильтр для удаления пыли составляют 400 евро/тонну.

Таблица 64

**Удельные затраты на различные методы сокращения выбросов NO<sub>x</sub> в стеклоплавильных печах [10]**

Вид стекла	Производство (т стек- ломассы в сутки)	СКВ [евро/т]	3R [евро/т]	СНКВ (реку- перативное) [евро/т]	Основные меры по сни- жению выбросов NO <sub>x</sub> ** [евро/т]	Расширенные меры по сни- жению выбросов NO <sub>x</sub> *** [евро/т]	Сжигание в чистом кис- лороде (евро/Нм <sup>3</sup> ) в печах с ди- насовым сво- дом* [евро/т]	Сжигание в чистом кислороде (евро/Нм <sup>3</sup> ) в печах с ли- тым сводом* [евро/т]
Полированное	500	3,3	6–6,25		0,85–1,1		6,83 (0,06)	11,35 (0,06)
Полированное	700	2,6–2,9	5,25–5,6			2,33		
Полированное	900	2,6			0,58	1,82		
Тарное	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Тарное	200–225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Тарное	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Тарное	450	1,84			0,47	1,09	5,18 (0,06)	7,16 (0,06)
Тарное поперечное направление пламени	450		3,73		1,02	1,5 расчет- ное		
Посудное (рекуперативное)	30–35	8					(при 0,10) – 4,32	



Вид стекла	Производ- ство (т стек- ломассы в сутки)	СКВ [евро/т]	3R [евро/т]	СНKB (реку- перативное) [евро/т]	Основные меры по сни- жению выбросов NO <sub>x</sub> ** [евро/т]	Расширенные меры по сни- жению выбросов NO <sub>x</sub> *** [евро/т]	Сжигание в чистом кис- лороде (евро/Нм <sup>3</sup> ) в печах с ди- насовым сво- дом* [евро/т]	Сжигание в чистом кислороде (евро/Нм <sup>3</sup> ) в печах с ли- тым сводом* [евро/т]
Посудное (регенеративное)	70						(при 0,10) +12,76	
Посудное (регенеративное)	100	4,9						
Посудное (регенеративное)	150					8 (сильный электро- подогрев)		
Посудное (регенеративное)	190				0,7			
Специальное стекло сжигание в кислороде	250			3,34				
Специальное стекло регенеративное сжигание	700			2,8				
Е-стекло	100			4,1			6,20 (0,08)	

\* В скобках приводится стоимость кислорода в евро за Нм<sup>3</sup>.

\*\* Основные меры по снижению выбросов NO<sub>x</sub>: регулируемые горелки, датчики концентрации кислорода, регулирование воздушно-топливной смеси.

\*\*\*Расширенные меры по снижению выбросов NO<sub>x</sub>: основные меры плюс модификация сопел горелок и камеры сгорания.

### Справочные материалы, использованные в разделе L главы VII:

1. European Commission (2001). *Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
2. Kraus, K. and others (2006). *Assessment of technological developments: Best Available Techniques and limit values*. Task Force on Heavy Metals, United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
3. Rentz, O. and others (1999). *Task force of the assessment of abatement options/techniques for NO<sub>x</sub> from stationary sources*. BAT background document. United Nations/Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
4. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2003). *Background document on the sector of glass industry*. Available from [http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_index.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm).
5. Department for Environment, Food and Rural Affairs (2006). *Sector Guidance Note IPPC SG2 - Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Glass-making Sector*. Available from <http://www.defra.gov.uk>.
6. United Nations Economic Commission for Europe (1999). *Guidance documents on control techniques and economic instruments to the Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone*.

7. Verein Deutscher Ingenieure (1999). *Emission control Glassworks*. ICS 13.040.01, VDI 2578.
8. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety. Guidelines for Glass Manufacturing*.
9. Commission of the European Communities (2009). *Contributing to sustainable development: The role of fair trade and non-governmental trade-related sustainability assurance schemes*. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament and the European Economic and Social Committee.
10. Beerkens (2007). *Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnace*. A study to support the revision of the IPPC reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry 2008, Ordered by CPIV, Brussels, Belgium.
11. United Nations Environment Programme, World Metrological Organization (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
12. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
13. Kupiainen, K. and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079
14. United States Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*.

## **М. Производство искусственных волокон**

### **1. Охват**

585. В сектор производства искусственного минерального волокна входят установки для изготовления непрерывного стекловолокна, минеральной ваты и теплоустойчивой изоляционной ваты плавильной мощностью более 20 т в сутки. К минеральной вате относятся изоляционные материалы на основе стекловаты и каменной ваты, т.е. произвольно переплетенные волокна, соединенные связующим веществом на основе смол [1] [2].

### **2. Источники выбросов**

586. Отдельные технологические операции и экологические проблемы в секторе производства искусственных волокон аналогичны операциям и проблемам в секторе производства стекла, а поэтому ниже приводится дополнительная информация об основных производственных технологиях, НИМ и т.д. сектора производства стекла.

587. *Непрерывное стекловолокно* производят в рекуперативных печах или печах, работающих на кислородно-топливной смеси. Стекло вытекает из печи в канал питателя и проходит через фильерные отверстия в дне печи. Стекломассу протягивают через фильеры, формируя непрерывные нити. Нити собирают вместе и подают на валки или конвейер, где на каждую нить наносят покрытие на водной основе. Нити с покрытием собирают в пучки (пряжи) для дальнейшей обработки.

588. Как правило, для производства *стекловаты* применяют электрические плавильные печи, рекуперативные печи с газовым нагревом, или печи, работающие на смеси кислорода и топлива. Стекломасса вытекает в передний горн и через отдельные выходные отверстия поступает во вращающиеся центробежные аппараты для намотки. Образование волокон происходит под воздействием центробежной силы и за счет раздувания газами факела. На волокна распыляется водный раствор фенольной смолы. Волокно с покрытием из смолы под вакуумом направляют на движущийся конвейер, который подает волокно в печь для сушки и отверждения продукта.

589. *Каменную вату*, как правило, производят в работающей на коксе вагранке с подогревом дутья. Расплавленный материал собирается в поде печи и далее направляется на намоточное устройство. Воздух используется для формирования волокон и их направления на конвейер; одновременно волокна обрабатываются водным раствором фенольной смолы с помощью распылительных сопел. В остальном, процесс протекает аналогично процессу для стекловаты.

590. *Керамические волокна* получают в электропечах. Вытягивание волокон из расплава осуществляется или с помощью вращающихся с высокой скоростью валков или с помощью форсунок высокого давления, а волокна подаются на транспортер. На данном этапе продукцию либо пакетируют, либо превращают в полотно, которое затем пакетируют как готовый продукт, или свойлачивают.

591. В дополнение к печам для производства стекловаты, работающим на смеси газа и кислорода, в секторе производства *минеральной ваты* в основном используются рекуперативные и электропечи.

592. Как и в стекольной промышленности, основными экологическими проблемами являются выбросы в атмосферу (сжигание в печах ископаемого топлива и окисление атмосферного азота при высокой температуре приводят к образованию выбросов  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  и пыли) и энергопотребление.

593. Кроме выбросов, присущих сектору производства стекла, существуют еще два крупных источника выбросов: зона формирования (нанесение связующего вещества на волокна) и печь для отверждения (высушивание и отверждение связующего вещества). В зоне формирования образуются выбросы пыли, фенола, формальдегида и аммиака, в печи для отверждения происходят выбросы летучих компонентов связующего вещества, продуктов распада и продуктов сгорания.

594. Для производства теплоизоляционной стекловаты используют только электропечи. Таким образом, наиболее существенными являются лишь выбросы пыли и – в меньшей степени – некоторых органических соединений [1] [2].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### а) $\text{SO}_2$

595. При производстве *каменной ваты* крупными источниками выбросов  $\text{SO}_2$  (в дополнение к коксу) являются использование шлака доменных печей и применение брикетов с цементным связыванием в шихте. Доступность кокса с низким содержанием серы и шлака определяется ограниченной поставкой в пределах экономически целесообразных расстояний транспортировки. Как правило, шлак можно удалять из большей части сырья (за исключением, например, «белых волокон» для отдельных областей применения). Использование брикетов отходов с цементным связыванием предусматривает баланс между минимизацией отходов и уменьшением выбросов  $\text{SO}_2$  [2].

596. Для *непрерывного стекловолокна* в качестве НИМ рассматривается использование вторичных мер сокращения выбросов пыли с помощью сухой или полу-

сухой очистки от кислого газа, если это применимо. Верхняя граница диапазона соответствует рециркуляции пыли (в ином случае можно ожидать получения лишь низких значений) [2].

597. При производстве *стекловаты* выбросы  $\text{SO}_2$  обычно бывают незначительными и без использования специального очистного оборудования, поскольку нагрев практически всех печей производится электрически или с помощью газа, а при этом уровни выбросов сульфатов крайне невелики. При использовании печей, работающих на нефтяном топливе, как правило, требуется очистка от кислого газа для защиты пылеулавливающего оборудования [2].

598. В случае производства *каменной ваты* приведенные значения для НИМ соответствуют условиям, когда приоритетной является утилизация производственных отходов. Если невозможно получить указанные значения, очистка от кислого газа может стать НИМ (сухая очистка может стать наиболее рентабельной) [2].

Таблица 65

**Уровни выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ в печах для производства волокон [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> (кг/т)		Примечания
	сжигание газа	сжигание нефти	
Непрерывное стекловолокно	<200; (0,9)	500–1 000 (2,25–4,5)	При присутствии сульфатов в шихте и сжигании газа уровни могут повышаться до 800 мг/Нм <sup>3</sup> (3,6 кг/т). При сжигании нефти верхний диапазон значений связан с рециркуляцией пыли
Стекловата	обычно, <50 (0,1)	300–1 000 (0,6–2,0)	Обычно, стекло с низким содержанием сульфатов
Каменная вата (сжигание кокса) при минимизации и утилизации отходов в качестве приоритета.	<600 (1,5) <1,100 (2,7) <1,400 (3,4)		а) загрузка камня б) 45% брикетов с цементным связыванием с) Цементные брикеты, включая отфильтрованную пыль
Каменная вата (сжигание кокса) при сокращении выбросов $\text{SO}_2$ в качестве приоритета.	<200 (0,5) <350 (0,8) <400 (1,0)		а) загрузка камня б) 45% брикетов с цементным связыванием с) Цементные брикеты, включая отфильтрованную пыль
Керамические волокна (электроплавка)	<0,5 кг/т расплава		Только электрические печи, концентрация зависит от конкретного случая

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до 8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях, в стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также при возникновении неисправностей в системах очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

b)  $NO_x$

599. Для *непрерывного стекловолокна* в качестве наиболее вероятного НИМ рассматривается кислородотопливная плавка, хотя об этом нельзя говорить с твердой уверенностью. Использование СКВ маловероятно в ближайшем будущем вследствие возможной конденсации боратов в катализаторе. При сжигании в обогащенной кислородом среде следует обращать особое внимание на энергоэффективность, чтобы не снизить потенциал уменьшения выбросов  $NO_x$ .

600. В *производстве стекловаты* в качестве НИМ сокращения выбросов  $NO_x$  рассматривается сжигание в кислородной среде или, предпочтительно, электроплавка; стандартное сжигание в сочетании с первичными или вторичными мерами также можно считать НИМ в случае, если достигаемые выбросы находятся в соответствующих пределах.

601. Вагранки для получения каменной ваты, как правило, не относятся к источникам значительных выбросов  $NO_x$ , но в случае использования ваннных печей уровни выбросов  $NO_x$  при применении НИМ соответствуют уровням, приведенным для производства стекловаты [2].

Таблица 66

**Уровни выбросов  $NO_x$  при применении НИМ в печах для производства волокон [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Примечания
Непрерывное стекловолокно, сжигание в кислороде	(0,5–1,5)	
Непрерывное стекловолокно, кроме топливокислородного сжигания	500–700	Сектор находится в переходном периоде в том, что касается борьбы с выбросами $NO_x$ ; как правило, выбросы превышают 1 000 мг/Нм <sup>3</sup> (4,5 кг/т); при стандартном сжигании возможны уровни 800 мг/Нм <sup>3</sup> (3,6 кг/т)
Стекловата	500–700 (0,5–1,4)	
Каменная вата	(0,5)	Для ваннных печей: см. уровень для стекловаты
Керамическое волокно	(<0,1–0,5)	

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до 8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

с) *Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)*

602. Многие положения раздела, касающегося производства стекла (раздел L главы VII), справедливы и для производства искусственных волокон, например кислородотопливные горелки могут уменьшить объем отработанного газа и летучей пыли на 60%. Технологии, применяемые на конечном этапе производственного цикла для предотвращения и подавления выбросов пыли, в большинстве случаев включают в себя применение электрофильтров (ЭФ), уменьшающих выбросы до  $30 \text{ мг/м}^3$ , и тканевых (рукавных) фильтров, уменьшающих выбросы до уровня менее  $10 \text{ мг/м}^3$  [1].

603. В случае *непрерывного стекловолокна* НИМ для пыли является использование электрофильтров или рукавных фильтров, работающих, если это целесообразно, в тандеме с системами сухой или полусухой очистки от кислого газа. Для данного сектора охлаждение отработанного газа и размещение очистного оборудования крайне важны для оптимизации эффективности. Если существующее оборудование позволяет снизить уровень выбросов до  $50 \text{ мг/Нм}^3$ , затраты на замену до следующего восстановительного ремонта могут стать несоразмерно высокими в сравнении с получаемыми преимуществами [2].

604. Для производства *минеральной ваты (стекловата и каменная вата)* в качестве НИМ рассматривается использование электрофильтров или рукавных фильтров, в то время как использование систем очистки от кислого газа не является необходимым в связи с преобладанием электронагрева или газового нагрева. Для заключительных технологических процессов в качестве НИМ рассматривается использование мокрого электростатического скруббера, насадочного скруббера или фильтра из каменной ваты (только для процессов производства каменной ваты).

605. При производстве *стекловаты* охлаждение отработанного газа и место размещения системы очистки крайне важны для оптимизации эффективности. Если существующее оборудование позволяет снизить уровень выбросов до  $50 \text{ мг/Нм}^3$ , затраты на замену до следующего восстановительного ремонта могут стать несоразмерно высокими в сравнении с получаемыми преимуществами.

606. В производстве *керамического* волокна в качестве НИМ рассматривается электроплавка с использованием системы мешочных фильтров [1].

607. Согласно документам [4] [5] [6] производство искусственных волокон не считается крупным источником выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ крайне малочисленны. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше методы НИМ в отношении пыли, эффективные для тонкодисперсных частиц, эффективны и для ЧУ.

Таблица 67

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ в печах для производства искусственных волокон [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup> или (кг/т)</i>	<i>Примечания</i>
Непрерывное стекловолно	5–30; (<0,14)	Электростатический пылеуловитель или рукавный фильтр (плюс, если это целесообразно, сухой или полусухой скруббер для очистки от кислого газа) Если существующее оборудование обеспечивает достижение уровня 50 мг/Нм <sup>3</sup> , затраты на крупную реконструкцию до следующего восстановительного ремонта могут оказаться несоразмерно высокими
Стекловата	5–30 (<0,1)	Электростатический пылеуловитель или рукавный фильтр
Каменная вата		Если существующее оборудование обеспечивает снижение выбросов до уровня 50 мг/Нм <sup>3</sup> , затраты на крупную реконструкцию до следующего восстановительного ремонта могут оказаться несоразмерно высокими
Операции в конце технологического цикла установок по производству минеральной ваты	20–50 5–30	Совместное формирование и отверждение Печи для отверждения каменной ваты
Керамические волокна	<10	

*Примечание:* Для горючих газов: сухие, 8% концентрация кислорода по объему (печи непрерывного действия), 13% концентрация кислорода по объему (печи периодического действия). Для кислородотопливных систем значение выбросов, скорректированное до 8% концентрации кислорода, является незначительной величиной, а выбросы из этих систем следует рассматривать в пересчете на массу.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

*d) ЛОС*

608. При производстве искусственных минеральных волокон выбросы ЛОС можно сократить путем перехода на связующие с низким содержанием органических растворителей и/или путем адсорбции и сжигания ЛОС.

609. Для производства *каменной ваты* в качестве НИМ рассматривается использование установки термического окисления сернистых соединений для сокращения выбросов из печи для отверждения.

610. В таблице 67 приведены уровни выбросов, которые можно получить при переходе со стандартных связующих веществ на соединения с измененным со-

ставом, и за счет подавления выбросов, образующихся на этапах формирования и отверждения (каталитическое окисление сернистых соединений или адсорбция, предшествующая осаждению пыли) [1].

Таблица 68

**Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в производстве волокон [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup> или (кг/т)</i>	<i>Примечания</i>
Стекловата	10–50 (0,12) [1]	Зона формирования и совместные выбросы в результате формирования и отверждения
Каменная вата	<10	Печи для отверждения: в качестве НИМ рассматривается установка для теплового окисления
Керамическое волокно	10–20	

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

*e) Воздействие на другие среды*

611. В отношении всех упомянутых выше технологий сокращения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

#### 4. Новые методы

612. К новым методам относится применение плазменной печи, в которой используется электропроводность расплавленной стекломассы и при работе которой образуются крайне незначительные выбросы пыли. Однако предполагается, что подобная технология плавки не получит широкого практического применения в обозримом будущем.

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

613. Общие данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов см. в разделе L главы VII (производство стекла).



Таблица 69

**Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов  
(только для производства волокон) [1]**

Технология сокращения	Стандартный расход Нм <sup>3</sup> /ч	NO <sub>x</sub> мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Пыль мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	ЛОС мг/Нм <sup>3</sup> или (кг/т)	Инвестиции в новый процесс млн. евро	Инвести- ции в суще- ствующий процесс млн. евро	Операци- онные рас- ходы млн. евро/год
Контактный скруббер + циклон	150 000–300 000		50 (1,8)	30 (1,8)	1,3+30%	1,6+40%	0,1+0,02
Контактный скруббер + циклон + МЭП	150 000–300 000		20 (1,2)	30 (1,8)	3,8+30%	4,6+40%	0,12+0,02
Контактный скруббер + циклон +НС	150 000–300 000		50 (1,8)	25 (1,8)	3,5+30%	4,2+40%	0,21+0,02
Фильтр со вставкой из каменной ваты	150 000–250 000		20 (0,7)	25 (1,0)	1,3+30%	1,5+30%	0,2+0,1
Печь для сжигания отходов	150 000–300 000	200 (0,6)	20 (0,1)	10 (0,04)	1,3+40%	1,6+30%	0,2+0,1
Дымовая труба	150 000–300 000				0,7+40%	0,8+40%	

### Справочные материалы, использованные в разделе М главы VII:

1. Kraus, K. and others (2006). *Assessment of technological developments: Best Available Techniques and limit values*. Task Force on Heavy Metals. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
2. European Commission (2001). *Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
3. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2003). Background document on the sector of glass industry. Available from [http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei\\_index.htm](http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm).
4. United Nations Environment Programme, World Metrological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
5. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014)
6. United State Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*.

## **N. Керамика**

### **1. Охват**

614. В данном секторе рассматриваются промышленные установки для изготовления керамических изделий путем обжига, в частности черепицы, кирпичей, огнеупорных кирпичей, плитки, гончарных изделий и фарфора, производительностью более 75 т в сутки и/или производительностью печи более 4 м<sup>3</sup> при плотности усадки в расчете на печь свыше 300 кг/м<sup>3</sup> [1].

### **2. Источники выбросов**

615. Для изготовления керамических изделий используются различные типы печей и широкий круг сырья. Однако общая технология изготовления керамических изделий остается достаточно единообразной, за исключением некоторых изделий, для производства которых используется многоступенчатый обжиг [1].

616. К основным технологическим процессам относятся:

- a) подготовка керамической массы и смешивание компонентов;
- b) формование изделия, отделка;
- c) сушка изделия;
- d) обжиг изделия;
- e) чистовая обработка изделий;
- f) добавление вспомогательных материалов [2].

617. Как правило, керамическую массу смешивают и отправляют в формующий пресс или разливают по формам под давлением. Воду, используемую для тщательного смешивания и формования, выпаривают в сушилках; при этом изделия помещают в печь либо вручную (особенно в периодические печи с подвижным подом), либо на вагонетках, в туннельные печи или в печи с роликовым подом непрерывного действия. Для изготовления керамзита применяют печи с роликовым подом. При обжиге необходимо тщательно выдерживать точный температурный градиент, чтобы обеспечить правильную обработку изделий. В настоящее время для обжига в основном используют природный газ, сжиженный нефтяной газ и легкое дистиллятное топливо, а в качестве источника энергии для горелок можно также применять тяжелое нефтяное топливо, сжиженный природный газ, электроэнергию, получаемую от сжигания биогаза/биомассы, и твердое топливо. К основным экологическим проблемам относятся атмосферные выбросы в пыли, а также газообразные выбросы (оксиды углерода, оксиды азота, оксиды серы и т.д.) [1] [3].

### **3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)**

618. Сокращения выбросов всех перечисленных ниже загрязнителей можно добиться путем уменьшения энергопотребления. Для этого в качестве НИМ рассматривается сочетание следующих технологий:

- a) усовершенствование конструкции печей и сушилок;
- b) рекуперация избыточного тепла печей, особенно тепла из зоны охлаждения;
- c) переход на другой вид топлива в процессе обжига печи (замена тяжелого нефтяного топлива и твердого топлива);
- d) модифицирование свойств керамических материалов.

619. Кроме того, в качестве НИМ рассматривается сокращение первичного энергопотребления путем применения когенерации с учетом потребностей в полезной теплоте в рамках рентабельных схем регулирования энергопотребления [1].

a)  $SO_2$

620. Выбросы  $SO_2$ , содержащегося в отработанном газе керамических печей, определяются содержанием серы в топливе и отдельных сырьевых материалах (сульфат кальция, пирит, и т.д.). Однако наличие карбонатов в сырье может снизить выбросы серы. Как правило, технологии сокращения выбросов  $SO_2$  включают в себя использование топлива с низким содержанием серы (например, природного газа или сжиженного природного газа), сырья с низким содержанием серы и присадок с низким содержанием серы. Дальнейшее сокращение выбросов возможно за счет оптимизации процесса нагрева и снижения температуры обжига, а также применения сухих или мокрых скрубберов [4].

Таблица 70

**Уровни выбросов  $SO_2$  при применении НИМ в производстве керамических изделий [1]**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Дымовые газы	<500	Содержание серы в сырье <0,25%
при топочном процессе	500–2 000	Содержание серы в сырье >0,25%; более высокий уровень применим только к сырью с крайне высоким содержанием серы

Примечание: Исходные условия – содержание кислорода 18%.

В руководстве МФК приводится общее значение, равное 400 мг/Нм<sup>3</sup>, для печей, выпускающих керамическую плитку, при 10%  $O_2$  или 110 мг/Нм<sup>3</sup> при 18%  $O_2$ .

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

b)  $NO_x$

621. Технологии сокращения выбросов газообразных соединений при изготовлении керамических изделий можно обобщить следующим образом: уменьшение ввода прекурсоров загрязнителей (сырье и добавки) и оптимизация кривой нагрева (оптимальные пиковые температуры пламени, компьютеризированное управление топочным процессом).

622. Для керамзита в качестве НИМ рассматривается поддержание выбросов из вращающейся печи на уровне ниже нормированного значения НИМ путем сочетания первичных мер/технологий [1] [4].

Таблица 71

**Уровни выбросов NO<sub>x</sub> при применении НИМ для сокращения выбросов дымовых газов в печах керамического производства [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup></i>	<i>Примечания</i>
Дымовые газы топочного процесса	<250	Среднесуточное значение выражено в пересчете на NO <sub>2</sub> при температурах печного газа ниже 1 300 °C
	<500	Среднесуточное значение выражено в пересчете на NO <sub>2</sub> при температурах печных газов 1 300 °C или выше
Дымовые газы топочного процесса (керамзит)	<500	Среднесуточное значение

*Примечание:* Исходные условия – содержание кислорода 18%.

В руководстве МФК приводится общее значение, равное 400 мг/Нм<sup>3</sup>, для печей, выпускающих керамическую плитку, при 10% O<sub>2</sub> или 164 мг/Нм<sup>3</sup> при 18% O<sub>2</sub>.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

c) *Пыль (включая PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> и ЧУ)*

i) *НИМ общего характера*

623. Обработка глины и другого сырья для производства керамики неизбежно приводит к образованию пыли; так, сушка, дробление, механическое измельчение, просеивание, смешивание и транспортировка конвейерами могут сопровождаться выбросами тонкодисперсной пыли; увеличению подобных выбросов способствует также сжигание топлива. В то время как выбросы диффузной пыли следует минимизировать путем принятия соответствующих мер (использование складов для бестарного хранения пылеобразных порошковых материалов или закрытых площадок хранения в пределах зданий, или закрытых контейнеров/упаковки), для организованных выбросов пыли в качестве НИМ рассматривается использование тканевых фильтров.

624. Для процессов сушки в качестве НИМ рассматриваются очистка сушилок для предотвращения накопления остатков пыли в сушилках и использование соответствующих протоколов технического обслуживания.

625. Для сжигания топлива в печах в качестве НИМ рассматриваются использование малозольного топлива, минимизация образования пыли при загрузке изделий в печь и применение очистки дымовых газов фильтрами или насадочными скрубберами-абсорберами [1] [2].

626. Согласно документам [6] [7] производство керамики не считается крупным источником выбросов ЧУ. Однако данных о выбросах ЧУ мало. Как отмечалось в разделе А главы VI, выбросы ЧУ образуются при неполном сгорании и во время запуска. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше меры НИМ в отношении пыли, эффективные для тонкодисперсной пыли, эффективны и для ЧУ.

## ii) Узкоотраслевые НИМ

627. Для настенной и напольной плитки, бытовой керамики, сантехники и технической керамики, глазурированных керамических труб в качестве НИМ рассматривается уменьшение организованных выбросов пыли при процессах напыления глазури путем применения тканевых фильтров или спеченных многослойных фильтров.

628. При производстве настенной и напольной плитки, бытовой керамики, технической керамики в качестве НИМ рассматривается сокращение организованных выбросов пыли при процессах распылительной сушки путем применения тканевых фильтров или циклонов в сочетании с мокрыми скрубберами для существующих установок, если возможно повторное использование промывочной воды.

629. При производстве керамзита в качестве НИМ рассматривается сокращение организованных выбросов из горячих отработанных газов путем применения электрофильтров или мокрых пылеуловителей.

630. В производстве настенной и напольной плитки в качестве НИМ рассматривается уменьшение выбросов пыли из дымовых газов в процессе сжигания топлива в печи путем очистки дымовых газов с помощью тканевых фильтров [1].

Таблица 72

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ в производстве керамики [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup></i>	<i>Примечания</i>
<i>НИМ общего характера</i>		
Организованные выбросы при операциях, кроме сушки, распылительной сушки или сжигания	1–10	Получасовое среднее значение при применении тканевых фильтров; при определенных условиях может быть выше
Процессы сушки	1–20	Среднесуточное значение
Сжигание топлива	1–20	Среднесуточное значение; очистка дымовых газов с помощью фильтра,
	<50	среднесуточное значение; очистка дымовых газов с помощью каскадных насадочных абсорбиров
<i>Узкоотраслевые НИМ</i>		
Распылительное нанесение глазури (Для настенной и напольной плитки, бытовой керамики, сантехники, технической керамики, глазурированных керамических трубы)	1–10	

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Распылительная сушка (для настенной и напольной плитки, бытовой керамики и технической керамики)	1–30 1–50	Получасовое среднее значение; тканевые фильтры Циклоны в сочетании с мокрыми пылеуловителями для существующих установок, если возможно повторное использование промывочной воды
Керамзит	5–50	Среднесуточное значение
Сжигание топлива (для настенной и напольной плитки)	1–5	Среднесуточное значение

Примечание: Исходные условия – содержание кислорода 18%.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях, в стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

#### d) ЛОС

631. Выбросы летучих органических веществ (ЛОС) обусловлены неполным сгоранием и присутствием органических материалов в сырье (например, связующих веществ, пластификаторов, смазочных веществ).

632. В производстве кирпичей и черепицы, огнеупорных материалов, технической керамики и минеральных абразивных наполнителей в качестве НИМ рассматривается очистка дымовых газов от выбросов ЛОС в процессе сжигания топлива при концентрации неочищенного газа свыше 100–150 мг/м<sup>3</sup> и в зависимости от характеристик неочищенного газа, например состава, температуры, до нормированного значения НИМ путем термического дожигания в одно- или трехкамерном термореакторе.

633. Для огнеупорных изделий, обрабатываемых органическими веществами, в качестве НИМ рассматривается очистка от выбросов небольших объемов отработанных газов при обработке органическими веществами путем применения фильтров с активированным углем. При больших объемах газов в качестве НИМ рассматривается сокращение выбросов ЛОС при обработке органическими веществами путем термического дожигания [1] [5].

Таблица 73

#### Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в производстве керамики [1]

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> мг/Нм <sup>3</sup>	Примечания
Дымовые газы в процессах сжигания при производстве кирпичей и черепицы, огнеупорных материалов, технической керамики, минеральных абразивных наполнителей	5–20	Для концентраций неочищенного газа свыше 100–150 мг/м <sup>3</sup> ; в качестве среднесуточного значения (общий С); путем применения дожигания в одно- или трехкамерном термореакторе

<i>Источник выбросов</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ<sup>a</sup> мг/Нм<sup>3</sup></i>	<i>Примечания</i>
Огнеупорные материалы	5–20	Термальное дожигание

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ выражены в среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

*е) Воздействие на другие среды*

634. В отношении всех упомянутых выше технологий сокращения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

#### 4. Новые методы

635. Использование радиантных трубчатых печей (горелки размещены внутри термостойкой трубчатой секции; технология находится в стадии разработки) может способствовать снижению выбросов HF и SO<sub>2</sub>. Обогрев с дополнительным микроволновым подогревом и применение микроволновых сушильных устройств преследуют цель сократить циклы обжига и уменьшить количество избыточного тепла. Крупные огнеупорные изделия можно сушить с большой эффективностью путем помещения нагревательных элементов из стальной фольги или углеродных волокон в огнеупорную массу [1].

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

Таблица 74

**Данные о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов в производстве керамики [1]**

<i>Система/тип очистки</i>	<i>Область применения</i>	<i>Абсорбент/адсорбент</i>	<i>Стандартные размеры/расходы в керамической промышленности (фактич. м<sup>3</sup>/час)<sup>a</sup></i>	<i>Примерные инвестиционные предписания (евро)</i>	<i>Техническое обслуживание (евро/год)</i>	<i>Расходы на сорбенты (евро/т) (евро/год)</i>	<i>Эксплуатационные расходы (евро/т)</i>
<i>Сокращение выбросов пыли</i>							
Тканевый фильтр/рукавный фильтр	Все зоны установки, зоны подготовки, транспортировки, хранения, формования и места перегрузки и т.д.		900 до 70 000	6 000–150 000 (в зависимости от размера и количества трубопроводов)			0,03–0,1
Основной вакуумный пылеуловитель	Все зоны установки, зоны подготовки, транспортировки, хранения, формования и места перегрузки и печные вагонетки и т.д.		900 до 1 000	25 000–65 000 (в зависимости от количества трубопроводов)			

Система/тип очистки	Область применения	Абсорбент/адсорбент	Стандартные размеры/расходы в керамической промышленности (фактич. м <sup>3</sup> /час) <sup>a</sup>	Примерные инвестиционные предписания (евро)	Техническое обслуживание (евро/год)	Расходы на сорбенты (евро/т) (евро/год)	Эксплуатационные расходы (евро/т)
Система очистки печных теплежек (в различном исполнении: неподвижное сопло, подвижное сопло, подъем и регулировка плато)	Печные вагонетки		8 000 до 30 000	40 000–200 000 (в зависимости от размера и исполнения)			
Электростатический пылеуловитель	Очистка горячих и крупных потоков отработанных газов от пыли		до 100 000	1 000 000–(3 000 000)			0,1–0,2
Сокращение выбросов минеральных газообразных соединений							
Модульная система	В основном сокращение выбросов HF	Ca(OH) <sub>2</sub> Пористый	Очень низкие расходы	45 000–100 000	~500	~46 000 евро/год	
Каскадный насадочный абсорбер	В основном сокращение выбросов HF	CaCO <sub>3</sub>	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	40 000–500 000	~2 000	30–55 евро/т (поставленную) 4 000–30 000 евро/год	23 400–4 800
Каскадный насадочный абсорбер	В основном сокращение выбросов HF, HCl и SO <sub>2</sub>	Модифицированный/готовый абсорбент	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	40 000–500 000	~2 000	95–110 евро/т (поставленную) до 60 000 евро/год	
Противоточный насадочный абсорбер/групповой	В основном сокращение выбросов HF, HCl и SO <sub>2</sub>	CaCO <sub>3</sub> и модифицированный/готовый абсорбент	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	80 000–800 000	~2 500	30–55 евро/т (поставленную) соответственно 95–110 евро/т (поставленную)	
Сухая сорбция с тканевым фильтром (поточная система)	В основном сокращение выбросов HF, HCl, SO <sub>2</sub> и пыли	Ca(OH) <sub>2</sub> различного качества	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	80 000–1 000 000	~4 000	95–110 евро/т (поставленную) 8 000–45 000 евро/год	107 500–130 700
Сухая сорбция с тканевым фильтром (поточная система) с кондиционированием продуктов реакции	В основном сокращение выбросов HF, HCl, SO <sub>2</sub> и пыли	Ca(OH) <sub>2</sub> различного качества (с небольшим количеством добавленной воды)	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	200 000–1 600 000	~6 500	95–110 евро/т (поставленную) 8 000–45 000 евро/год	107 500–130 700



Система/тип очистки	Область применения	Абсорбент/адсорбент	Стандартные размеры/расходы в керамической промышленности (фактич. м <sup>3</sup> /час) <sup>a</sup>	Примерные инвестиционные предписания (евро)	Техническое обслуживание (евро/год)	Расходы на сорбенты (евро/т) (евро/год)	Эксплуатационные расходы (евро/т)
Мокрый скруббер	В основном сокращение выбросов HCl и SO <sub>2</sub>	Водный раствор щелочи	2 500 до 140 000 (без нижнего или верхнего предела)	400 000–2 000 000	до 8 000	95–110 евро/т (поставленную) 8 000–45 000 евро/год + вода	
Сокращение выбросов ЛОС							
Термическое дожигание в терморекторе (внешнем)	Сокращение выбросов ЛОС		10 000–50 000	180 000–420 000	500–4 500		
Внутреннее сжигание газа карбонизации	Сокращение выбросов ЛОС			42 000–300 000	500–8 000		

*Примечание:* В колонке «стандартные размеры/расходы» и в колонке «примерные инвестиционные предписания» приводятся диапазоны значений. Разумно допустить, что небольшие значения фактических м<sup>3</sup>/ч соответствуют низким значениям капитальных затрат в евро и что высокие значения фактических м<sup>3</sup> соответствуют высоким капитальным затратам в евро. Поскольку увеличение этих величин происходит нелинейно, обычно чем больше фактических м<sup>3</sup>/час подвергаются очистке, тем меньше капитальных затрат приходится на фактический м<sup>3</sup>.

<sup>a</sup> Расходы выражены в фактических м<sup>3</sup> (фактический м<sup>3</sup> в отличие от стандартного м<sup>3</sup>, в стандартных условиях), поскольку необходимо очищать фактические объемы домовых газов.

## Справочные материалы, использованные в разделе N главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference Document on Best Available Techniques in the Ceramics Manufacturing Industry: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.htm>.
2. Department for Environment, Food & Rural Affairs (2007). Sector Guidance Note IPPC SG7 - Secretary of State's Guidance. *Ceramics Sector including Heavy Clay, Refractories, Calcining Clay and Whiteware*. Available from <http://www.defra.gov.uk>.
3. Rentz, O. and others (2002). *Exemplarische Untersuchung der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Keramischen Industrie unter Beachtung der IVU-Richtlinie und der Erstellung von BVT-Merkblättern*, DFIU-IFARE Karlsruhe, report on behalf of Umweltbundesamt. Germany, pp. 221.
4. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing*.
5. United States Environmental Protection Agency (1995). *Glass Manufacturing*. AP-42 sect. 11.15, Washington, DC.
6. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
7. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary

Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).

## О. Производство целлюлозы<sup>g</sup>

### 1. Охват

636. В настоящей главе рассмотрены наиболее распространенные сульфатный (крафт-процесс) и сульфитный способы получения целлюлозы. Производство целлюлозы [3] является источником выбросов оксида азота ( $\text{NO}_x$ ), диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) и пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  и черный углерод).

### 2. Источники выбросов

637. Для химических процессов получения целлюлозы, например крафт-процесса и сульфитной варки, требуется древесина. Вначале древесина окорковывается, затем рубится на щепу и сортируется. Отсортированную мелочь можно использовать в процессе в качестве твердого топлива или продавать для применения в других целях.

638. Затем отсортированную щепу варят в варочном котле, в который в зависимости от процесса добавляются различные химикаты. Варка может осуществляться либо непрерывным, либо периодическим способами.

639. *Сульфатная варка, или крафт-процесс*, является наиболее распространенным процессом получения целлюлозы, поскольку его отличают высокое качество получаемого продукта и возможность применения в процессе всех видов древесины.

640. В ходе крафт-процесса щепы подвергается делигнификации путем обработки раствором белого щелока для растворения лигнина. Белый щелок состоит из гидроксида натрия и сульфида натрия.

641. Полученная целлюлоза содержит волокна и использованный варочный щелок (черный щелок). Черный щелок удаляют из целлюлозы на этапе промывки и направляют на выпарку. В ходе процесса выпарки происходит рекуперация химических веществ и энергии. Как правило, система рекуперации позволяет самостоятельно обеспечить теплом и энергией весь производственный процесс.

642. По завершении варки удаление лигнина можно продолжить путем кислородной делигнификации. Затем проводится очистка целлюлозы.

643. Следующим этапом процесса является отбеливание, необходимое только для получения белой целлюлозы в ходе крафт-процесса. Отбеливание, как правило, происходит в несколько отдельных последовательных этапов (4–5). В ходе данных этапов в качестве отбеливателя можно использовать диоксид хлора, кислород, озон и перекись водорода.

644. После отбеливания целлюлозу очищают.

645. В зависимости от специализации завода, целлюлозный или целлюлозно-бумажный завод, полученную целлюлозу сушат для транспортировки или используют непосредственно в полученном виде [1] [3].

646. После варки черный щелок извлекают и направляют на выпарку. Для использования в качестве рабочего топлива восстановленный черный щелок дол-

<sup>g</sup> Информация, включенная в эту подглаву, основывается на БРЕФ для целлюлозно-бумажной промышленности [1], который в настоящее время пересматривается в Институте перспективных технологических исследований в Севилье (ИПИТИ).

жен подвергнуться выпариванию. Его выпаривают до концентрации сухих веществ 65–75%. В процессе выпаривания происходит улавливание неконденсирующихся газов и конденсатов. Неконденсирующиеся газы сжигают вместе с дурнопахнущими газами, а конденсаты очищают и используют в качестве химических реагентов при промывке целлюлозы.

647. Концентрированный черный щелок сжигают в котле-утилизаторе для извлечения натрия и серы в подходящей химической форме для регенерации химических веществ, используемых для варки целлюлозы, и рекуперации тепла дымовых газов [1] [3].

648. Система рекуперации также позволяет регенерировать химические вещества; твердый остаток из котла-утилизатора извлекают и растворяют в воде или белом щелоке. Затем происходит очистка раствора и его каустизация до образования гидроксида натрия, который затем используют для производства белого щелока.

649. Карбонат кальция, полученный при рекуперации, используют в известково-обжигательной печи для регенерации извести.

650. Источниками выбросов в атмосферу в ходе данного процесса в основном являются котлы-утилизаторы, известково-обжигательные печи для обжига извести, вспомогательные котлы и сушка целлюлозы.

651. Котел-утилизатор является основным источником выбросов в ходе крафт-процесса. Котел заправляют концентрированным черным щелоком. Выделяются  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  и пыль, коэффициент выбросов зависит от эффективности сжигания и содержания серы в черном щелоке. *Известково-обжигательная печь* также является источником выбросов (см. раздел К-2 главы VII).

652. В крафт-процессе в качестве вспомогательных используются коревой котел и другие типы котлов, позволяющие удовлетворить спрос на энергию при производстве целлюлозы. Указанные типы котлов работают на твердом, жидком или газообразном топливе [1].

653. *Сульфитную варку* используют реже, чем крафт-процесс, вследствие более низкого качества получаемой целлюлозы и возможности использовать только отдельные виды древесины.

654. При сульфитной варке применяются те же процессы, но используются иные химикаты. Поэтому на этапах рекуперации и регенерации имеются незначительные отличия.

655. Белый щелок, добавляемый в варочный котел, состоит из сульфита и бисульфита магния. Этап варки большую часть времени осуществляется периодически.

656. Аналогично крафт-процессу в этом процессе осуществляется рекуперация химических веществ и энергии, что позволяет обеспечить самодостаточность всего производственного процесса с точки зрения тепла и энергии.

657. Источники выбросов в атмосферу в этом процессе аналогичны источникам в крафт-процессе, а котел-утилизатор также является основным источником выбросов [1].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

658. Если не указано иное, данные выражают в среднегодовые значения в стандартных условиях, а исходное содержание кислорода при этом составляет:

- а) 6% при использовании твердого топлива или биотоплива;

b) 3% при использовании жидкого или газообразного топлива.

a) SO<sub>2</sub>

i) Крафт-процесс

659. Котел-утилизатор является главным источником выбросов SO<sub>2</sub>. Поэтому НИМ снижения выбросов SO<sub>2</sub> при производстве целлюлозы в первую очередь является сокращение выбросов из данного котла.

660. Дурнопахнущие газы из варочного котла, образующиеся на этапе делигнификации или выпаривания черного щелока, необходимо улавливать и сжигать в известково-обжиговой печи, котле-утилизаторе или вспомогательных котлах. Выбросы при сжигании необходимо подавлять.

661. Сжигание в котле-утилизаторе черного щелока с высокой концентрацией сухих твердых веществ является первичной мерой сокращения выбросов SO<sub>2</sub>. Высокая концентрация сухих твердых веществ >75% позволяет значительно сократить выбросы.

662. Для сокращения выбросов SO<sub>2</sub> из котла-утилизатора в качестве вторичной меры для очистки дымовых газов можно использовать мокрый скруббер. Такая очистка обеспечивает удаление SO<sub>2</sub> и пыли. Показатель pH контролируется и регулируется путем добавления щелока или гидроксида натрия. SO<sub>2</sub> вступает в реакцию со смачивающей жидкостью, образуя сульфит натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) или сульфат натрия (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Обычная эффективность очистки составляет >90%. При исходных уровнях концентрации 50–200 мг/Нм<sup>3</sup> можно добиться уровней 10–50 мг/м<sup>3</sup>.

663. Уменьшение выбросов SO<sub>2</sub> из других котлов предполагает использование топлива с низким содержанием серы или применение скруббера для борьбы с выбросами [1].

664. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ в крафт-процессе получения целлюлозы с использованием различных технологий.

Таблица 75

**Уровни выбросов SO<sub>2</sub> при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг S/Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% O <sub>2</sub> )	Система очистки от SO <sub>2</sub>	10–50
	При сжигании черного щелока с высокой концентрацией сухих твердых веществ (>75%)	доходит до 5–10
Вспомогательные котлы	Использование топлива с низким содержанием серы	100–200 <sup>a</sup>
		25–50 <sup>b</sup>
		<5 <sup>c</sup>
		<15 <sup>d</sup>
	Система очистки от SO <sub>2</sub>	50–100 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или тяжелого нефтяного топлива.

<sup>b</sup> При сжигании газойля.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

<sup>d</sup> При сжигании биотоплива.

## ii) Сульфитная варка

665. Аналогично крафт-процессу получения целлюлозы в процессе сульфитной варки главным источником выбросов  $\text{SO}_2$  является котел-утилизатор.

666. Для сокращения выбросов можно применять аналогичные первичные меры.

667. Для уменьшения выбросов  $\text{SO}_2$  из котла-утилизатора можно использовать многоступенчатый скруббер для очистки дымовых газов. Выбросы  $\text{SO}_2$  из других котлов можно сократить путем использования тех же очистных технологий, какие применяются в крафт-процессе.

668. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ в процессе сульфитной варки целлюлозы с использованием различных технологий.

Таблица 76

**Уровни выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в сульфитном процессе получения целлюлозы [1]**

Источник выбросов	Технология	Уровни выбросов при применении НИМ (мг S/Нм <sup>3</sup> )
Котел-утилизатор (5% $\text{O}_2$ )	Многоступенчатый скруббер для очистки от $\text{SO}_2$	50–150
Вспомогательные котлы	Использование топлива с низким содержанием серы	100–200 <sup>a</sup>
		25–50 <sup>b</sup>
		<5 <sup>c</sup>
		<15 <sup>d</sup>
	Система очистки от $\text{SO}_2$	50–100 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или тяжелого нефтяного топлива.

<sup>b</sup> При сжигании газойля.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

<sup>d</sup> При сжигании биотоплива.

b)  $\text{NO}_x$ 

## i) Крафт-процесс

669. Главными источниками выбросов  $\text{NO}_x$  в крафт-процессе являются известково-обжиговые печи и котел-утилизатор. Котел-утилизатор является источником большинства выбросов  $\text{NO}_x$  из-за количества сжигаемого черного щелока. Сокращению уровней выбросов могут способствовать горелки с низким уровнем выбросов  $\text{NO}_x$  и изменение условий сжигания со ступенчатой подачей воздуха.

670. Высокая температура сгорания в известково-обжиговых печах также является источником выбросов  $\text{NO}_x$ . На уровень выбросов воздействует вид используемого топлива. Первичные меры, такие как регулировка технологических параметров функционирования, таких как форма факела или распределение воздуха, могут способствовать сокращению выбросов  $\text{NO}_x$ .

671. Типоразмеры вспомогательных котлов в целлюлозной промышленности значительно различаются (от 10 до более 200 МВт). Поэтому для небольших и больших котлов можно применять различные меры. Для небольших котлов рентабельными являются структурные и первичные меры, в то время для больших котлов можно также применять вторичные меры [1].

672. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ в крафт-процессе производства целлюлозы.

Таблица 77

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе производства целлюлозы [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Котел-утилизатор (5% $\text{O}_2$ )	Горелка с низким выбросом $\text{NO}_x$ , система ступенчатой подачи воздуха	80–120
Известково-обжиговая печь	Корректирующие параметры: сжигание нефти сжигание газа	80–180 <sup>e</sup> 300–540 <sup>e</sup>
Вспомогательные котлы	Структурные и первичные меры	80–110 <sup>a</sup>
		45–60 <sup>b</sup>
		30–60 <sup>c</sup>
		60–100 <sup>d</sup>
	СНКВ	50–80 <sup>a</sup> 40–70 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или тяжелого нефтяного топлива.

<sup>b</sup> При сжигании газойля.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

<sup>d</sup> При сжигании биотоплива.

<sup>e</sup> УВ-НИМ точно воспроизведены по БРЕФ [1]. Однако значения 300–540 следует отнести к сжиганию нефти, а 80–180 – к сжиганию газа.

ii) Сульфитный процесс

673. Основными источниками выбросов  $\text{NO}_x$  в процессе сульфитной варки являются котлы. Таким образом, выбросы  $\text{NO}_x$  из этих котлов также можно сократить путем применения тех же технологий сокращения выбросов, какие используются в крафт-процессе.

674. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов  $\text{NO}_x$  в случае применения НИМ при сульфитной варке в целлюлозной промышленности.

Таблица 78

**Уровни выбросов  $\text{NO}_x$  при применении НИМ сокращения выбросов при сульфитном получении целлюлозы [1]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Котел-утилизатор (5% $\text{O}_2$ )	Горелка с низким выбросом $\text{NO}_x$ , система ступенчатой подачи воздуха	200–300
Вспомогательные котлы	Структурные и первичные меры	80–110 <sup>a</sup>
		45–60 <sup>b</sup>
		30–60 <sup>c</sup>
		60–100 <sup>d</sup>

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> )
	СНКВ	50–80 <sup>a</sup> 40–70 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или тяжелого нефтяного топлива.

<sup>b</sup> При сжигании газойля.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

<sup>d</sup> Сжигание биотоплива.

с) Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)

і) Крафт-процесс

675. На целлюлозных заводах, применяющих крафт-процесс, пыль образуется из различных источников, в основном из известково-обжиговых печей, вспомогательных котлов и котлов-утилизаторов. В зависимости от источника бороться с выбросами можно путем применения электрофильтров и/или скрубберов для очистки от  $SO_2$ . Можно также использовать рукавные фильтры [4].

676. Скрубберы для очистки котлов от  $SO_2$ , также позволяют сократить выбросы пыли.

677. Для новых котлов в качестве НИМ сокращения уровней выбросов пыли рассматривается использование только ЭФ. Для существующих котлов требуется сочетать ЭФ и скрубберы. Скруббер для очистки от  $SO_2$  в сочетании с ЭФ может снизить уровень выбросов пыли до 15 мг/Нм<sup>3</sup>.

678. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов пыли в крафт-процессе производства целлюлозы при применении НИМ.

679. Согласно документам [5] [6] [8] производство бумаги не считается крупным источником выбросов ЧУ. Однако данных о выбросах ЧУ очень мало. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше меры НИМ в отношении пыли, эффективные для тонкодисперсных частиц, эффективны и для ЧУ.

Таблица 79

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в крафт-процессе [1] [2]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм <sup>3</sup> )
Известково-обжиговая печь	ЭФ	пыль: 30–50
Колы-утилизаторы (5% $O_2$ )	ЭФ и скрубберы для очистки от $SO_2$	пыль: 30–50
Вспомогательные котлы	ЭФ	пыль: 10–30 <sup>a</sup> пыль: 10–40 <sup>b</sup> пыль: <5 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или биотоплива или газойля.

<sup>b</sup> При сжигании тяжелого нефтяного топлива.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

## ii) Сульфитный процесс

680. На целлюлозных заводах, использующих сульфитную варку, пыль образуется из различных источников, в основном из известково-обжиговых печей, вспомогательных котлов и котлов-утилизаторов. Выбросы можно подавлять также путем использования тех же систем, какие применяются в крафт-процессе.

681. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов пыли при применении НИМ в сульфитном процессе производства целлюлозы.

682. Согласно документам [5] [6] [8] производство бумаги не относится к крупным источникам выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ крайне скудны. Если ЧУ присутствует в пыли, описанные выше меры НИМ в отношении пыли, эффективные для тонкодисперсных частиц, также эффективны и для ЧУ.

Таблица 80

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в сульфитном процессе [1] [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (мг/Нм<sup>3</sup>)</i>
Колы-утилизаторы (5% O <sub>2</sub> )	ЭФ и скрубберы для очистки от SO <sub>2</sub>	пыль: 5–20
Вспомогательные котлы	ЭФ	пыль: 10–30 <sup>a</sup> пыль: 10–40 <sup>b</sup> пыль: <5 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> При сжигании угля или биотоплива.

<sup>b</sup> При сжигании тяжелого нефтяного топлива.

<sup>c</sup> При сжигании газа.

#### 4. Новые методы

683. Использование установки СНКВ для котлов-утилизаторов, являющихся основным источником выбросов NO<sub>x</sub>, считается новым методом сокращения выбросов при производстве целлюлозы, поскольку это рассматривается как новая область применения этой широко распространенной технологии.

684. Капиталовложения в полную установку СНКВ (процесс NO<sub>x</sub>OUT) для котлов-утилизаторов (загрузка черного щелока: 1 600 т сухих твердых веществ/сутки) составляет около 2,2–2,8 млн. евро.

685. Вследствие редкого применения этой технологии новых методов сокращения выбросов в процессе сульфитной варки не выявлено [1].

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

686. Скрубберы очистки SO<sub>2</sub> для котлов-утилизаторов обычно поступают от поставщика в комплекте. Капитальные затраты на завод по производству белой крафт-целлюлозы производительностью 250 000 и 500 000 т/год доходят соответственно до 7,2 млн. евро и 10,4 млн. евро. В него входят скруббер, насосы для перекачки скруббирующей жидкости, циркуляционные насосы, электрооборудование и контрольно-измерительные приборы. Эксплуатационные расходы доходят соответственно до 0,58 млн. евро/год и 0,92 млн. евро/год [1].

687. Капиталовложения, необходимые для внедрения процесса СНКВ при использовании коревых котлов для завода той же производительностью, составляют примерно 0,7–1,15 млн. евро. К капитальным затратам относятся расходы на оборудование впрыска, трубы, насосы, баки и восстановительный ре-



монтаж/приемку котла. Эксплуатационные расходы в основном сопряжены с потреблением мочевины: для удаления 1 кг  $\text{NO}_x$  требуется около 1–2 кг мочевины [1].

688. Стоимость установки электрофильтра в коревом (вспомогательном) котле составляет ориентировочно 3–4 млн. евро, в известково-обжиговой печи – 5–6 млн. евро. Эксплуатационные расходы составляют менее 0,3 млн. евро/год в обоих случаях [1].

689. Капитальные затраты на технологии с малым выбросом  $\text{NO}_x$  в вспомогательных котлах или известково-обжиговых печах составляют 0,5–0,8 млн. евро.

## **Справочные документы, использованные в разделе О главы VII:**

1. European Commission (2001). *Reference document on Best Available Techniques in the pulp and paper industry: Integrated Pollution Prevention and Control*.
2. United States Environment Protection Agency (1998). Technology Transfer Network Clearinghouse for Inventories & Emissions Factors. AP 42, vol. 1, chap. I, September 1998.
3. Reichart, A. (German UBA) (2008). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of comments and proposals*.
4. Krutzler, T. (Austrian UBA) (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.
5. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
6. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).
7. United States Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon*.
8. Kupiainen, K. and others (2004). *Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control*. International Institute for Applied Systems Analysis. IIASA Interim Report IR-04-079.

## **Р. Производство азотной кислоты**

### **1. Охват**

690. Азотная кислота ( $\text{HNO}_3$ ) является одним из самых крупнотоннажных продуктов химической промышленности. При производстве азотной кислоты наиболее серьезную озабоченность вызывают атмосферные выбросы закиси азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ). В Гётеборгском протоколе определяются методы борьбы с трансграничным загрязнением воздуха, особенно с сопутствующими ему подкислением и эвтрофикацией. В нем устанавливаются предельные значения выбросов серы, оксида азота, ЛОС, аммиака и пыли, но не упоминается  $\text{N}_2\text{O}$ ,

тепличный газ, способствующий глобальному потеплению. В связи с этим в данной главе основное внимание уделяется сокращению только выбросов  $\text{NO}_x$ .

## 2. Источники выбросов

691.  $\text{HNO}_3$  получают из аммиака ( $\text{NH}_3$ ), который выпаривают, фильтруют и окисляют для образования оксида азота ( $\text{NO}$ ). Фильтрация аммиака необходима для полного удаления пыли. При этом предотвращается взаимодействие частиц пыли и катализаторов, при котором происходит окисление аммиака.

692.  $\text{NO}$ , образующийся при окислении, затем также окисляется, образуя диоксид азота ( $\text{NO}_2$ ). Затем  $\text{NO}_2$  растворяется в  $\text{H}_2\text{O}$  с образованием азотной кислоты и оксида азота. Процесс абсорбции является крупным источником выбросов  $\text{NO}_x$ , а поэтому необходимо бороться с образованием выбросов  $\text{NO}_x$  и сокращать их. Для сокращения выбросов имеются различные технологии.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

### a) Первичные меры

693. Основные выбросы  $\text{NO}_x$  происходят на этапе образования  $\text{HNO}_3$ . Одна из различных технологий, применяемых для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$ , заключается в оптимизации стадии абсорбции. Чем эффективнее абсорбция, тем больше образуется  $\text{HNO}_3$  и тем меньше объем выбросов  $\text{NO}_x$  [1].

694. Повышение эффективности абсорбции основано на оптимизации трех параметров: *температуры, давления и контакта между  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$* :

а) вследствие экзотермической реакции для оптимизации температурного процесса необходимо организовать отвод тепла. Этап абсорбции происходит в первой трети колонны, а поэтому отвод тепла можно применять до колонны;

б) высокое давление повышает эффективность абсорбции и тем самым — образования азотной кислоты. Оно также подавляет образование  $\text{NO}_x$ ;

с) оптимизация контакта в абсорбционной колонне в основном предполагает изменение конструкции колонны. Объем, количество тарелок и время контакта являются основными параметрами, которые следует учитывать для оптимизации абсорбции. Чем больше время контакта, тем интенсивнее восстановление  $\text{NO}_x$  и образование азотной кислоты. Увеличение количества тарелок и объема также активизирует образование азотной кислоты.

695. Уровень концентрации нитрозных газов 82–103 мг/Нм<sup>3</sup> технически возможен при полной оптимальной абсорбции (отвод тепла, высокое давление, оптимальный контакт).

696. Выход  $\text{HNO}_3$  также можно увеличить путем добавления  $\text{H}_2\text{O}_2$  на последней стадии абсорбции. Это позволяет избежать применения СКВ [1].

### b) Вторичные меры

697. Выбросы  $\text{NO}_x$  можно сократить путем обработки нитрозных газов, например с помощью комбинированной технологии сокращения выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}_x$  или применения СКВ.

698. Комбинированная технология сокращения выбросов  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{NO}_x$  предусматривает применение двух слоев катализатора. В первом слое происходит восстановление  $\text{N}_2\text{O}$  до  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ . Во втором слое  $\text{NO}_x$  восстанавливается за счет добавления  $\text{NH}_3$  (сопоставимо с СКВ), при этом также происходит дальнейшее разложение  $\text{N}_2\text{O}$ . В результате этого процесса можно уменьшить выбросы  $\text{NO}_x$  на 99%.

Рассматриваемый процесс применим для заводов по производству азотной кислоты при температуре отходящих нитрозных газов более 400 °C [1].

699. В установках с температурой нитрозных газов более 340 °C выбросы  $N_2O$  и  $NO_x$  можно уменьшить с помощью комбинированной системы сокращения выбросов  $N_2O$  и  $NO_x$  с добавлением углеводородов. Как и в комбинированном процессе сокращения выбросов  $N_2O$  и  $NO_x$ , используются два слоя катализатора. В первом из них происходит удаление  $NO_x$  при реакции с  $NH_3$ , а  $N_2O$  извлекают на втором этапе при каталитическом восстановлении с использованием углеводородов (природный газ или пропан). При этом можно ожидать таких же уровней выбросов, как при применении технологий сокращения выбросов  $N_2O$  и  $NO_x$  [1].

700. В приведенной ниже таблице дан общий обзор уровней выбросов  $NO_x$  при применении НИМ в производстве азотной кислоты.

Таблица 81

**Уровни выбросов  $NO_x$  при применении НИМ сокращения выбросов в производстве азотной кислоты**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $mg/Hm^3$ ) <sup>a</sup>
Производство азотной кислоты	Оптимизация этапа абсорбции, Комбинированная технология сокращения выбросов $NO_x$ и $N_2O$ , СКВ, Добавление $H_2O_2$ на последней стадии абсорбции	Новые установки 10–154
		Существующие установки 10–185 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Единицы выбросов были переведены из ppmv (частей на миллион в  $mg/Hm^3$ ) при соотношении: 1 ppmv (часть на миллион) = 2,05  $mg NO_2/Hm^3$ .

<sup>b</sup> До 307  $mg/Hm^3$ , когда соображения безопасности в связи с отложениями нитрата аммония ограничивают эффект СКВ или когда вместо СКВ применяется  $H_2O_2$ .

#### 4. Новые методы

701. Новых методов сокращения выбросов  $NO_x$  при производстве  $HNO_3$  не выявлено [1].

#### 5. Данные о затратах на внедрение методов сокращения выбросов

702. Капитальные затраты на установку комбинированной обработки  $N_2O$  и  $NO_x$  составляют около 1,7 млн. евро. Сравнение различных стратегий сокращения  $N_2O$  не демонстрирует значительных различий между эффективностью затрат и стоимостью тонны  $HNO_3$ . Эксплуатационные расходы находятся в диапазоне 0,71–0,87 евро за тонну эквивалента  $CO_2$  и 0,98–1,20 евро за тонну произведенной  $HNO_3$ .

703. Информация о затратах на внедрение технологии добавления углеводородов отсутствует.

704. Общие затраты на технологию СКВ составляют около 1,3 долл. США за тонну произведенной  $HNO_3$ . Эта оценка была сделана в 1998 году с учетом предполагаемых цен на катализатор и топливо, которые в настоящее время значительно изменились [1].

705. Производственные затраты на добавление  $H_2O_2$  на последней стадии абсорбции составляют 2,5 долл. США за тонну  $HNO_3$ .

## Справочные материалы, использованные в разделе Р главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques for the manufactures of large volume chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers*.

### Q. Производство серной кислоты<sup>h</sup>

#### 1. Охват

706. Производство серной кислоты ( $H_2SO_4$ ) в количественном отношении является наиболее крупным процессом в химической промышленности. Производство  $H_2SO_4$  колеблется в зависимости от сырьевой базы  $SO_2$ .

707. Наибольшую озабоченность при производстве серной кислоты вызывают атмосферные выбросы диоксида серы ( $SO_2$ ). В настоящей главе рассматривается химическое производство серной кислоты.

#### 2. Источники выбросов

708.  $H_2SO_4$  получают из диоксида серы или элементарной серы. Элементарную серу получают путем десульфуризации природного газа или неочищенной нефти.  $SO_2$  получают в процессе обработки дымовых газов, например содержащих  $SO_2$  газов при сжигании серы, при обжиге цинковых и/или свинцовых руд, регенерации отработанных кислот, при производстве цветных металлов или сжигании отработанного газа и т.д.

709. Вначале  $SO_2$  окисляется с помощью катализаторов до  $SO_3$ . Для этого используют катализаторы на основе ванадиевых соединений, платины и оксидов железа [2].

710. Затем  $SO_3$  абсорбируется в  $H_2SO_4$  с образованием концентрированной серной кислоты. На данном этапе процесса, характеризующемся значительными выбросами  $SO_2$ , требуется принятие мер для сокращения этих выбросов.

#### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

##### a) $SO_2$ [1]

711. Основным источником выбросов  $SO_2$  является хвостовой газ процесса абсорбции. Выбросы  $SO_2$  зависят от степени восстановления в ходе процесса. Оптимизацию процесса можно рассматривать в качестве наилучшего имеющегося метода сокращения выбросов.

712. Для достижения уровней выбросов, соответствующих НИМ, можно комбинировать различные способы повышения степени восстановления  $SO_2$ .

713. Процесс двойного контактирования/процесс двойной абсорбции повышает выход при восстановлении  $SO_2$  из хвостового газа. Переход от одинарной к двойной абсорбции может в значительной степени уменьшить выбросы  $SO_2$ .

714. Добавление пятого слоя катализатора в процессе двойного контактирования может увеличить степень восстановления до 99,9%. Эта технология, как правило,

<sup>h</sup> Информация, включенная в эту подглаву, основана на БРЕФ по крупнотоннажному химическому производству. Определенная новая информация, основанная на БРЕФ по цветной металлургии, который в настоящее время пересматривается в Институте перспективных технологических исследований в Севилье (ИПТИ), будет доступна в ближайшем будущем.

применима в двухконтактных аппаратах, при условии наличия достаточного пространства [1]. Обычно при применении процесса двойного контактирования максимальная степень восстановления в установившемся режиме достигает 99,8%, а при работе в условиях промежуточного режима максимальная степень восстановления составляет 99,6%. Однако применение данной технологии на существующих установках сопряжено с двумя основными сдерживающими факторами – значительными капитальными и эксплуатационными издержками, обусловленными необходимостью внешнего обогрева, который необходим для достижения соответствующей температуры для работы катализатора, и динамическими характеристиками установленных вентиляторов [6].

715. Использование катализатора, активируемого Cs, также позволяет повысить степень восстановления  $\text{SO}_2$ . Катализаторы, активируемые Cs, можно использовать при более низкой температуре (380–620 °C), чем обычные катализаторы (420–660 °C).

716. Замена контактных аппаратов с кирпичным сводом, отличающихся более высокой пористостью, может повысить степень восстановления  $\text{SO}_2$ .

717. Использование процесса мокрого катализа позволяет обеспечить восстановление мокрых газов  $\text{SO}_2$ .

718. Наконец, для поддержания высокой степени восстановления требуется регулярное техническое обслуживание вспомогательного оборудования и замена катализаторов.

719. Допускается применение и вторичных мер.

720. Хвостовые газы можно очищать с помощью водного раствора  $\text{ZnO}$  или раствора  $\text{NH}_3$ , или другого щелочного раствора, например, гидроксида натрия, а также перекиси водорода. При подобной очистке образуются побочные продукты, которые впоследствии можно использовать на месте или продавать [4].

721. НИМ сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  представляет собой сочетание упомянутых ранее процессов и технологий уменьшения выбросов, позволяющих добиться уровней выбросов, указанных в нижеследующей таблице.

722. В приведенной таблице дан общий обзор уровней выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ в производстве серной кислоты.

Таблица 82

**Уровни выбросов  $\text{SO}_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в производстве серной кислоты**

Источник выбросов    Технологии		Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг}/\text{Нм}^3$ ) <sup>a,b</sup>
Производство серной кислоты	Сжигание серы, двойное контактирование/двойная абсорбция	Существующие установки: 30–680 Новые установки: 30–40
	Прочее двойное контактирование/двойная абсорбция	200–680
	Одинарное контактирование/одинарная абсорбция	100–450
	Прочие	14–170

<sup>a</sup> Этот уровень может включать эффект очистки хвостовых газов.

<sup>b</sup> Указано в среднесуточном значении.

#### 4. Новые методы

723. Данные отсутствуют.

#### 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

724. Добавление пятого слоя катализатора в процессе двойного контактирования требует инвестиций примерно в 1 млн. евро. Удельные затраты на сокращение выбросов SO<sub>2</sub> составляют 629 евро на тонну удаленного SO<sub>2</sub> [1].

725. Затраты на активируемый Cs – катализатор в процессе двойного контактирования – достигают 21 700 евро в год, что выше исходных затрат на традиционные типы катализаторов. Удельные затраты на сокращение выбросов SO<sub>2</sub> составляют 12 евро на тонну удаленного SO<sub>2</sub>. В процессе одинарного контактирования эти затраты возрастают до 930 евро на тонну удаленного SO<sub>2</sub> [1].

726. В нижеследующей таблице приводится общий обзор затрат и показателя восстановления SO<sub>2</sub> для различных технологий сокращения выбросов при производстве серной кислоты [3].

Таблица 83

**Стоимостные и эксплуатационные данные о технологиях сокращения выбросов SO<sub>2</sub> при производстве серной кислоты**

Производи- тельность (т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /сутки)	Процент- ное содер- жание SO <sub>2</sub>	Конструкция		Средняя степень восстановления SO <sub>2</sub> (%)		Затраты		Предот- вращенные выбросы SO <sub>2</sub> (т/год)	Затраты в годовом исчислении (евро/год)	Не улов- ленный SO <sub>2</sub> (т/год)
						евро/т SO <sub>2</sub>	евро/т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
		До	После	До	После	Сокра- щение	Дополни- тельно			
250	9–12	Четырехслой- ная SC/SA	Базовый вариант щелочь	98,00	-	0	0	0	0	1 143
		Четырехслой- ная SC/SA	+ Cs в слое 4	98,00	99,10	3	0,02	628	1 763	
		Четырехслой- ная SC/SA	Четырехслойная DC/DA	98,00	99,60	1 317	13,76	914	1 203 985	
		Четырехслой- ная SC/SA	Четырехслойное DC/DA + Cs в слое 4	98,00	99,70	1 159	12,87	971	1 125 848	
		Четырехслой- ная SC/SA	+ триглицинсульфат процесса Peracidox	98,00	99,87	1 048	12,80	1 068	1 119 881	
		Четырехслой- ная SC/SA	+ триглицинсульфат (щелочь)	98,00	99,87	1 286	15,70	1 068	1 373 446	
		Четырехслой- ная DC/DA	Базовый вариант A2	99,60	-	0	0	0	0	228
		Четырехслой- ная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	367	0,24	57	20,858	
		Четырехслой- ная DC/DA	Пятислойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	3 100	4,03	114	352 656	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	99,60	99,94	3 910	8,68	194	759 562	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox (щелочь)	99,60	99,94	6 636	14,73	194	1 287 390	
		Четырехслой- ная SC/SA	Базовый вариант B1	98,00	-	0	0	0	0	2 286

Производи- тельность (т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /сутки)	Процент- ное содер- жание SO <sub>2</sub>	Конструкция		Средняя степень восстановления SO <sub>2</sub> (%)		Затраты		Предот- вращенные выбросы SO <sub>2</sub> (т/год)	Затраты в годовом исчислении (евро/год)	Не удов- ленный SO <sub>2</sub> (т/год)
						евро/т SO <sub>2</sub>	евро/т H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
		До	После	До	После	Сокра- щение	Дополни- тельно			
500	5–7	Четырехслой- ная SC/SA в слоях	+ Cs в слое 4	98,00	99,10	5	0,04	1 257	6285	
		Четырехслой- ная SC/SA	Четырехслойная DC/DA	98,00	99,60	867	9,06	1 829	1 584 685	
		Четырехслой- ная SC/SA	Четырехслойная DC/DA + Cs в слое 4	98,00	99,70	835	9,27	1 943	1 622 590	
		Четырехслой- ная SC/SA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	98,00	99,87	718	8,77	2 137	1 535 220	
		Четырехслой- ная bed SC/SA	+ триглицинсульфат (щелочь)	98,00	99,87	883	10,78	2 137	1 886 839	
	9–12	Четырехслой- ная DC/DA	Базовый вариант C1	99,60	-	0	0	0	0	457
		Четырехслой- ная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	363	0,24	114	41 278	
		Четырехслой- ная DC/DA	Пятислойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	1559	2,03	228	354 762	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат- процесс Peracidox	99,60	99,94	2209	4,90	389	858 349	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат (щелочь)	99,60	99,94	4591	10,19	389	1 783 465	
		Четырехслой- ная DC/DA	Base Case C2	99,60	-	0	0	0	0	914
		Четырехслой- ная DC/DA	+ Cs в слое 4	99,60	99,70	356	0,23	228	81 023	
		Четырехслой- ная DC/DA	Пятислойная DC/DA + Cs в слое 5	99,60	99,80	1020	1,33	455	464 258	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат процесс Peracidox	99,60	99,94	1359	3,02	777	1 055 922	
		Четырехслой- ная DC/DA	+ триглицинсульфат (щелочь)	99,60	99,94	3432	7,62	777	2 667 020	

*Гипотеза:*

- степень восстановления зависит от технических характеристик (конструкция установки, концентрация, источник SO<sub>2</sub>). Погрешность 0,1%;
- содержание SO<sub>2</sub>: 5–7%: при расчете с 5% и 9–12% при расчете с 10%;
- содержание O<sub>2</sub>: 5–7% SO<sub>2</sub> + 6–9% O<sub>2</sub> и 9–12% SO<sub>2</sub> + 8–11% O<sub>2</sub>;
- срок эксплуатации всех установок: 10 лет;
- фиксированные эксплуатационные расходы: 3%;
- процентная ставка: 4%;
- стоимость H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 20 евро/т с завода;
- трудозатраты: 37 000 евро/человеко-год;
- вспомогательное оборудование для триглицинсульфата в процессе Peracidox и щелочной абсорбции: +30% капиталовложений;

- гарантированное содержание  $\text{SO}_2$  после триглицидсульфата:  $<200 \text{ мг SO}_2/\text{Нм}^3 = <70 \text{ частей на миллион SO}_2$ ;
- стоимость пара: 10 евро/т;
- SC = одинарный контакт, SA = одинарная абсорбция, DC = двойное контактирование, DA = двойная абсорбция.

### Справочные материалы, использованные в разделе Q главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques for the manufactures of large volume chemicals – Ammonia, Acids and Fertilizers*.
2. Zucca, A. (European Sulphuric Acid Association) (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of comments and proposals*.
3. ESA expert group (2009). *Retrofitting of old plants*. EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of comments and proposals*.

## R. Сжигание муниципальных, медицинских и опасных отходов

### 1. Охват

727. В настоящем разделе рассматривается сжигание муниципальных (или бытовых) твердых отходов, опасных и медицинских отходов, а также сжигание осадка сточных вод.

728. Муниципальные твердые отходы (МТО) в основном состоят из бумаги, картона, стекла, металлов, пластмассы, резины, кожи, текстиля, дерева, пищевых отходов, дворовых отходов и различных неорганических отходов [1].

729. Опасные отходы, как правило, образуются в ходе промышленных производственных процессов (например, зола, осадок и другие технологические отходы), выработки энергии, строительстве гражданских объектов (например, мусор от сноса зданий, строительный мусор, отходы дорожного строительства), а также при сжигании отходов (зола уноса) [1].

### 2. Источники выбросов

730. Муниципальные твердые отходы, осадок сточных вод и опасные отходы можно перерабатывать на мусоросжигательных заводах. Коммунальные твердые отходы направляются преимущественно на государственные мусоросжигательные заводы, хотя определенное количество отходов сжигают и на промышленных установках для сжигания [1].

731. Для различных видов отходов применяют различные виды термообработки, хотя не все варианты термообработки пригодны для всех отходов. В данном пункте описываются основные технологии термообработки отходов [1].

732. Для сжигания муниципальных твердых отходов применяется несколько технологий сжигания, включая сжигание на подвижной колосниковой решетке и в кипящем слое [4]. Для технологии сжигания в кипящем слое подходят МТО с частицами определенных размеров, а для этого обычно требуется определенная предварительная сортировка и/или отдельный сбор отходов [3];



733. Для сжигания опасных и медицинских отходов чаще всего используются вращающиеся печи и мусоросжигатели с решеткой, хотя применяются и печи с кипящим слоем;

734. Сжигание осадка сточных вод происходит во вращающихся печах, печах с кипящем слоем или многоподовых печах, хотя также применяется совместное сжигание в системах слоевого сжигания, углесжигающих установках и в ходе промышленных процессов [1] [2] [3]. Перед сжиганием осадок сточных вод необходимо высушивать или механически обезвоживать, причем для стабильного сгорания часто требуется дожигание.

735. Технология слоевого сжигания. Для сжигания коммунальных отходов в основном применяются мусоросжигатели этого типа, которые можно проектировать с расчетом на переработку больших объемов отходов [2]. В Европе практически 90% установок, перерабатывающих МТО, снабжены решетками.

736. Были разработаны различные системы слоевого сжигания, например с качающейся колосниковой, наклонно-переталкивающей, подвижной, цепной колосниковой решеткой (как с водяным охлаждением, так и без него), которые можно классифицировать по способу перемещения отходов через различные зоны в камере сгорания. Различные системы слоевого сжигания должны отвечать особым требованиям, касающимся подачи первичного воздуха, скорости транспортировки и перегревания, а также смешивания отходов. Основными дополнительными особенностями являются оптимальные характеристики регулирования и прочная конструкция, позволяющая выдержать жесткие условия в камере сгорания [1].

737. Печи с кипящим слоем пригодны только для сжигания достаточно однородных материалов и поэтому относятся к основному типу оборудования, предназначенного не только для сжигания осадка сточных вод, но также для механически или механически и биологически предварительно обработанных потоков отходов [2].

738. Предварительно нагретый воздух подается в камеру сгорания через отверстия в основании, образуя кипящий слой с песком, находящимся в камере сгорания. Отходы загружаются в реактор посредством насоса, барабанного питателя или винтового конвейера. В кипящем слое сушка, испарительный перенос, воспламенение и сжигание происходят при температуре от 850 до 950 °C. Над кипящим слоем создается вторая зона сгорания для обеспечения времени пребывания в топке в течение более двух секунд при температуре более 850 °C. Если подача воздуха в кипящий слой является нестехиометрической ( $\lambda < 1$ ), температура слоя значительно понижается, например, до 650 °C. В данном случае процесс газификации происходит только в самом слое, а большая часть тепла вырабатывается в зоне вторичного сгорания, т.е. над кипящим слоем, за счет реакций окисления газовой фазы [1].

739. Преимуществом систем сжигания в кипящем слое является простое и быстрое прекращение подачи отходов и горячий запуск, а также более низкая температура, способствующая подавлению образованию  $\text{NO}_x$  [1] [2]. Однако при полном останове (например, для удаления материала слоя или проведения технического обслуживания) или при холодном запуске охлаждение или разогрев системы сжигания в кипящем слое занимают больше времени, чем в решетчатой системе, поскольку необходимо охладить или нагреть весь песок до рабочей температуры.

740. Вращающаяся печь. Во вращающихся печах можно сжигать практически все отходы независимо от вида и состава, а эксплуатационные температурные ограничения не настолько строги по сравнению с печами с кипящим слоем или

многоподовыми печами [1]. Их преимущество заключается в оптимальном перемешивании отходов и в их полном сгорании при условии, что время пребывания отходов в печи является достаточным. Эти печи можно использовать в сочетании с другими схемами для обеспечения дополнительного сжигания золы [2]. Вращающаяся печь состоит из цилиндрического барабана слегка наклоненного вдоль горизонтальной оси. Перемещение отходов в печи происходит под действием силы тяжести при вращении печи. Обычно для полной деструкции токсичных отходов необходима вторичная камера сгорания [1].

741. *Многоподовые печи* в основном применяются для сжигания осадка сточных вод очистных сооружений. Осадок сточных вод загружается в колошник, откуда он перемещается вниз через различные топки против потока воздуха горения, который подают в под печи. В верхних подах печи находится зона осушения, где осадок обезвоживают при охлаждении дымовых газов. Центральные поды предназначены для сжигания, а нижние топки обеспечивают полное сгорание. Температура воспламенения ограничена 980 °C, поскольку при превышении данной температуры можно добиться температуры плавления зольного шлама и формирования клинкера. Во избежание утечек горячих токсичных дымовых газов многоподовые печи всегда работают при небольшом разрежении [4].

742. Разработаны и *другие процессы*, которые основаны на разделении фаз, которое происходит в мусоросжигателе: сушка, испарительный перенос, пиролиз, спекание и окисление отходов; применяется также газификация с помощью агентов газификации, например, пара, воздуха, оксидов углерода или кислорода.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### a) $SO_2$

743. Диоксид серы, а также HCL и HF образуются при сжигании содержащих серу соединений (хлор- и фторсодержащих), которые находятся в отходах. Их количество в основном определяется объемом соединений, содержащих серу (хлориды и фториды), которые находятся в отходах, хотя условия эксплуатации и применяемые технологии сжигания также могут оказывать некоторое воздействие.

744. Концентрация  $SO_2$  в неочищенном газе, как правило, находится в диапазоне от 400 до 1 000 мг/Нм<sup>3</sup>, хотя концентрация чистого газа в целом должна быть значительно ниже [1] [3], а это обуславливает необходимость очистки дымовых газов.

745. Обычно очистку дымовых газов от  $SO_2$  производят с помощью мокрых скрубберов, распылительных сухих скрубберов и сухих скрубберов.

746. В качестве НИМ рассматривается использование таких первичных мер, как выбор топлива, отбор отходов или технологии выбора или разделения [2].

747. При сжигании осадка сточных вод, коммунальных и медицинских отходов [2] рассматриваются три основных технологии – мокрая, полусухая и сухая очистка.

748. С помощью мокрых и полусухих скрубберов при необходимом потреблении воды можно достичь концентрации <20 мг/м<sup>3</sup> (при этом могут образовываться очищенные стоки). Также можно добиться степени восстановления в 96–98,4%. С помощью сухих скрубберов достигается концентрация <20 или <40 мг/м<sup>3</sup> в зависимости от реагента.

Таблица 84

**Источники выбросов SO<sub>x</sub> и отдельные НИМ сокращения выбросов с указанием уровней выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению выбросов	Эксплуатационные выбросы SO <sub>x</sub> при применении НИМ <sup>a, b</sup> (мг/Нм <sup>3</sup> )
<i>Сжигание бытовых или коммунальных отходов</i>		
Мусоросжигательное устройство с решеткой	Сухой скруббер	1–40 [3]
Вращающаяся печь	Распылительный сухой скруббер	1–40
Сжигание в кипящем слое	Мокрый скруббер	1–40
<i>Сжигание промышленных отходов (опасных и медицинских отходов)</i>		
Мусоросжигательное устройство с решеткой	Сухой скруббер	1–40
Вращающаяся печь	Распылительный сухой скруббер	1–40
<i>Сжигание осадка сточных вод</i>		
Вращающаяся печь	Сухой скруббер	1–40
Многоподовая печь	Распылительный сухой скруббер	1–40
Сжигание в кипящем слое	Мокрый скруббер	1–40

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ определены на основе среднесуточных значений при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей в системах очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Предельные уровни выбросов SO<sub>2</sub>, установленные в Директиве ЕС о сжигании отходов, составляют 50 мг/м<sup>3</sup>.

**b) NO<sub>x</sub>**

749. Выбросы оксидов азота образуются и на мусоросжигательных заводах. Во многих случаях их измеряют с помощью устройств непрерывного мониторинга выбросов. По имеющимся данным, выбросы на современных заводах, как правило, колеблются от 30 до 200 мг/Нм<sup>3</sup> (чистый газ, среднесуточное значение, 11% O<sub>2</sub> [3]).

750. Оксиды азота в основном образуются в виде NO и NO<sub>2</sub>. Источником большинства оксидов азота, образующихся при сжигании отходов (температура печи от 800 до 1 200°C), является азот, содержащийся в отходах (топливные NO<sub>x</sub>) [1]. Концентрации тепловых NO<sub>x</sub> уступают концентрациям топливных NO<sub>x</sub>. Таким образом, эффективность первичных мер по снижению выбросов, направленных в основном на подавление образования топливных NO<sub>x</sub>, обычно ограничена, так как большинство NO<sub>x</sub> образуются из азота, содержащегося в топливе, и поэтому на количество азота, содержащегося в топливе и преобразуемого в оксиды азота, могут в определенной степени повлиять только изменения конструкции установки и ее режима работы [9]. Однако на этапе сжигания первичные меры имеют большое значение для сокращения образования NO<sub>x</sub>. В основном, они относятся к обработке и подготовке отходов, и прежде всего к применяемой тепловой обработке [3].

751. Для сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в источнике на этапе сжигания были разработаны первичные меры (ограничивающие выбросы в источнике в отличие от вторичных мер, снижающих выбросы в конце технологического цикла) путем регулирования характеристик пламени, таких как температура и воздушно-топливная смесь. Вторичные меры применяются после процесса сжигания, чтобы очистить дымовые газы от выбросов  $\text{NO}_x$ .

752. В качестве НИМ для сжигания осадка сточных вод, а также муниципальных и медицинских отходов к первичным мерам относят, например, рециркуляцию дымовых газов, сжигание со ступенчатой подачей воздуха, выбор топлива, горелки с низким уровнем выбросом  $\text{NO}_x$  в сочетании со вторичными мерами (например, СКВ, СНКВ).

753. Обычно НИМ считается СКВ, если необходима высокая эффективность сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  (т.е. когда в дымовых газах содержатся большие концентрации  $\text{NO}_x$ ) и если необходима низкая конечная концентрация  $\text{NO}_x$  в выбросах дымовых газов. Фактически СКВ является опробованной технологией в секторе сжигания отходов, позволяющей добиться высокого коэффициента уменьшения выбросов  $\text{NO}_x$  (как правило, более 90%) [1] [3] и выбросов  $\text{NO}_x$  до уровня менее  $50 \text{ мг/м}^3$  [5].

754. Для СНКВ добавление аммиака и мочевины является наиболее подходящим способом и рассматривается в качестве НИМ. Уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$  путем СНКВ до 75% требует добавления большего количества восстановителя. При применении СНКВ можно добиться содержания  $\text{NO}_x$  в выбросах на уровне  $70 \text{ мг/м}^3$  (среднесуточное значение) [1] [3].

755. Эффективное подавление выбросов  $\text{NO}_x$  с помощью СКВ или СНКВ может привести к большим выбросам  $\text{NH}_3$  (проскок  $\text{NH}_3$ ), который можно повторно преобразовать в  $\text{NO}_x$ . Для обеспечения низкого уровня общих выбросов азота необходимо также сокращать выбросы  $\text{NH}_3$  (достигаются уровни выбросов  $\text{NH}_3 < 10 \text{ мг/м}^3$ ) [3].

Таблица 85

**Источники выбросов  $\text{NO}_x$  и отдельные НИМ их сокращения с указанием уровней выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению выбросов	Эксплуатационные уровни выбросов $\text{NO}_x$ при применении НИМ <sup>a, b</sup> ( $\text{мг/Нм}^3$ )
Сжигание отходов	СКВ	40–100
	без СКВ	120–180

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ основаны на среднесуточных значениях, при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей в системах очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Предельные уровни выбросов  $\text{SO}_2$ , установленные в Директиве ЕС о сжигании отходов, составляют  $200\text{--}400 \text{ мг/м}^3$  (в зависимости от мощности и существующего/нового статуса). Эффективный контроль систем очистки  $\text{NO}_x$ , включая дозировку реагентов, способствует сокращению выбросов  $\text{NH}_3$ . Мокрые скрубберы поглощают  $\text{NH}_3$  и переносят его в поток сточных вод. В качестве НИМ считаются выбросы  $<10 \text{ мг/м}^3$  (другое значение по БРЕФ:  $<5$ ).

с) Пыль (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)

756. Выбросы пыли из мусоросжигательных установок в основном состоят из мелкодисперсной золы, образующейся в процессе сжигания и уносимой потоком газа [3]. Уровни выбросов пыли обычно измеряются непрерывно, а их значения в пределах  $<0,05$  и  $15 \text{ мг/Нм}^3$  ( $11\% \text{ O}_2$ ) [3] подтверждаются после очистки.

757. Технологии удаления пыли можно подразделить на предварительное и окончательное пылеудаление. Если основной целью предварительного пылеудаления является сбор остатков различного состава по отдельности и недопущение и устранение эксплуатационных неполадок очистного оборудования в конце технологической цепочки, главной задачей окончательного пылеудаления является уменьшение конечных выбросов пыли.

758. Сухой и мокрый электрофильтр и тканевые фильтры относятся к трем наиболее часто используемым типам оборудования для удаления дисперсного вещества в дымовых газах. ЭФ эффективны при сборе пыли с размером частиц в диапазоне от  $0,1 \text{ мкм}$  до  $10 \text{ мкм}$ , а общая эффективность очистки может варьироваться от  $95\%$  до  $99\%$  [1].

759. Тканевые фильтры (ТФ) рассматриваются в качестве НИМ для сжигания осадка сточных вод, а также коммунальных и медицинских отходов. Они являются опробованной технологией и при надлежащей эксплуатации и техническом обслуживании обеспечивают надежное удаление пыли до уровня менее  $5 \text{ мг/м}^3$ . Для частиц более крупного размера эффективность удаления очень велика.

760. В общем, как мокрые, так и сухие электрофильтры (ЭФ) не способны сократить выбросы твердых частиц в том же объеме, что тканевые фильтры [2]. В сочетании с мокрыми скрубберами их рассматривают в качестве НИМ. В зависимости от конструкции системы и места в системе очистки дымовых газов (предварительное или окончательное пылеудаление) можно добиться концентрации выбросов дисперсного вещества в пределах от  $5$  до  $25 \text{ мг/м}^3$  [3]. При использовании мокрого ЭФ, который представляет собой особый вариант ЭФ, очистка производится постоянно с помощью потока воды. Данный вариант применяют для окончательного пылеудаления после мокрого скруббера. При этом можно добиться крайне низкого уровня выбросов твердых частиц – менее  $5 \text{ мг/м}^3$  [3].

761. Согласно документам [6] [7] и [8] сжигание отходов не считается крупным источником выбросов ЧУ. Однако данные о выбросах ЧУ крайне скудны. Если ЧУ присутствует в пыли, то описанные выше НИМ в отношении пыли, эффективные для тонкодисперсных частиц, эффективны и для ЧУ.

Таблица 86

**Источники выбросов пыли и отдельные НИМ их сокращения с указанием уровней выбросов при сжигании отходов**

Источник выбросов	Сочетание мер по сокращению выбросов	Эксплуатационные уровни выбросов пыли при применении НИМ <sup>a, b</sup> ( $\text{мг/м}^3$ )
Сжигание отходов	ТФ, ЭФ, В целом применение тканевых фильтров позволяет получить более низкие уровни в пределах этого диапазона выбросов	1–5

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ основаны на среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых

газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

<sup>b</sup> Предельные уровни выбросов пыли, установленные в Директиве ЕС о сжигании отходов, составляют 10 мг/м<sup>3</sup>.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

Таблица 87

**Данные о затратах на внедрение различных технологий сокращения выбросов [1] [3]**

Варианты сокращения	Капитальные затраты (евро)			Удельные затраты на техническое обслуживание (евро/т)		
	Пропускная способность на линию (т/год)			Пропускная способность на линию (т/год)		
	75 000	100 000	150 000	75 000	100 000	150 000
СКВ	1 200 000	1 500 000	2 000 000	0,30	0,30	0,30
СНКВ	700 000	800 000	1 000 000	0,19	0,16	0,13
Система мокрой очистки от пыли	1 500 000	2 000 000	2 500 000	0,30	0,30	0,30
Сухая очистка дымовых газов с абсорбцией	1 725 000	2 175 000	3 000 000	0,23	0,22	0,20
ЭФ	1 000 000	120 000	1 600 000	0,27	0,24	0,21
Сухая очистка дымовых газов с тканевым фильтром	1 150 000	1 450 000	2 000 000	0,15	0,15	0,13

#### Справочные материалы, использованные в разделе R главы VII:

1. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2003). *Preparation of the background document for the sector of waste incineration*.
2. United Kingdom Environment Agency (2004). *Guidance for the incineration of waste and fuel manufactured from or Including waste*. Sector Guidance Note - IPPC S5.01.
3. European Commission (2006). *Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration*. Available from <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.
4. Rentz, O. and others (1996). *Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany, Sulphur Oxide and Nitrogen Oxide Emission Control*. UFOPLAN-Ref. No. 104 02 360, August 1996.
5. Stubenvoll, J. and others (2002). *State of the Art for Waste Incineration Plants*. Austrian Federal Environment Agency.
6. United Nations Environment Programme, World Meteorological Organisation (2011). *Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone*.
7. Prepared in the framework of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon (2010). *Report by the Co-Chairs of the Ad Hoc Expert Group on Black Carbon*. Twenty-eighth session of the Executive Body. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Informal document no.4. Available from <http://www.unece.org/env/lrtap/executivebody/welcome.28.html> (last accessed October 2014).

8. United State Environment Protection Agency (2012). *Report to Congress on black carbon.*

## S. Деревообрабатывающая промышленность

### 1. Охват

762. Деревообрабатывающая промышленность состоит из многих производств. К основным предприятиям в этом обширном секторе относятся предприятия, выпускающие пиломатериалы, паркет, древесные плиты и мебель.

763. Деревообработка является одним из основных источников выбросов пыли.

764. В данной главе рассматриваются различные производства деревообрабатывающей промышленности. Хотя в деревообрабатывающей промышленности древесина используется в качестве топлива для котлов, сжигание древесины в данной главе не рассматривается.

### 2. Источники выбросов

765. Виды деревообработки распределяются между первичным и вторичным этапом обработки древесины. Первичная обработка включает операции по обработке заготовленных лесоматериалов, в то время как вторичная обработка охватывает производство продукции из первично обработанной древесины.

766. При первичной обработке заготовленную древесину распиливают, окоркуют, фрезеруют или спрессовывают. Далее древесина подвергается вторичной обработке для производства напольных покрытий, плит, мебели, игрушек и т.д.

767. В деревообрабатывающей промышленности используются различные виды древесины; они приведены в нижеследующей таблице [1].

Таблица 88

**Деревообрабатывающие производства (источники выбросов пыли)  
с указанием используемых лесоматериалов**

Процесс	Сухая древесина	Влажная древесина	Лесомате- риалы	Плиты
Переработка бревен		X	X	
Лущение		X	X	
Первичная распиловка		X	X	
Хранение опилок и щепы	X	X		
Измельчение, размол и переработка в щепу		X	X	X
Сушка ламината, стружки и опилок		X	X	X
Сортировка				
Кондиционирование лесоматериалов и сушка древесных плит			X	X
Прессование древесных плит	X			X
Распиловка	X		X	X
Шлифование	X		X	X
Прочая машинная обработка (опиловка кромок, строгание и т.д.)	X		X	X
Очистка цехов	X	X	X	X

768. Уровень и характеристики выбросов пыли зависят от двух основных факторов:

- a) вида обрабатываемой древесины;
- b) влажности обрабатываемой древесины.

769. Поэтому в приведенной выше таблице проводится различие между сухой древесиной, влажной древесиной, лесоматериалами и плитами.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

770. Технологии, используемые для сокращения выбросов пыли, зависят от размера частиц, который в свою очередь зависит от применяемого процесса и используемого вида древесины. Поэтому необходимо различать первичную и вторичную обработку.

#### a) *Этапы первичной обработки [1]*

771. К этапам первичной обработки преимущественно относятся окорка, лущение, первичная распиловка, фрезерование, размол, переработка в щепу и прессование. Указанные процессы не являются основными источниками выбросов тонкодисперсных частиц. Выбросы в основном состоят из частиц диаметром более 700 мкм, за исключением процесса фрезерования, являющегося источником частиц диаметром более 100 мкм.

#### i) Окорка, лущение, первичная распиловка и фрезерование

772. В ходе указанных процессов выбросы пыли в основном состоят из крупных частиц. Для сокращения выбросов пыли при окорке, которая является источником незначительных уровней выбросов, можно считать достаточным распыление воды на бревна, в то время как для борьбы с выбросами пыли при лущении, первичной распиловке и фрезеровании, которые являются источниками более высоких уровней выбросов, можно применять циклоны.

#### ii) Размол и переработка в щепу

773. В большинстве случаев мельницы относятся к открытому оборудованию, и выбросы пыли высоки. Однако сбор выбросов может осуществляться аспирационной системой, а уровни выбросов пыли можно сокращать путем использования тканевых фильтров.

#### iii) Прессование

774. Для уменьшения уровней выбросов пыли при накоплении выбросов в процессе прессования можно использовать мокрый электрофильтр.

#### b) *Этапы вторичной деревообработки [1]*

775. Этапы вторичной деревообработки сопряжены со значительными проблемами с точки зрения выбросов тонкодисперсных частиц. Более высокие уровни выбросов  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  объясняются тем фактом, что на этапах вторичной обработки используется сухая древесина.

776. Процессы сушки, шлифовки и опиловки кромок являются основными источниками высоких уровней выбросов пыли. В ходе рассматриваемых процессов в основном образуются выбросы тонкодисперсных частиц, которые требуют сбора и очистки. Для очистки выбросов из сушильных установок могут использоваться групповые циклоны или сочетание циклонов и система мокрой очистки.



Тканевые фильтры можно использовать для уменьшения выбросов пыли при шлифовке или опилки кромок.

777. Поскольку нагретый воздух, используемый в сушильных установках, обычно поступает из котлов, работающих на древесном топливе, пыль также поступает из котла, и уровни выбросов необходимо снижать до подачи в сушилку.

778. Собранную пыль из тканевых фильтров или иных устройств для борьбы с сухой пылью следует рециркулировать и в максимально возможной степени повторно использовать в процессе или сжигать в качестве биотоплива. Уловленную пыль или древесные опилки следует перемещать на различных стадиях процесса с помощью закрытого транспортера, оборудованного аспирационной системой и системой очистки от пыли.

779. Выбросы из хранилищ древесных опилок в основном носят неконтролируемый характер. Поэтому такие хранилища необходимо защищать от ветра и обеспечивать надлежащее обращение с опилками. Правильная организация производства также может способствовать уменьшению выбросов пыли.

780. Выбросы пыли можно сокращать и за счет использования электрофильтров, хотя эта технология стоит очень дорого и, очевидно, экономически не обоснована в деревообрабатывающей промышленности. Поэтому ее можно считать технологией, предназначенной для новых установок, в то время как тканевые фильтры следует рассматривать как технологии, используемые в существующих установках на большинстве сопряженных с выбросами этапов деревообработки.

781. Производство древесных плит следует рассматривать отдельно от других процессов деревообработки. В деревообрабатывающей промышленности существует множество небольших компаний со штатом менее 20 работников, в то время как предприятия по производству плит значительно крупнее. Поэтому вторичные меры по снижению уровней выбросов пыли более рентабельны в производстве древесных плит, чем на небольших предприятиях деревообрабатывающей промышленности.

Таблица 89

**Уровни выбросов пыли при применении имеющихся методов сокращения выбросов в производстве древесных плит [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Методы</i>	<i>Уровни выбросов при применении имеющихся методов (мг/м<sup>3</sup>)</i>
Сушилки при производстве древесностружечных плит	Циклон	100–230
	Система мокрого скруббирования	15–75
	Сочетание циклона и системы мокрого скруббирования	25
Сушилки при производстве древесноволокнистых плит	Циклон	7
Машинная обработка при производстве древесноволокнистых плит	Рукавные фильтры	0,03–0,6
Сушилки при производстве ориентированно-стружечных плит	Циклонный фильтр	60–70

#### 4. Новые методы

782. Внедрение каких-либо новых методов для деревообрабатывающей промышленности не предполагается.

#### 5. Данные о затратах на внедрение методов сокращения выбросов

783. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор затрат на внедрение различных методов сокращения выбросов в производстве древесностружечных плит.

Таблица 90

**Затраты на внедрение методов борьбы с выбросами дисперсного вещества в производстве древесностружечных плит [2]**

Метод	Инвестиции (евро/1000м <sup>2</sup> плит) <sup>a</sup>
Циклон	5,4
Мокрый циклон	7,2
Тканевые фильтры	21,6
Сухой ЭФ	28,8
Мокрый ЭФ	32,3

<sup>a</sup> Используемый коэффициент пересчета: 1 C\$/1 000 м<sup>2</sup> = 7,19 €/1 000 м<sup>2</sup>.

#### Справочные материалы, использованные в разделе S главы VII:

1. Agence de l'Environnement et De la Maîtrise de l'Energie (2007). *Techniques de dépoussiérage utilisées dans l'industrie en 2006*.
2. Développement Economique Canada (1998). *Carte routière technologique – Panneaux de particules*.

#### T. Распределение бензина (от станции раздачи (бензин) нефтеперерабатывающего завода до автозаправочных станций, включая транспорт и хранилища (бензин))

##### 1. Охват

784. Рассматриваемые операции касаются транспортировки и распределения бензина со станций отправки нефтеперерабатывающих заводов или топливных складов до заправочных станций, нередко через промежуточные хранилища. Топливный склад представляет собой любой объект, предназначенный для хранения и налива бензина в автомобильные, железнодорожные цистерны или на суда, включая все хранилища на территории данного объекта. Нефтеперерабатывающий завод может располагать собственным топливным складом, соединенным с бензинораздаточным трубопроводом, находящимся в непосредственной близости, но не в пределах территории нефтеперерабатывающего завода, или раздаточной станцией, расположенной на территории нефтеперерабатывающего завода. Заправочная станция представляет собой объект, на котором происходит заправка бензином топливных баков автомобилей из стационарных подземных резервуаров [1].

## 2. Источники выбросов

785. На топливных складах бензин хранится в резервуарах с внешней плавающей крышей (ПК внешн.) или внутренней плавающей крышей (ПК внутр.).

786. Бензин перевозится автомобильным, железнодорожным и водным транспортом или перекачивается по трубопроводам; в последнем случае значительных выбросов не наблюдается.

787. На топливных складах используют различные средства залива передвижных емкостей (автоцистерны, железнодорожные цистерны, баржи и танкеры). Залив емкостей производится снизу и сверху. Выбросы ЛОС зависят от типа загружаемой емкости, степени насыщения паров в емкости [2], а также способа залива.

788. Бензин доставляют на заправочные станции, откуда его направляют в подземные хранилища и далее в цистерны автомобильного топлива. На заправочных станциях прием топлива в подземные резервуары осуществляется через фиксированную вертикальную всасывающую трубу, установленную в резервуаре, к которой с помощью муфты подсоединяют автоцистерну. Выбросы ЛОС возникают при заливке резервуара и дыхании резервуара, хотя в последнем случае образуются минимальные выбросы, поскольку резервуар находится под землей и поэтому не подвержен дневным изменениям при солнечном нагреве.

789. На заправочных станциях в дополнение к выбросам при заливке топлива выбросы образуются при заправке автомобилей.

790. Заправка автомобилей считаются основным источником выбросов ЛОС. Эти выбросы обусловлены парами, вытесняемыми из автомобильных баков заливаемым топливом. Основные факторы, определяющие количество выбросов, включают в себя объем заливаемого бензина, его температуру, температуру в баке автомобиля, давление паров бензина и скорость заправки. Температура в баке автомобиля имеет особенно большое значение в случае выбросов при заправке современных автомобилей с инжекторной подачей топлива. Такие выбросы можно сокращать посредством газоуравнительных систем, так называемых мер по сокращению выбросов, принимаемых на этапе II, которые введены на национальной основе законодательством многих стран ЕС, или с помощью крупного блока угольных фильтров, который санкционирован в США.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

791. Варианты сокращения выбросов при заполнении баков автомобилей и резервуара заправочной станции в целом называются мерами по сокращению выбросов, принимаемыми на этапе I. В ЕС указанные операции подпадают под действие Директивы Европейского парламента и Совета 94/63/ЕС от 20 декабря 1994 года о сокращении выбросов ЛОС при хранении бензина и его раздачи с топливных складов заправочным станциям [1]. Варианты сокращения выбросов, касающихся заправки автомобилей, обычно называются мерами по сокращению выбросов этапа II. В рамках целевой стратегической программы, касающейся атмосферных выбросов, ЕС выдвинул предложение о принятии директивы, касающейся этапа II рекуперации паров бензина при заправке легковых автомобилей [8]. Уровни выбросов при применении НИМ.

### а) *Хранение бензина*

792. НИМ описаны в разделе Е главы VII.

*b) Меры по сокращению выбросов, принимаемые на этапе I*

793. К мерам по сокращению выбросов, принимаемым на этапе I, в основном относится применение газоуравнительных систем и установок рекуперации паров (УРП) в целях рекуперации бензина. Изменение способа налива, например налив в автоцистерны снизу, приводит к меньшей утечке паров по сравнению с наливом сверху. Налив снизу обеспечивает уменьшение выбросов ЛОС по сравнению с наливом сверху и, что наиболее важно, обеспечивает более эффективную рекуперацию паров, чем при использовании модифицированных рукавов для налива сверху.

794. Пары, улавливаемые на заправочных станциях при перекачке бензина из автоцистерн, можно рекуперировать, возвращая обратно в автоцистерны, или улавливать их на терминале, оснащенном УРП. Принцип работы УРП основан на адсорбции активированным углем, абсорбции, мембранной сепарации или применении комбинированных систем, сочетающих охлаждение/абсорбцию и сжатие/абсорбцию/мембранную сепарацию [7]. Общая эффективность рекуперации УРП находится в пределах от 95% и более 99% [7]. Меры по сокращению выбросов, принимаемые на этапе I, предполагают также модификацию автоцистерн и железнодорожных цистерн, а также судов и барж. В последнем случае особое внимание следует обращать на соблюдение норм безопасности, особенно для предотвращения воспламенения и избыточного или недостаточного давления в грузовых танках.

*c) Меры по сокращению выбросов, принимаемые на этапе II*

795. Выбросы ЛОС при заправке автомобилей можно сократить с помощью газоуравнительных систем, так называемых мер по сокращению выбросов, принимаемых на этапе II, или путем увеличения размеров штатного бачка на автомобиле для улавливания паров топлива на горячем двигателе. Технические возможности мер по сокращению выбросов, принимаемых на этапе II, позволяют довести степень рекуперации до 85–92% (в зависимости от коэффициента улавливания). Затраты на этапе II в значительной степени зависят от местных условий и меняются в широких пределах.

796. Для уменьшения выбросов ЛОС при заполнении бака автомобиля на заправочных станциях можно использовать системы активного улавливания паров. Они работают по следующему принципу: смесь паров бензина и воздуха, высвободившаяся из бака при заполнении, засасывается в топливораздаточный пистолет и по топливораздаточному рукаву возвращается в резервуар для хранения. Смесь воздуха/паров должна возвращаться пропорционально расходу закаченного бензина. К компонентам открытой активной системы улавливания паров бензина относятся:

- a) топливораздаточный пистолет с улавливанием паров;
- b) рукав, через который осуществляется сбор паров, и патрубок, через который они возвращаются в подземный резервуар;
- c) вакуумный насос и система контроля соотношения объема уловленных паров и объема бензина, залитого в бак автомобиля.

797. Необходимо, чтобы соотношение пар/бензин (П/Б) находилось в пределах 95–105/110% по объему. Не допускается использовать более высокое соотношение П/Б во избежание избыточного роста давления и, следовательно, выброса ЛОС через предохранительные клапаны сброса давления резервуара.

798. Регулировать это соотношение можно с помощью гидравлического или электронного перепускного клапана с пропорциональным управлением.

Наибольшее распространение получили электронные системы управления. Обычно различают две системы: улавливание паров с электронным управлением (УПЭУ) – с разомкнутым контуром – без регулирования и улавливание паров с электронным управлением – самокалибрующееся газовое – с регулированием.

799. При использовании активных систем УПЭУ без регулирования эффективность рекуперации ЛОС невозможно эффективно поддерживать в течение всего срока службы системы. Без тщательного и периодического технического обслуживания и осмотров эффективность снижается, поскольку соотношение П/Б резко отклоняется от оптимальных величин. Утечка в паровом трубопроводе снижает объем возвращаемых паров и, следовательно, эффективность рекуперации.

800. При использовании активных систем УПЭУ с регулированием контроль за рекуперацией паров корректируется после каждой операции заполнения. Каждое отклонение от оптимального значения компенсируется электронными средствами. Таким образом, эффективность остается стабильной в течение всего срока службы системы.

801. В обоих случаях теоретическая эффективность улавливания выбросов ЛОС составляет примерно от 85% до 92% по массе. Однако в реальной жизни эффективность УПЭУ с регулированием является постоянной и, следовательно, выше, чем эффективность УПЭУ без регулирования. В процессе эксплуатации можно наладить выявление неисправностей и установить сигнализирующие устройства, чтобы не допустить нарушения оптимальных эксплуатационных значений. При выявлении неисправности можно прекратить подачу бензина пока неисправность не будет устранена [3]. В настоящее время такая мера применяется в отдельных странах, таких как Германия, Швейцария и Великобритания

802. Хотя опыт мер первого поколения на этапе II оказался неудачным, сочетание обычных испытаний в сухом состоянии (в ходе которых электронными средствами имитируется поток жидкости и замеряется объем всасываемого воздуха) и регулярных внешних осмотров персоналом заправочной станции, а также установка системы с кодом отказа (которая контролирует исправность оборудования, например работу насосов для откачки паров и функционирование дыхательных клапанов в пределах проектных значений) может обеспечить постоянную высокую эффективность улавливания при затратах примерно в одну десятую расходов на автоматические системы мониторинга.

803. Для обеспечения общей эффективности рекуперации ЛОС примерно в 95% по массе соотношение П/Б следует умножить на коэффициент 1,3–1,5 [4]. Однако системы рекуперации паров с соотношением П/Б более 100–110% можно использовать только в том случае, если применяются дополнительные системы, способные предотвратить рост избыточного давления и тем самым выброс ЛОС через дыхательные клапаны резервуара. Работа данных систем основана на применении мембранных технологий или принципах сжатия и конденсации [4] [6]. Например, мембранную установку размещают параллельно патрубку деаэрации подземного резервуара. Пар, отсасываемый при заправке автомобиля, с помощью активной системы постоянно возвращается в резервуар. Однако принято использовать более высокое соотношение П/Б. Таким образом, избыточное количество паров создает повышенное давление в резервуаре-хранилище. Манометр вакуумного насоса мембранной установки контролирует давление. При определенном давлении включается вакуумный насос, и давление в резервуаре сбрасывается посредством мембранного модуля в атмосферу. Согласно документу 4 при этом обеспечивается общая эффективность в 95%.

804. Могут применяться и другие системы рекуперации паров, в которых улавливание паров бензина происходит на заправочной колонке, после чего они воз-

вращаются в продажу. К такому оборудованию относится активная система всасывания паров с применением вакуумного насоса, теплообменника и компрессора, который конденсирует пары бензина, а также резервуар, в котором вода отделяется от рекуперированного бензина. Рекуперированный бензин возвращается на топливораздаточную колонку для заправки автомобилей.

Таблица 91

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на бензинораздаточной станции нефтеперерабатывающего завода**

<i>Источник выбросов</i>	<i>НИМ и эффективность сокращения</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ* кг ЛОС/м<sup>3</sup>/кПа [2], [7]</i>
Заполнение автоцистерны, заправка снизу или сверху и выравнивание давления паров с предыдущим заполнением и УРП		0,0228 x 0,05 до 0,0228 x 0,01
Железнодорожная цистерна, наполнение сверху и УРП	УРП при 95–99% эффективности [7]	0,0108 x 0,05 до 0,0108 x 0,01
Морской танкер, стандартные условия наливных танков		0,004 x 0,05 до 0,004 x 0,01
Баржа – стандартные условия наливных танков		0,007 x 0,05 до 0,007 x 0,01

\* В справочном документе [7] не указаны, но подсчитаны в справочном документе [2].

Таблица 92

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на промежуточных бензинораздаточных складах**

<i>Промежуточный склад</i>		
<i>Источник выбросов</i>	<i>НИМ и эффективность сокращения</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ кг ЛОС/м<sup>3</sup>/кПа* [2], [7]</i>
Бензохранилище	С внутренней плавающей крышей и с внешней плавающей крышей Другие конструкции и соответствующая окраска от 97% до 99,5% по сравнению с резервуарами со стационарной крышей без измерения [9]	См. приведенную эффективность
Наполнение автоцистерн, наполнение снизу или сверху и выравнивание давления паров в ходе предыдущих сливов и УРП	УРП с 95–99% эффективностью [7]	0,0228 x 0,01 до 0,0228 x 0,05

\* В справочном документе [7] не указаны, но подсчитаны в справочном документе [2].

Таблица 93

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС на заправочных станциях**

Источник выбросов ЛОС	Заправочные станции		Уровни выбросов при применении НИМ кг ЛОС/м <sup>3</sup> /кПа*[2] и [6]
	Имеющиеся технологии	Эффективность сокращения	
Налив в подземный резервуар	Возвращение паров в подвижную емкость (потери от дыхания не рассматриваются)	Эффективность возвращения паров >95%	0,0011
Заправка автомобилей	Активные системы с надлежащим управлением и техническим обслуживанием с общим соотношением пар/бензин от 95% до 105% по объему	Эффективность рекуперации паров > 85% по массе	0,0367 x 0,15

\* кПа является показателем истинного давления поставленного продукта, м<sup>3</sup> бензина.

**4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

805. Имеются данные о затратах заправочных станций на реализацию этапа I и этапа II. Затраты заправочных станций зависят от размера станции. Оценку затрат можно выполнять на основе приведенной ниже таблицы. Капитальные затраты на реализацию этапа I получены по данным ГЭТЭВ [5]. Капитальные затраты на стандартные УПЭУ без регулирования для топливораздаточной колонки основываются на данных выполненного СИТНПА в 2007 году исследования АДЕМЕ, обобщение которого опубликовано [6].

Таблица 94

**Затраты заправочных станций разного размера на реализацию этапа I и этапа II**

		Выбросы кг ЛОС/год	Предотвращенные выбросы кг ЛОС/год	Инвестиции евро	Эксплуатационные расходы евро/год	Общие годовые затраты (10 лет и процентная ставка 4%) евро/год	Затраты на тонну сокращенных ЛОС евро/т предотвращенных выбросов ЛОС
RI01 <100 м <sup>3</sup> /год	Без сокращения	90					
	Этап I	59	32	6 400		789	24 955
	Этапы I и II	16	74	14 300	100	1 863	25194
RI02 100 до 500 м <sup>3</sup> /год	Без сокращения	588					
	Этап I	382	206	9800		1 208	5 879
	Этапы I и II	107	481	22 600	200	2 986	6 213
RI03 500 до 1 000 м <sup>3</sup> /год	Без сокращения	1 582	0				
	Этап I	1 028	553	12 600		1 553	2 807
	Этапы I и II	288	1 294	30 200	400	4 123	3 186
RI04 1 000 до 2 000 м <sup>3</sup> /год	Без сокращения	4 067					
	Этап I	2 645	1 423	15 200		1 874	1 317
	Этапы I и II	740	3 328	37 900	600	5 273	1 584

		Выбросы кг ЛОС/год	Предотвраще- нные выбросы кг ЛОС/год	Инвести- ции евро	Эксплуатаци- онные расхо- ды евро/год	Общие годовые затраты (10 лет и процентная ставка 4%) евро/год	Затраты на тонну сокращенных ЛОС евро/т предот- вращенных вы- бросов ЛОС
RI05	Без сокращения	5 197					
2 000 до 3 000 м <sup>3</sup> /год	Этап I	3 379	1 818	17 500		2 158	1 187
	Этапы I и II	945	4 252	45 000	800	6 348	1 493
RI06	Без сокращения	7 909					
3 000 до 4 500 м <sup>3</sup> /год	Этап I	5 142	2 767	19 800		2 441	882
	Этапы I и II	1 438	6 471	52 100	1 000	7 423	1 147
RI07	Без сокращения	19 208					
>4 500 м <sup>3</sup> /год	Этап I	12 488	6 719	27 000		3 329	495
	Этапы I и II	3 493	15 714	79 000	2 000	11 740	747

806. Что касается активных систем, то коэффициент эффективности затрат зависит от размера станций и снижается при уменьшении их размера. Расходы заправочных станций мощностью 3 000 м<sup>3</sup> в год колеблются в пределах от 900 до 1 350 евро/т сокращенных выбросов ЛОС, станций мощностью свыше 1 000–3 000 м<sup>3</sup> в год – 1 700–1 800 евро/т сокращенных выбросов ЛОС и увеличиваются для станций меньшего размера: 3 500 евро/т сокращенных выбросов ЛОС для станций мощностью от 500 до 1 000 м<sup>3</sup> в год, 6 500 евро/т сокращенных выбросов ЛОС для станций мощностью от 100 до 500 м<sup>3</sup> в год, и 25 400 евро/т уменьшенных выбросов летучих органических соединений для станций мощностью менее 100 м<sup>3</sup> в год.

### Справочные материалы, использованные в разделе Т главы VII:

1. European Commission (1994). *European Parliament and Council Directive 94/63/EC of 20 December 1994 on the control of volatile organic compound (NMVOC) emissions resulting from the storage of petrol and its distribution from terminals to service stations.*
2. CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Emission Reporting Methodologies (STF-69) (2009). *Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries.* CONCAWE report1/09. Available from <https://www.concawe.eu/>.
3. The Association of German Engineers (2006). *Measurement and test methods for the assessment of vapour recovery systems on filling station. System test of automatic monitoring systems of active vapour recovery systems.* VDI 4205 Part 5.
4. Ohlrogge, K. and others. *Membrane based vapour recovery at petrol stations – GKSS forschungszentrum.*
5. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2003). *Background document on distribution of gasoline – Service stations.* Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_index.htm#Stateprogress](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_index.htm#Stateprogress).



6. ADEME (2007). *VOC emissions from service stations – Synthesis*. Prepared by CITEPA for ADEME. <http://www.ademe.fr/emissions-covnm-issues-stations-service>.
7. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques for mineral oil and gas refineries*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
8. Proposal for a European Parliament and Council Directive on Stage II petrol vapour recovery during refueling of passenger cars at service stations, {SEC(2008) 2937}, {SEC(2008) 2938} 4.12.2008, COM(2008) 812 final.
9. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques on emissions from storage*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.

## **U. Хранение органических соединений и обращение с ними (за исключением бензина, вопрос о котором рассматривался в разделах Е и Т главы VII)**

### **1. Охват**

807. В настоящей главе рассматривается вопрос о хранении и обращении с органическими веществами (давление паров более 10 Па при 20 °C), которые применяются в таких областях, как промышленность по производству органических химикатов, использование растворителей и тонкий органический синтез и т.д. Вопрос о хранении и обращении с бензином был рассмотрен в разделах Е и Т главы VII.

### **2. Источники выбросов**

808. Хранение и обращение с жидкими органическими веществами (давление паров выше 10 Па при 20 °C) могут рассматриваться в качестве источников выбросов летучих органических соединений.

### **3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)**

809. Описание НИМ заимствовано из документов 1 и 2.

#### *а) Хранение*

##### **i) Конструкция хранилища**

810. В НИМ надлежащего конструирования хранилищ следует учитывать по меньшей мере следующее:

- а) физико-химические свойства хранимого вещества;
- б) режим эксплуатации хранилища, необходимый уровень КИП, штат операторов и их рабочая нагрузка;
- в) систему оповещения операторов об отклонениях от нормальных параметров процесса (сигнализация);
- г) меры, принимаемые для недопущения отклонений от нормальных условий эксплуатации хранилища (инструкции по технике безопасности, системы блокировки, устройства сброса давления, обнаружение утечек и их устранение и т.д.);
- е) установку необходимого типа оборудования, прежде всего с учетом предшествующего опыта обращения с продуктом (конструкционные материалы, качество клапанов, и т.д.);

f) необходимые меры по техническому обслуживанию и осмотрам, а также по упрощению их проведения (доступ, схема расположения и т.д.);

g) оперативный план действий в аварийных ситуациях (расстояние до других резервуаров, сооружений и до границы хранилища, противопожарные мероприятия, доступ для аварийного обслуживания, например, для пожарных и т.д.).

ii) Осмотры и техническое обслуживание

811. НИМ заключается в применении такого инструмента для составления планов профилактического ремонта и разработки основанных на оценке рисков планов инспекций, как подход к профилактическому ремонту, опирающийся на учет рисков и нацеленный на обеспечение надежности. Инспекционная работа включает плановые проверки, наружные осмотры в процессе эксплуатации и внутренние осмотры с выводом из эксплуатации.

iii) Окраска резервуаров

812. НИМ заключается в покраске резервуара тепло- и светоотражающими красками с коэффициентом отражения не менее 70%, или организации солнцезащитного экрана для наземных резервуаров, в которых хранятся летучие вещества.

iv) Принцип минимизации выбросов при хранении в резервуарах-хранилищах

813. НИМ предусматривает сокращение выбросов при хранении веществ в резервуаре, при их перекачке и при обращении с ними.

v) Резервуар с плавающей крышей

814. Уровень выбросов при применении НИМ для крупного резервуара составляет не менее 97% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер), и такой величины можно добиться, если 95% кольцевого зазора между крышей и стенкой составляют менее 3,2 мм, а при этом применяются гидравлические или механические затворы. Путем установки первичных гидравлических затворов и вторичных уплотняющих затворов можно добиться сокращения выбросов в атмосферу до 99,5% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер). Однако выбор уплотнения зависит от надежности, например предпочтительнее использовать затворы башмачного типа вследствие их продолжительного срока службы и, следовательно, меньшей сменяемости.

815. К НИМ относится применение плавающих крыш прямого контакта (двухслойных); существующие плавающие крыши неконтактного типа (понтонные) также рассматриваются в качестве НИМ.

816. К дополнительным мерам по сокращению выбросов относятся:

- a) применение поплавка в направляющей стойке с прорезью;
- b) применение рукавов над направляющей стойкой с прорезью; и/или
- c) применение рукавов над опорами крыши.

vi) Резервуары со стационарной крышей

817. Резервуары со стационарной крышей используются для хранения легко воспламеняющихся и других жидкостей, таких как нефтепродукты и химические вещества всех классов токсичности.

818. Для хранения летучих веществ, которые относятся к категориям 1 и 2 токсичных (Т), крайне токсичных (Т+), канцерогенных, мутагенных и токсичных для репродуктивной системы (CMR) в резервуаре со стационарной крышей в качестве НИМ рассматривается применение установки для обработки паров.

819. Для других веществ в качестве НИМ рассматриваются использование установки для улавливания паров или установка внутренней плавающей крыши.

820. Выбор технологии улавливания паров зависит от таких критериев, как стоимость, токсичность продукта, эффективность сокращения выбросов, количества остаточных выбросов и возможности рекуперации продукта или энергии, и должен осуществляться применительно к каждому конкретному случаю. Уменьшение уровней выбросов при применении НИМ составляет не менее 98% (по сравнению с резервуаром с фиксированной крышей без применения каких-либо мер).

821. Достижимое снижение выбросов для крупного резервуара с внутренней плавающей крышей составляет как минимум 97% (по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без применения каких-либо мер). Такого уровня можно добиться, если более 95% кольцевого зазора между крышей и стенкой составляют менее 3,2 мм, и при этом применяются гидравлические или механические затворы. Путем установки первичных гидравлических затворов и вторичных уплотняющих затворов можно добиться дальнейшего сокращения выбросов в атмосферу. Однако чем меньше объем резервуара и чем меньше циклов наполнения–слива, тем ниже эффективность плавающей крыши.

*b) Перекачка и обращение*

i) Осмотры и техническое обслуживание

822. НИМ заключается в применении такого инструмента для составления планов профилактического ремонта и разработки основанных на оценке рисков планов инспекций, как подход к профилактическому ремонту, опирающийся на учет рисков и нацеленный на обеспечение надежности.

ii) Программа обнаружения и устранения утечек

823. Для крупных хранилищ в зависимости от свойств хранимых продуктов НИМ является осуществление программы обнаружения и устранения утечек. Особое внимание необходимо обращать на условия, в которых наиболее вероятно образование выбросов (например, газ/легкие жидкости под высоким давлением/или при высокой температуре).

iii) Принцип минимизации выбросов при хранении в резервуаре

824. НИМ является сокращение выбросов из резервуаров-хранилищ при сливе и обращении, в результате которых значительно ухудшается состояние окружающей среды. Это применимо для крупных хранилищ, которые требуют определенного периода для практической реализации.

iv) Порядок эксплуатации и профессиональная подготовка

825. НИМ заключается в принятии необходимых организационных мер и их строгом выполнении, а также в обучении и профессиональной подготовке персонала по вопросам безопасной и ответственной эксплуатации установки.

v) Трубопроводы

826. К НИМ относится применение наземных закрытых трубопроводов в новых условиях. Для существующих подземных трубопроводов в качестве НИМ рас-

смаатривается проведение профилактического ремонта, нацеленного на исключение риска и обеспечение надежности.

827. Фланцевые соединения с болтовым крепежом и уплотнительные прокладки являются значительным источником неорганизованных выбросов. НИМ заключается в сведении к минимуму количества фланцевых соединений путем их замены сварными соединениями с учетом эксплуатационных требований к техническому обслуживанию оборудования или гибкости системы перекачки.

828. К НИМ для фланцев с болтовым крепежом относятся:

- a) установка глухих фланцев на редко используемой арматуре для предотвращения случайного открытия;
- b) установка глухих муфт или заглушек на открытых линиях, но не клапанах;
- c) правильный выбор уплотнительных прокладок применительно к процессу;
- d) обеспечение правильной установки уплотняющих прокладок;
- e) обеспечение надлежащей сборки и установки фланцевого соединения;
- f) при перекачке токсических, канцерогенных и других опасных веществ, установка надежных прокладок высокой степени надежности, таких как силиконовые уплотнения, гофрированные или кольцевые прокладки.

829. Причиной коррозии внутренней поверхности может стать агрессивный характер перекачиваемой продукции. НИМ для предупреждения коррозии являются:

- a) выбор конструкционных материалов, устойчивых к продукту;
- b) применение надлежащих методов конструирования;
- c) планово-профилактическое техническое обслуживание; и
- d) если применимо, нанесение внутреннего покрытия или добавление ингибиторов коррозии.

830. НИМ предотвращения коррозии наружной поверхности трубопроводов является применение одно-, двух- или трехслойных покрытий в зависимости от конкретных условий на площадке (например, близость к морю). Как правило, покрытие не наносится на трубопроводы из пластмассы или нержавеющей стали.

#### vi) Улавливание паров

831. НИМ является уравнивание давления паров или обработка наиболее значительных выбросов при погрузке летучих соединений на грузовые машины, баржи и суда и выгрузке с них. Уровень выбросов зависит от вещества и объема выбросов и определяется отдельно для каждого конкретного случая.

#### vii) Клапаны

832. К НИМ для клапанов относятся:

- a) правильный выбор уплотнительного материала и конструкции для конкретного процесса;
- b) при мониторинге следует обращать особое внимание на те клапаны, которые наиболее подвержены риску (такие, как клапаны управления с выдвижным штоком при непрерывной эксплуатации);

c) применение поворотных клапанов управления или насосов с переменным расходом вместо клапанов управления с выдвижным штоком;

d) там, где происходит обращение с токсическими, канцерогенными или опасными веществами, следует устанавливать диафрагмы, сильфоны или двухстеночные клапаны;

e) направление выбросов через предохранительные клапаны обратно в систему перекачки или хранения или в систему улавливания паров.

viii) Установка насосов и компрессоров и техническое обслуживание насосов и компрессоров

833. На возможный срок службы и надежность уплотнений большое влияние оказывают конструкция, установка и эксплуатация насоса или компрессора. Ниже перечисляются некоторые основные факторы, которые составляют НИМ:

a) надежное крепление насосной или компрессорной установки к основанию или раме;

b) поддержание сил в соединительной трубе в соответствии с инструкциями изготовителя;

c) надлежащая конструкция всасывающего патрубка для сведения к минимуму гидравлического сопротивления;

d) расположение вала и кожуха в соответствии с инструкциями изготовителя;

e) компоновка привод/насос или компрессор в соответствии с инструкциями изготовителя;

f) правильная балансировка вращающихся частей;

g) эффективная предпусковая подготовка насосов и компрессора до начала работы насоса и компрессора в соответствии с параметрами, рекомендуемыми изготовителем (оптимальный режим достигается в рабочей точке);

h) существующий уровень полезного кавитационного запаса насоса всегда должен быть выше оси насоса или компрессора;

i) регулярные осмотры и техническое обслуживание вращающегося оборудования и системы уплотнений в сочетании с планом ремонта и замены оборудования.

ix) Система уплотнений насосов

834. НИМ заключается в правильном выборе типов насосов и уплотнителей для соответствующего процесса, предпочтительно насосов, которые специально сконструированы в герметичном исполнении, например, такие как экранированные электронасосы, насосы с магнитной муфтой, насосы с несколькими механическими уплотнениями и системой остановки или буферной системой, насосы с несколькими механическими уплотнениями и уплотнениями с осушкой в атмосферу, диафрагменные насосы или сильфонные насосы.

x) Система уплотнений компрессоров

835. Для компрессоров, перекачивающих нетоксичные газы, стандартным НИМ является использование механических уплотнений с газовой смазкой. Для компрессоров, перекачивающих токсичные газы, в качестве НИМ рекомендуются использование двойных уплотнений с жидким или газовым барьером и продувка

технологической части герметичного уплотнения инертным буферным газом. При работе под очень высоким давлением НИМ является применение системы тройных тандемных уплотнений.

Таблица 95

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов ЛОС при хранении органических соединений**

Источники выбросов	Сочетание НИМ	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ
Резервуары для хранения летучих продуктов	Внутренняя плавающая крыша Внешняя плавающая крыша Прочие конструкции резервуаров и соответствующая окраска	97–99,5% по сравнению с резервуаром со стационарной крышей без принятия каких-либо мер*

\* Если такой эффективности невозможно добиться в силу особых характеристик резервуара (таких, как небольшой объем или малый диаметр), то необходимо применять наилучшие имеющиеся первичные и вторичные меры.

**4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

836. Данные о затратах отсутствуют.

**Справочные материалы, использованные в разделе U главы VII:**

1. European Commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques in emissions from storage*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
2. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques on emissions from storage*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.

**V. Производство органических химикатов (за исключением производства продукции тонкого органического синтеза, раздел W главы VII)**

**1. Охват**

837. В данной главе под промышленностью органических химикатов понимаются производства, выпускающие следующие виды продукции:

- a) низшие олефины, такие как этилен и пропилен, получаемые главным образом путем пиролиза с разбавлением водяным паром;
- b) ароматические соединения, например бензол и толуол;
- c) оксигенатные соединения;
- d) азотсодержащие соединения;
- e) галогенизированные соединения;
- f) полимеры (полиэтилен, полипропилен, ПВХ, полиэстеры, полистирол и т.д.).

## 2. Источники выбросов

838. При производстве органических химикатов выбросы разнятся в широких пределах в зависимости от продуктов и производственных процессов. Нередко один и тот же продукт получают в результате различных процессов, каждый из которых отличается характеристиками своих выбросов ЛОС.

839. Выбросы ЛОС поступают из нескольких перечисленных ниже основных источников:

- a) неорганизованные выбросы. Неорганизованные выбросы ЛОС происходят из негерметичных компонентов оборудования, работающих под давлением в технологических установках, например, клапанов, фланцевых соединений и соединителей, открытых линий и систем отбора проб, содержащих летучие жидкости или газы. Летучие продукты определены в CEN 15446 [6] (Европейский комитет по стандартизации) и документе [7] как все продукты, около 20% которых по массе имеют давление паров выше 0,3 кПа при 20 °C;
- b) выбросы дымовых газов;
- c) факельные системы (используются для безопасной утилизации углеводородов или водорода, которые невозможно рекуперировать в самом процессе);
- d) хранение и обращение с химическими веществами, которые были рассмотрены в разделе U главы VII.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

### a) Новые установки

840. При разработке новых процессов или при существенных модификациях уже существующих процессов в качестве НИМ предлагается исходить из следующего набора мер:

- a) проведение химических реакций и процессов сепарации непрерывно в замкнутом оборудовании;
- b) соблюдение иерархии операций в ходе непрерывных процессов продукции технологических аппаратов: повторное использование, рекуперация, сжигание в оборудовании по борьбе с загрязнением воздуха и сжигание в неспециализированном оборудовании;
- c) минимальное использование энергоресурсов и максимальная рекуперация энергии;
- d) использование соединений с низким или более низким давлением паров.

841. Модификация процессов, включая изменение перерабатываемого сырья и продуктов производства, в отдельных случаях может способствовать уменьшению выбросов ЛОС. Для сокращения объемов образования нежелательных побочных продуктов можно применять новые химические реакции или принципы. Совершенствование процессов следует использовать как в целях рекуперации и рециркуляции побочных продуктов, так и в целях максимально возможной изоляции открытого технологического оборудования.

842. Одной из эффективных мер по уменьшению потока отработанных газов и выбросов ЛОС, образующихся в процессах окисления и оксихлорирования (например, производство винилхлорида), является использование чистого кислорода вместо воздуха. На новых установках окисления и оксихлорирования обычно используется только чистый кислород.

*b) Неорганизованные выбросы ЛОС*

843. НИМ для предотвращения и сокращения неорганизованных выбросов ЛОС считается сочетание программы обнаружения и устранения утечек и использования высокопроизводительного оборудования.

844. Программа обнаружения и устранения утечек (ПОУУ) заключается в измерении концентраций ЛОС в атмосфере вокруг мест потенциальной утечки и последующей локализации неисправного оборудования, утечки из которого превышают установленное пороговое значение, и последующего ремонта негерметичных единиц оборудования. Программа ПОУУ основана на следующих принципах [5]:

- a) определение утечек и установление соответствующих пороговых значений;
- b) планирование периодичности осмотров;
- c) составление перечня и идентификация включенных компонентов;
- d) установленный порядок ремонта негерметичных компонентов с учетом категории утечки.

845. Срочный мелкий ремонт, например герметизацию негерметичного оборудования, можно выполнять сразу. Техническое обслуживание и сложный ремонт необходимо планировать заранее. Их можно выполнить при плановом останове.

846. Герметизацию оборудования можно выполнять без прекращения его работы (за исключением клапанов дистанционного управления (например, затяжку болтов для устранения утечек из штоков клапанов или фланцев, установку герметичных заглушек на открытые линии и т.д.)).

847. Техническое обслуживание с демонтажем оборудования или его заменой можно выполнять только при останове установки с изоляцией контуров и дегазацией. Таким образом, в зависимости от ситуации при останове установки можно проводить два вида программ технического обслуживания [5]:

- a) текущее техническое обслуживание: техническое обслуживание оборудования (фланцы + клапаны) для замены отдельных деталей или замены оборудования новым аналогичным оборудованием;
- b) капитальный ремонт: полная замена клапанов более качественной арматурой, работающей без утечек. Текущее техническое обслуживание выполняется для фланцев.

848. Высокопроизводительное оборудование состоит из следующих элементов [1]:

- a) клапаны: клапаны с малой степенью утечки с двойными сальниковыми уплотнениями, сильфонными уплотнениями для применения в зонах жестких технологических условий;
- b) насосы: двойные уплотнения с жидким или газовым барьером или герметичные насосы;
- c) компрессоры и вакуумные насосы: двойные уплотнения с жидким или газовым барьером или бессальниковые насосы, или технология простого уплотнения с эквивалентным уровнем выбросов;
- d) фланцы: сведение количества к минимуму, использование эффективных прокладок;



е) открытые концы: глухие фланцы, муфты и заглушки на редко используемой арматуре, использование замкнутой промывки в местах отбора проб жидкости, а для анализаторов пробоотборных систем – оптимизация объема/периодичности отбора, сведение к минимуму длины пробоотборных линий или оснащение их кожухами;

ф) предохранительные клапаны: установка входной предохранительной мембраны.

с) *Выбросы ЛОС из дымовых труб*

849. Содержание ЛОС в отходящих газах можно ограничивать с помощью стандартных методов сокращения выбросов органических загрязнителей из стационарных источников, т.е. адсорбции, абсорбции, конденсации, мембранных процессов, термического и каталитического окисления сернистых соединений, а также модификации процесса. Эти технологии рассмотрены в разделе С-2 главы V. Соответствующая информация также приведена в справочном материале [3].

д) *Выбросы из факельных систем*

850. Для предотвращения выбросов из факельных систем в качестве НИМ рекомендуются:

а) сведение к минимуму сброса углеводородов на факел путем надлежащего проектирования установки и управления ею;

б) для проектирования и эксплуатации мачтового факела – установка постоянных запальных устройств и системы обнаружения пламени, эффективное смешивание, контролируемое соотношение потока углеводородов и дистанционный мониторинг с помощью системы видеонаблюдения;

с) в мачтовом факеле эффективность сжигания составляет более 99%, а в наземном факеле – 99,5%.

е) *Выбросы ЛОС при хранении, обращении и перекачке [1] [2] [4]*

851. К НИМ хранения, обращения и перекачки, кроме описанных в разделе V главы VII, относится соответствующее сочетание или выбор, в частности, следующих технологий:

а) внешняя плавающая крыша с вспомогательными затворами (не для крайне опасных химических соединений), стационарная крыша;

б) резервуары с внутренней плавающей крышкой и уплотняющими кольцевыми затворами (для более летучих соединений), резервуар со стационарной крышей;

с) с подушкой инертного газа, хранение под давлением (для крайне опасных веществ или веществ с неприятным запахом);

д) соединение резервуаров и передвижных емкостей уравнительными трубопроводами;

е) минимизация температуры в хранилище;

ф) КИП и процедуры, предотвращающие перелив;

г) непроницаемая вторичная защитная оболочка резервуара емкостью 110% относительно самого крупного резервуара;

- h) рекуперация ЛОС из вентиляционных клапанов (путем конденсации, абсорбции или адсорбции) перед рециркуляцией или их уничтожением при сжигании в энергетической установке, установке для сжигания отходов или факеле;
- i) постоянный мониторинг уровня жидкости и его колебаний;
- j) трубопроводы заполнения резервуаров, которые проходят ниже поверхности жидкости;
- k) налив снизу во избежание расплескивания;
- l) установка сенсорных устройств на заливочных рукавах для обнаружения чрезмерных перемещений;
- m) самозапорные муфты на шлангах/сухо-разъемное соединение.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

852. Удельные затраты находятся в пределах от –100 до +180 евро/т уменьшенных выбросов ЛОС в соответствии с мерами по уменьшению выбросов, которые получены на основе данных ГЭТЭВ [8], для внедрения программы ПОУУ по снижению неорганизованных выбросов в установках парового крекинга. Отрицательные значения затрат указывают на значительную экономию и компенсацию расходов.

853. Диапазон удельных затрат может быть более значительным и находится в пределах, например, от 310 до 1 050 евро/т уменьшенных выбросов в соответствии с мерами по уменьшению выбросов, рассмотренными при анализе производства ПВХ [9].

#### Справочные документы, использованные в разделе V главы VII:

1. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques in the large volume organic chemical industry*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
2. European Commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques in the production of polymers*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
3. European Commission (2003). *Reference document on Best Available Techniques in common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
4. European Commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques from storage*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
5. Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques. *Background document on the organic chemical industry*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
6. BS EN15446:2008 (2008). *Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors – Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks*.
7. United States Environment Protection Agency (1995). *Protocol for equipment leak – Emission estimates*. EPA-453/R-95-017.
8. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Organic chemical industry – steam cracking – synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Proc-Chemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Proc-Chemical.htm).
9. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Organic chemical industry – Production of PVC – synopsis sheet – 3*.

Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Proc-Chemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Proc-Chemical.htm).

## **W. Промышленность тонкого органического синтеза**

### **1. Охват**

854. Промышленность тонкого органического синтеза характеризуется многообразием малотоннажных производств различных химических веществ на многоцелевых и многопрофильных заводах (фармацевтические активные препараты, биологические и пищевые добавки, фотографические материалы, красители и промежуточные продукты, пестициды и другие специализированные продукты и т.д.) [1].

855. Производство фармацевтических препаратов является частью промышленности по производству органических химикатов и охватывает:

а) производство первичной фармацевтической продукции: производство нефасованных фармацевтических препаратов, промежуточных продуктов и активных фармакологических веществ путем синтеза, ферментации, экстракции или других процессов на многоцелевых и многопрофильных заводах, а также серийное производство;

б) деятельность, связанная с изготовлением разработанных медикаментов и лекарств на основе использования активных ингредиентов, поставляемых заводами по производству нефасованных препаратов (осуществляется на предприятиях по производству конечной продукции). Активные фармакологические вещества преобразуются в готовую для употребления продукцию. Производство включает непосредственное изготовление лекарств и их фасовку и упаковку.

856. В данной главе рассматриваются только выбросы ЛОС.

### **2. Источники выбросов**

857. Эта промышленность является крайне неоднородной: заводы изготавливают самую разнообразную продукцию с использованием большого количества производственных процессов и на них могут храниться и использоваться сотни различных видов сырьевых материалов и промежуточных продуктов. Процессы, как правило, осуществляются малотоннажными партиями и на многоцелевых установках. Для одного активного вещества требуется несколько этапов трансформации. Процессы, как правило, включают от одного до сорока этапов трансформации, в зависимости от молекулярного состава. В ходе этих технологических этапов осуществляется полный цикл типовых операций, например: реакций, жидкостной экстракции, разделения жидкостей или жидкостей/твердых веществ, или газа/твердых веществ, дистилляции, кристаллизации, сушки, адсорбции газа и т.д. Производство носит неоднородный характер (или предусматривает выпуск продукции партиями). Специальное оборудование используется реже, чем многоцелевое. В этих процессах нередко применяются растворители. Любые вступившие в реакцию сырьевые материалы можно рекуперировать, рециркулировать или сбросить в атмосферу после соответствующей обработки.

858. В связи с разнообразием используемых в этом секторе процессов невозможно дать их простое описание. Вместо этого предлагается краткий обзор характеристик существующих заводов по производству фармацевтических продуктов.

*a) Значительное количество мест выбросов ЛОС*

859. Сети газообразных сбросов относятся к сложным объектам. Нередко для одного и того же оборудования в зависимости от выполняемых операций имеется несколько мест сброса. Большое количество мест сброса образуется в следующих случаях:

а) при нормативных ограничениях по качеству, установленных в данном секторе, для недопущения взаимного загрязнения;

б) при ограничениях, вызванных соображениями безопасности, например, с целью не допустить контакта несовместимых газов.

860. Заводы с ежегодным расходом растворителя в пределах от 900 до 1 500 т могут быть оборудованы 10–50 вентиляционными трубами для отвода выбросов ЛОС в атмосферу.

861. Большое количество мест сброса оснащено конденсаторами для улавливания ЛОС. Для захвата коррозионно-агрессивных или токсичных газов в очистных абсорбционных колоннах устанавливается несколько вентиляционных клапанов. При применении вторичных технологий уменьшения выбросов необходимо устанавливать несколько вентиляционных устройств.

*b) Высокая изменчивость выбросов ЛОС со временем*

862. Концентрации летучих органических соединений могут варьироваться в широких пределах от одного места сброса к другому. Есть выбросы при высоких расходах отработанных газов и малой концентрации; к данной группе относится общая вентиляция завода. Другие выбросы, такие как выбросы из производственного оборудования, характеризуются очень низким расходом отработанного газа (несколько Нм<sup>3</sup>/ч), но при этом концентрация ЛОС может быть высокой.

863. Выбросы ЛОС отличаются крайне высокой временной изменчивостью: высокая изменчивость во времени при отдельном выбросе и непостоянных выбросах.

864. Такое положение обуславливает более высокие затраты на очистку выбросов: газоочистное оборудование должно быть рассчитано на пиковые уровни выбросов. Выбор технологических параметров сокращения выбросов должен проводиться с учетом пиковых уровней выбросов (следует также учитывать частоту образования пиковых уровней выбросов). Таким образом, капиталовложения по сравнению с более регулярными по времени выбросами возрастают.

*c) Большое количество используемых растворителей*

865. Хотя на пять растворителей (метанол, толуол, ацетон, этанол, дихлорид метана) приходится около 70% расхода новых растворителей [1], в целом в этом производстве используются приблизительно 40 различных растворителей. По-прежнему высоко потребление хлорированных растворителей. Такое большое количество растворителей, использование хлорированных растворителей, а также ограничения по соображениям безопасности и качества затрудняют и удорожают использование вторичных технологий сокращения выбросов (обработка HCl при сжигании, ограниченный потенциал для сбора и рециркуляции растворителей).

**3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)**

866. Для сокращения потерь растворителей и ограничения атмосферных выбросов разработан широкий круг наилучших методов и усовершенствованных про-

цессов, к которым относятся работа в концентрированной среде для уменьшения расхода растворителей, расширенное использование малолетучих и легкоконденсирующихся растворителей, изменение эксплуатационных условий дистилляции (например, дистилляция при атмосферном давлении вместо вакуумной дистилляции), обеспечение надлежащей эксплуатации, повышение эффективности конденсации (увеличение поверхности теплообменника и повышение холодопроизводительности), изменение технологии (вакуумные насосы с сухим уплотнением вместо вакуумных насосов с гидравлическим поршнем; замкнутые нагнетательные фильтры или вакуум-фильтры, которые более герметичны, чем открытые фильтры; вакуумные сушилки с улучшенной конденсацией растворителя и т.д.).

867. В список НИМ включены следующие методы [2]:

- a) локализация и герметизация источников и любых отверстий для минимизации неконтролируемых выбросов;
- b) выполнение сушки в замкнутых контурах, включая конденсаторы для рекуперации растворителя;
- c) при протирке и очистке растворителями оборудование должно быть плотно закрыто;
- d) герметизация ненужных отверстий для предотвращения засасывания воздуха в газосборную систему через технологическое оборудование;
- e) обеспечение воздухонепроницаемости технологического оборудования, особенно резервуаров;
- f) применение импульсной, а не продолженной инерттизации;
- g) минимизация объема отработанных газов при дистилляции путем оптимального расположения конденсатора;
- h) добавление жидкости в резервуары наливом снизу или через погруженный отвод, за исключением случаев, когда это нецелесообразно вследствие химических реакций и/или соображений безопасности. В подобных случаях добавление жидкости сверху через трубу, направленную к стенке, уменьшает разбрызгивание и, следовательно, органическую нагрузку вытесненного газа;
- i) минимальное накопление пиковых нагрузок и расходов и соответствующих им пиковых концентраций путем оптимизации основного состава продукции и применения сглаживающих фильтров;
- j) очистка отработанных газов, содержащих ЛОС. Выбор технологий очистки от ЛОС является крайне важной задачей для комплексного производства. Поскольку в комплексном производстве объемный расход колеблется в широких пределах, ключевым параметром для выбора технологий является средний массовый расход из точечных источников выбросов, выраженный в кг/ч. Одну из технологий или их сочетание можно применять в качестве системы рекуперации/сокращения выбросов для всего производства, отдельного производственного корпуса или производственного процесса. Это зависит от конкретной ситуации и влияет на количество точечных источников. Неокислительные технологии рекуперации/уменьшения выбросов эффективно используются после минимизации объемного потока, а получаемые уровни концентрации должны соотноситься с соответствующим объемным потоком без разбавления, например, потоками при вентилировании здания или помещения. Термическое окисление/сжигание и каталитическое окисление представляют собой наиболее эффективные опробованные технологии разрушения ЛОС, но оказывают существенные воздействия на другие среды. При прямом сравнении каталитическое окисление доказывает, что требует меньше энергии и образует меньше  $\text{NO}_x$  и, следовательно, является пред-

почтительным вариантом при наличии технической возможности. Термическое окисление может быть эффективным в случае, когда вспомогательное топливо можно заменить органическими жидкими отходами (например, отработанными не подающимися рекуперации растворителями, если для этого на производстве есть техническая и экономическая целесообразность) или в случае, когда можно обеспечить автотермальный режим работы путем отделения органических соединений от потоков сточной воды. Если отработанные газы также содержат большое количество других загрязнителей помимо ЛОС, термическое окисление может обеспечить, например, рекуперацию товарного хлорида водорода или, если термический окислитель снабжен установкой удаления  $\text{NO}_x$  или спроектирован для двухступенчатого сжигания, эффективное сокращение выбросов  $\text{NO}_x$ . Термическое окисление/сжигание и каталитическое окисление могут также стать подходящей технологией сокращения выбросов веществ с неприятным запахом.

868. *НИМ заключается в сокращении выбросов до заданного уровня.* На существующих установках можно сократить общие выбросы ЛОС до уровня менее 5% расходуемого растворителя путем применения комбинированной стратегии, что предполагает следующее:

- а) последовательное внедрение комплексных мер по предотвращению/ограничению диффузных/неорганизованных выбросов и по минимизации массового потока, который требует уменьшения;
- б) применение технологий рекуперации/ограничения большого количества выбросов, таких как термическое/каталитическое окисление или адсорбция активированным углем;
- с) применение специальных технологий рекуперации/ограничения выбросов в источнике на небольших производствах с помощью специального оборудования с использованием одного или двух различных нерасфасованных растворителей.

Таблица 96

**Отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС и уровни выбросов ЛОС при применении НИМ сокращения выбросов в производствах тонкого органического синтеза [4]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер сокращения</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ</i>
Новые установки	Сочетание упомянутых выше НИМ (первичные меры и применение вторичных мер (как окисление, адсорбция, так и/или конденсация))	$\leq 3\%$ расходуемого растворителя*
Существующие установки	Сочетание упомянутых выше НИМ (первичные меры и применение вторичных мер (как окисление, адсорбция, так и/или конденсация))	$\leq 5\%$ расходуемого растворителя*

\* Сумма I1 количеств органических растворителей или их количеств в приобретенных препаратах, которые используются в технологическом процессе в течение периода, за который рассчитывается баланс масс + I2 количеств органических растворителей или их количеств в рекуперированных и повторно использованных в технологическом процессе препаратах.  
(Рециркулированный растворитель учитывается каждый раз, когда он используется в производстве.)

Таблица 97

**Уровни выбросов ЛОС при применении наилучшей имеющейся неокислительной технологии рекуперации/ограничения выбросов [2]**

Технологический этап	Средний уровень выбросов из точечных источников*
Неокислительные технологии рекуперации/ограничения	0,1 кг С/час* или 20 мг С/м <sup>3</sup> **

\* Среднее время относится к характеристикам выбросов; уровни относятся к сухому газу и Нм<sup>3</sup>.

\*\* Уровень концентрации относится к объемным потокам без разбавления, например, объемными потоками из вентиляционной системы помещений или здания.

Таблица 98

**Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов общего органического углерода при термическом окислении/сжигании или каталитическом окислении [2]**

Технологический этап	Средний уровень выбросов из точечных источников*
Термическое окисление/сжигание или каталитическое окисление	Средний массовый расход <0,05 кг С/час** или Средняя концентрация** <5 мг С/м <sup>3</sup>

\* Среднее время относится к характеристикам выбросов; уровни относятся к сухому газу и выражены в Нм<sup>3</sup>.

\*\* Для достижения этих значений требуется надежная техническая оснащенность, и поэтому внимание следует обращать на показатели энергоэффективности, которые могут оказаться неприемлемыми.

**4. Данные о затратах на внедрение технологии сокращения выбросов**

869. Затраты колеблются в широких пределах. Средние капитальные затраты на обеспечение оптимальной эффективности установки составляют примерно 6 700 евро, а общие затраты на 1 кг сокращенных выбросов ЛОС достигают 2,3 евро/кг [3].

**Справочные материалы, использованные в разделе W главы VII:**

1. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Speciality Organic Chemical Industry: EGTEI background document*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_doc-Proc-hemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_doc-Proc-hemical.htm).
2. European commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of organic fine chemicals*. Available from <http://eipccb.jrc.es>.
3. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Speciality Organic Chemical Industry: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Proc-Chemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Proc-Chemical.htm).
4. Prepared in framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2010). Works for the revision of the Gothenburg Protocol guidance document of 1999 on stationary sources.

## Х. Нанесение клейких покрытий (включая производство обуви)

### 1. Охват

870. Клеящие вещества применяются в самых разнообразных секторах. Производственные процессы и технологии нанесения существенно различаются. К рассматриваемым секторам относятся: производство клейких лент, многослойной фольги, сектор транспорта (легковые автомобили, коммерческие автомобили, передвижные дома-караваны, железнодорожные вагоны, воздушные суда), изготовление обуви и изделий из кожи, деревообрабатывающая и мебельная промышленность. Непромышленное использование клеящих веществ образует крупный сектор, но он исследуется отдельно.

### 2. Источники выбросов

871. Технологии нанесения и виды используемых клеящих веществ значительно варьируются в зависимости от сектора. Клеящие вещества можно наносить вручную, распылением или с помощью валика. Эффективность нанесения зависит от типа используемой технологии. Содержание растворителя в клеящих веществах в значительной степени зависит от вида расходуемого материала. Содержание растворителя в клеящих веществах на основе растворителя может достигать до 80%. В дисперсионных клеях содержание растворителей составляет около 2–6%, а в плавящемся клее растворители отсутствуют. Каждый вид клеящего вещества обладает различными физическими и химическими свойствами.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

872. УВ-НИМ и наилучшие имеющиеся методы основаны на БРЕФ по обработке поверхностей органическими растворителями в процессе производства клейких лент [1] и на данных ГЭТЭВ [2] по другим секторам.

873. Технологии сокращения выбросов широко распространены и годятся для использования в секторах, применяющих клеящие вещества. В процессах нанесения клеящих покрытий на основе растворителей образуется значительное количество выбросов ЛОС, которые можно сократить либо с помощью первичных мер (замена клеящими веществами с низким содержанием органических растворителей или без них), либо вторичных мер для более крупных установок (адсорбция, термическое или каталитическое окисление). Выбор подобных мер, применяемых для отдельных основных процессов, приведен в таблице 99.

Таблица 99

**Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при нанесении клейких покрытий и производстве обуви**

Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
Изготовление клейкой ленты	Использование конденсации, адсорбции, окисления или сочетание этих технологий	5% общих выбросов по массе или меньше расходуемого растворителя [1]
Изготовление клейкой ленты	Использование клеящих веществ, не содержащих растворителей	0 г/кг клеящего вещества [2]



Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
Нанесение клейких покрытий в других секторах	Использование конденсации, асорбции, окисления или сочетание этих технологий	<150 г/кг клеящего вещества [5]
	Использование клеящих веществ на водной основе	20 г/кг клеящего вещества [2]
Обувная промышленность	Использование клеящих веществ на водной основе	20–30 г/пара [3]
	Использование биофильтрации	

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

874. Затраты колеблются в пределах примерно 0,1 и 0,7 тыс. евро/т сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от вида применяемых мер (т.е. обработка или уменьшение расхода растворителя): затраты на сокращение выбросов уменьшаются даже при 100% содержании твердых клеящих веществ по сравнению с продуктами на основе растворителей, хотя указанные методы не всегда технически применимы. Указанные затраты являются представительными для крупных установок.

875. Что касается сектора производства обуви, внедрение термического окисления сопряжено с затратами в размере примерно от 8 до 11 тыс. евро/т сокращенных ЛОС, а использование продуктов на водной основе – примерно 0,7 тыс. евро/т сокращенных ЛОС, но последняя технология, очевидно, применима не для всех видов продукции.

876. Подробная методика, используемая для подсчета указанных затрат, описана в документах ГЭТЭВ, касающихся «нанесения клеящих веществ» [2] и «изготовления обуви» [3].

877. *Внимание:* указанные документы могут быть пересмотрены при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

878. Данные отсутствуют.

### Справочные материалы, использованные в разделе X главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on: Surface treatment using Organic Solvents*.
2. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Industrial Application of Adhesive application: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).
3. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Manufacture of shoes: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).

4. European Commission (1999). *Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
5. Mahrwald, B. (German UBA) (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

## Y. Процессы нанесения покрытий 1: нанесение покрытий на легковые автомобили, кабины грузовых автомобилей, грузовые автомобили и автобусы

### 1. Охват

879. В данном секторе рассматривается нанесение покрытий на легковые автомобили, кабины грузовых автомобилей, грузовые автомобили и автобусы.

### 2. Источники выбросов

880. К основным этапам подобных процессов могут относиться:

- a) предварительная очистка, фосфатирование, нанесение покрытия способом электрофореза (называемое также электростатической покраской или нанесением покрытия способом электроосаждения);
- b) нанесение грунтовки, ее сушка;
- c) нанесение верхнего покрытия (покрытий), его (их) сушка;
- d) герметизация днища и швов, защита от коррозии, а также покраска после ремонта перед сборкой.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

881. УВ-НИМ основаны на документе БРЕФ по обработке поверхностей органическими растворителями [1]. Сочетание мер по сокращению выбросов основывается на результатах обсуждения с АСЕА (Ассоциация европейских производителей автомобилей) [2] и соответствует НИМ.

Таблица 100

#### Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при процессах нанесения покрытий

Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов [4]	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
Производство автомобилей (M1, M2)	<p>Электростатическая окраска: на водной основе (5% содержания растворителя по массе)</p> <p>Грунтовка: на водной основе (8% содержания растворителя по массе) – электростатическое нанесение:</p> <p>– верхнее покрытие: покрытие с высоким содержанием твердого полимерного вещества (45% содержание растворителя по массе) – электростатическое нанесение;</p> <p>– и первый слой покрытия на водной основе (15% содержание растворителя по массе) –</p>	<p>10–35 г ЛОС/м<sup>2</sup> или 0,3 кг/кузов + 8 г/м<sup>2</sup> до 1 кг/кузов + 26 г/м<sup>2</sup></p>

Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов [4]	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
	электростатическое нанесение – и лак на основе растворителя (45–55% содержание растворителя по массе) – электростатическое нанесение  План регулирования использования растворителей, рекуперация использованного растворителя	
Производство кабин грузовых автомобилей (N1, N2, N3)	Автоэмали на водной основе Лак с высоким содержанием твердого полимерного вещества Усовершенствованная рекуперация растворителя/сокращение расхода растворителя Окисление в печах	10–55 г ЛОС/м <sup>2</sup>
Производство грузовых автомобилей (N1, N2, N3)	Грунтовка и верхний слой покрытия на водной основе для внедорожников и верхнее покрытие с высоким содержанием твердого вещества по спецзаказу Усовершенствованная рекуперация растворителя/сокращение расхода растворителя	15–50 г ЛОС/м <sup>2</sup>
Производство автобусов (M3)	Катафорез Автоэмали на водной основе Лак с высоким содержанием твердого полимерного вещества Усовершенствованная рекуперация растворителя/сокращение расхода растворителя Окисление методом катафореза, конвекционные печи	92–150 г ЛОС/м <sup>2</sup>
Производство автофургонов	Автоэмали на водной основе Лак с высоким содержанием твердого полимерного вещества Усовершенствованная рекуперация растворителя/сокращение расхода растворителя Окисление в печах	15–50 г ЛОС/м <sup>2</sup>

882. Площадь окрашиваемой поверхности определяется как общая площадь электрофоретического покрытия и площадь поверхности любых деталей, которые могут быть добавлены на последующих этапах нанесения покрытия, и которые покрываются теми же видами покрытий, что и используемые для рассматриваемого продукта или общая площадь окрашиваемой в установках поверхности.

- M1: транспортные средства для перевозки пассажиров, имеющие не более восемь посадочных мест, помимо места водителя.
- M2: транспортные средства для перевозки пассажиров, имеющие не более восьми посадочных мест, помимо места водителя, с максимальной массой не более 5 Мг.
- M3: транспортные средства для перевозки пассажиров, имеющие более восьми посадочных мест, помимо места водителя с максимальной массой свыше 5 Мг.
- N1: транспортные средства для перевозки грузов с максимальной массой не более 3,5 Мг.
- N2: транспортные средства для перевозки грузов с максимальной массой свыше 3,5 Мг, но не более 12 Мг.

- N3: транспортные средства для перевозки грузов с максимальной массой свыше 12 Мг.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

883. Затраты определены в сводных таблицах ГЭТЭВ по нанесению покрытий на автомобили [3], грузовые автомобили, автофургоны [4], нанесению покрытий на кабины грузовых автомобилей [5] и на автобусы [6].

884. В производстве автомобилей затраты на сокращение уровней выбросов, соответствующих НИМ, колеблются в пределах от 11 до 25 тыс. евро/т сокращенных выбросов ЛОС. Некоторые технологии обойдутся еще дороже.

885. При производстве грузовых автомобилей и автофургонов затраты на сокращение выбросов находятся в пределах от 12 до 22 тыс. евро/т сокращенных ЛОС в зависимости от установленных уровней выбросов (т.е. нормативов директивы по растворителям или НИМ).

886. В процессе производства кабин грузовых автомобилей затраты на сокращение выбросов колеблются в пределах от 21 до 33 тыс. евро/т сокращенных выбросов в зависимости от установленных уровней выбросов (т.е. нормативов директивы по растворителям или НИМ).

887. В производстве автобусов затраты на сокращение выбросов находятся в пределах от 13 до 23 тыс. евро/т сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от установленных уровней выбросов (т.е. нормативов директивы по растворителям или НИМ).

888. Подробное изложение методологий подсчета указанных затрат содержится в документах ГЭТЭВ по нанесению покрытий на автомобили [3], на грузовые автомобили [4], покрытий на кабины грузовых автомобилей [5] и покрытий на автобусы [6].

889. *Внимание:* указанные документы могут быть пересмотрены при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

890. Количественные данные отсутствуют.

### Справочные документы, использованные в разделе Y главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on: Surface treatment using Organic Solvents*.
2. Internal meeting ACEA / EGTEI – July 2006.
3. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Car coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint\\_coating.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint_coating.htm).
4. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Truck coating: synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint\\_coating.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint_coating.htm).
5. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Truck cabin coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint\\_coating.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint_coating.htm).

6. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Bus coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint\\_coating.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint_coating.htm).

## **Z. Процессы нанесения покрытий 2: нанесение изоляционных покрытий на провода**

### **1. Охват**

891. В данном разделе рассматривается только нанесение покрытия на металлические проводники, используемые в качестве обмотки трансформаторов, электромоторов и т.д.

### **2. Источники выбросов**

892. Покрытие на провода наносится при их непрерывном прохождении через ванну с эмалевым лаком. Провода с нанесенным покрытием затем сушат в нагревательной камере, где происходит выпаривание растворителей и отверждение пленки под действием высокой температуры. Для получения необходимой толщины изоляционного слоя может наноситься до 30 покрытий эмалевого лака. В современных процессах нанесения покрытий на провода применяются печи с рециркуляцией воздушных потоков. Как правило, смесь воздуха/растворителя обрабатывается в установке каталитического окисления, которая позволяет поддерживать концентрации остаточных растворителей ниже установленных пороговых значений (как правило, 20–30 мг С/Нм<sup>3</sup>). Тепло от установки термического окисления можно использовать в процессе сушки [1].

893. В зависимости от нормативных требований к продукции на провода перед намоткой на намоточную катушку может наноситься пленка из воска. По традиции, парафин применяют при использовании органического растворителя с концентрацией от 98% до 99,9%. В промышленности также используются смазочные материалы в форме концентрированных эмульсий с содержанием растворителя от 50% до 95%, эмульсии на водной основе или даже горячие расплавы без растворителей, хотя и с ограниченным успехом [1].

894. В настоящее время существует два метода нанесения твердого воска на поверхность провода. Один из методов заключается в наложении покрытой воском нити на поверхность провода, а другой – нанесение расплавленного воска на поверхность провода.

### **3. Уровни выбросов при применении НИМ сокращения выбросов (УВ-НИМ)**

895. В таблице 101 ниже приводятся варианты сокращения выбросов, основанные на данных БРЕФ по обработке поверхности органическими растворителями [1].

Таблица 101

**Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС  
с указанием уровней выбросов при нанесении покрытий на провода**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению выбросов</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)</i>
Все установки	Использование материалов с низким содержанием растворителей (таких, как эмалевые покрытия с высоким содержанием твердых веществ и смазки без растворителей) и/или процессов и использование установки каталитического окисления для обработки выбросов, образующихся на этапе нанесения эмалевых покрытий	5 г/кг провода или менее для проводов больших калибров (диаметром >0,1 мм)  10 г/кг провода или менее для проводов малых калибров (диаметром 0,01–0,1 мм)

**4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

896. Эти затраты подсчитаны в документах ГЭТЭВ, касающихся нанесения покрытия на провода [2]. Расходы на уменьшение выбросов (евро/т сокращенных выбросов ЛОС) считаются отрицательными, как при замене печи, поэтому единственным возможным вариантом является покупка более эффективной печи, обеспечивающей энергосбережение.

897. *Внимание:* указанные документы могут редактироваться при поступлении обновленных данных.

**5. Новые методы**

898. Нанесение покрытия из воска на тонкие провода: в указанном методе учитываются выбросы растворителей при окончательной сушке воскового покрытия тонких проводов (0,01–0,1 мм) [1].

**Справочные документы, использованные в разделе Z главы VII:**

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on Surface Treatment using organic solvents*.
2. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Wire coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-paint-indus.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-paint-indus.htm).

**АА. Процессы нанесения покрытий 3: нанесение покрытий на рулонную продукцию**

**1. Охват**

899. Нанесение покрытий на рулонную продукцию (на металлическую поверхность) представляет собой линейный процесс нанесения защитных и/или декоративных органических покрытий на плоские листы или полосы металла, уложенные рулонами или витками.

## 2. Источники выбросов

900. Металлическую полосу пропускают через установку для нанесения покрытия, где с помощью роликового устройства наносится покрытие на одну или обе стороны металлической полосы. Роликовые устройства для нанесения покрытий обеспечивают очень высокую эффективность нанесения краски на полосу. Затем полосу пропускают через печь, где происходит сушка и отверждение покрытия. На выходе из печи полоса охлаждается за счет распыления воды и/или воздушной обдувки и подвергается повторной сушке. Если линия двойная, как большинство подобных линий, сначала наносится грунтовка, а затем верхнее покрытие на одной или обеих сторонах полосы.

901. Наиболее широкое распространение получили краски с содержанием растворителя от 40% до 50%. Технических ограничений на использование красок на растворителях не существует.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

902. Потенциальные возможности использования различных покрытий различаются. Использование красок на водной основе практически прекратилось в начале 80-х годов и с тех пор широко не практикуется вследствие технических сложностей, возникающих при их производстве и ограничений по их использованию. Использование порошковых покрытий ограничено, поскольку их нанесение все еще сопряжено с технологическими и экономическими трудностями. В настоящее время скорость линии по нанесению порошкового покрытия составляет примерно 10 м/мин по сравнению с 50–100 м/мин для большинства линий жидкой окраски, в то время как формирование пленки толщиной менее 60 мкм является более сложным и дорогостоящим процессом при использовании порошковых материалов. В совокупности эти факторы делают порошковые материалы неконкурентоспособными по сравнению с традиционными рулонными покрытиями на растворителях в большинстве областей применения.

903. УВ-НИМ основаны на данных документа БРЕФ по обработке поверхностей органическими растворителями [1] и на информации ЕАРП (Европейская ассоциация рулонных покрытий) [4]. Они приводятся в таблице 102 ниже.

Таблица 102

**Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при нанесении рулонных покрытий**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер по сокращению выбросов</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднесуточные для Увс и среднегодовые для УВнв и общих УВ)</i>
Рулонное покрытие – новые установки	Сочетание вытяжки в зоне подготовки покрытия, нанесения краски, сушки/печи и зоне охлаждения и очистки отработанных газов с помощью термального или каталитического окисления	От 0,73 до 0,84 г НМЛОС/м <sup>2</sup> , при 3–5% неорганизованных выбросов* (достижимые концентрации в очищаемых отработанных газах могут составлять 20–50 мг С/м <sup>3</sup> )
Рулонное покрытие – существующие установки		От 0,73 до 0,84 г НМЛОС/м <sup>2</sup> , при 3–10% неорганизованных выбросов* (достижимые концентрации в очищаемых отработанных газах могут составлять 20–50 мг С/м <sup>3</sup> )

\* Новая информация ЕАРП свидетельствует о том, что достижимые уровни выбросов зависят от широкого круга факторов, однако для охвата всех предполагаемых сценариев применения НИМ следует руководствоваться значением  $<2,5 \text{ г/м}^2$ . Поскольку это значение не было подтверждено в БРЕФ, оно не приводится в таблице выше.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

904. Затраты на сокращение выбросов отвечающие использованию термического окислителя, колеблются в пределах примерно от 200 и 360 евро/т сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от габаритов установки. Подробная методика, используемая для подсчета этих затрат, описывается в кратком обзоре ГЭТЭВ, посвященному рулонному покрытию [2].

905. *Внимание:* указанный документ может редактироваться при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

906. К первичной технологии относится ограничение вторичных выбросов с помощью окислителей. Технология нанесения водоразбавляемых и порошковых красок не является новой, но оба метода подвержены строгим ограничениям. В будущем производство радиационно-отверждаемых красок (применение УФ и/или электронно-лучевой сушки) может обеспечить для данного сектора получение красок без ЛОС, хотя в настоящее время указанные технологии в промышленных масштабах не применяются [4].

### Справочные материалы, использованные в разделе АА главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on Surface Treatment using organic solvents*.
2. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Coil coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-paint-indus.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-paint-indus.htm).
3. European Commission (1999). *Council Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
4. European Coil Coating Association (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

### ВВ. Процессы нанесения покрытий 4: металлические, деревянные, пластмассовые и другие поверхности (ткань, кожа, бумага и т.д.)

#### 1. Охват

907. В данном разделе рассматривается только промышленное использование красок. Использование бытовых красок и красок для архитектурных покрытий рассматривается в другом пункте. Нанесение покрытий на автомобили и другие транспортные средства, рулонных покрытий и покрытий на обмоточные провода излагается в других разделах, поскольку применяемые при этом технологии ограничения выбросов отличаются особой спецификой.



## 2. Источники выбросов

908. К этой категории источников выбросов ЛОС относятся процессы нанесения красок, сушильные печи, очистка оборудования и красильных камер. В соответствии с документом [1] в связи с большим разнообразием применяемых технологий и резко различающихся требований к качеству покрытий невозможно выявить единые технологии сокращения выбросов.

909. Требования к нанесению покрытия на поверхность в различных секторах красильного производства значительно варьируются:

### a) Краски на растворителях

910. Стандартные краски на растворителях содержат примерно от 30% до 80% органических растворителей по массе. В красках с высоким содержанием твердого вещества его содержание превышает 65%.

### b) Краски на водной основе

911. Краски на водной основе содержат от менее 1% до 18% органических растворителей, используемых для разбавления и для улучшения свойств сырой пленки. Такие краски легкодоступны и широко применяются. Границы их применения постоянно расширяются.

### c) Порошковые покрытия

912. Покрытия из порошкового материала не содержат растворителей. Во многих случаях излишний напыл распыляемой краски рециркулируется, а поэтому достигается достаточно высокая эффективность переноса порошка. Для сушки материал нагревается, образуя при этом пленку. Порошковые покрытия в основном наносятся электростатическим распылением на обрабатываемые поверхности. В отдельных производствах эта технология достаточно хорошо разработана.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

913. УВ-НИМ основаны на данных документов БРЕФ по обработке поверхностей органическими растворителями [2] для крупных установок, расходующих более 200 тонн растворителя в год, и на нормативах Директивы по выбросам растворителей (ДВР) [3] для меньших установок (соответствующие коэффициенты выбросов основаны на расчетах плана по сокращению выбросов растворителей).

### a) Общие вопросы

914. В промышленном секторе при нанесении покрытий обычно образуется большой объем отработанной воздушной смеси с низким содержанием органических растворителей, поэтому принятие мер в конце производственной цепочки может быть связано со значительным расходом энергии. Таким образом, при выборе этого варианта следует использовать технологии с низким потреблением энергии и/или высоким уровнем рекуперации энергии. Еще одним решением является использование предварительного этапа, включая процессы адсорбции/десорбции. Во многих случаях наиболее эффективный способ сокращения выбросов в красильном производстве состоит в использовании красок и очищающих средств с низким или нулевым содержанием растворителей.

915. Кроме того, в промышленном секторе сокращение выбросов достигается путем совершенствования процессов распыления, например, с помощью электростатических пистолетов-распылителей и других технологий нанесения по-

крытий вместо обычных пневматических средств, систем нанесения покрытий с низким содержанием растворителей, а также, в некоторых случаях, автоматизации операций нанесения покрытий. Кроме того, рекуперация краски (например, рекуперация излишнего напыла) является зарекомендовавшим себя вариантом сокращения выбросов ЛОС при нанесении покрытий на деревянные и металлические поверхности.

*b) Особые проблемы нанесения покрытий на деревянные поверхности*

916. Покрытия на водной основе не пригодны для нанесения на древесные материалы из дуба; порошковые покрытия пригодны для нанесения только на древесноволокнистые плиты средней плотности, а радиационно-отверждаемые покрытия могут наноситься только на плоские поверхности.

Таблица 103

**Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при процессах нанесения покрытий**

Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
<i>Крупные установки [2]</i>		
Нанесение покрытий на мебель и древесные материалы	Очистка отходящих газов, такая как термическое окисление, если нет других технологий или если не удастся достичь нужных уровней	0,25 кг или менее ЛОС/кг расходуемого твердого вещества
	Использование красок с низким или нулевым содержанием растворителей и обеспечение максимальной эффективности нанесения краски	
	Использование красок с высоким содержанием органического растворителя (65% содержания растворителя по массе) при применении высокоэффективной технологии нанесения краски (нанесение покрытия валиком, напылом, распылением в электростатическом поле, безвоздушное напыление) и надлежащая организация производства	40–60 г ЛОС/м <sup>2</sup>
	Использование красок со средним содержанием органического растворителя (20% содержания растворителя по массе) при применении высокоэффективной технологии нанесения краски и надлежащая организация производства	10–20 г ЛОС/м <sup>2</sup>
Нанесение покрытий на пластмассовые изделия	Использование красок с низким содержанием органического растворителя (5% содержания растворителя по массе) при применении высокоэффективной технологии нанесения краски и надлежащая организация производства	2–5 г ЛОС/м <sup>2</sup>
	Очистка отходящих газов Использование красок с низким содержанием или водоразбавляемых красок и обеспечение максимальной эффективности нанесения краски	0,25 до 0,35 кг или менее ЛОС/кг расходуемого твердого вещества

Тип установки	Сочетание мер по сокращению выбросов	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
Нанесение покрытий на металлические поверхности	Очистка отходящих газов Использование красок с низким содержанием растворителя или водоразбавляемых красок и обеспечение максимальной эффективности нанесения красок	0,10 до 0,33 кг или менее ЛОС/кг расходуемого твердого вещества
<i>Небольшие установки [3]</i>		
Нанесение покрытий на мебель и древесные материалы	Очистка отходящих газов, такая как термическое окисление, если нет других технологий или если не удастся достичь нужных уровней Использование красок с низким или нулевым содержанием растворителя и обеспечение максимальной эффективности нанесения краски Использование красок с низким содержанием растворителя или водоразбавляемых красок и обеспечение максимальной эффективности нанесения краски	1 до 1,6 (для установок, расходующих менее 25 т растворителей в год) или менее ЛОС/кг расходуемого твердого вещества
Нанесение покрытий на металлические или пластмассовые поверхности	Очистка отходящих газов Использование красок с низким содержанием растворителя или водоразбавляемых красок и обеспечение максимальной эффективности нанесения краски	0,375–0,6 (для установок, расходующих менее 15 т растворителей в год) или менее ЛОС/кг расходуемого твердого вещества

917. Согласно данным Европейского совета производителей красителей, типографских и художественных красок (ЕКАК) [6] при нанесении покрытий на металлические и пластмассовые поверхности можно добиться уровня выбросов в 0,375 кг ЛОС на кг расходуемых нелетучих веществ за счет сочетания грунтовки с очень высоким содержанием твердого вещества и верхнего покрытия с высоким содержанием твердого вещества, нанесенных по влажному слою, что является процессом, подходящим для многих производств. Более низкие предельные значения могут относиться к металлическим поверхностям в случаях, когда используется электроокраска, порошковые или другие материалы высокотемпературной сушки. Не исключено, что с помощью многих низкотемпературных операций нельзя достичь таких значений, а это обуславливает необходимость реализации дополнительных нежелательных мер по сокращению выбросов отработанной воздушной смеси из распылительных камер.

#### 4. Затраты

918. Соответствующие затраты приводятся в документах ГЭТЭВ, касающихся нанесения красок в обрабатывающей промышленности [4] и нанесения покрытий на деревянные поверхности [5].

919. Затраты на сокращение выбросов в промышленности (общепромышленные производственные процессы, непрерывные процессы, пластмассовые покрытия) колеблются в пределах от 2 до 18 тыс. евро/тонн сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от размера установки и принимают отрицательные значения при применении первичных мер (более высокая эффективность процесса нанесения

покрытий приводит к снижению расхода растворителей, а тем самым и к меньшему использованию продукции).

920. В производстве нанесения покрытий на деревянные поверхности затраты на сокращение выбросов находятся в пределах от 2 до 16 тыс. евро/тонн сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от размера установки и принимают отрицательные значения, если уменьшение выбросов происходит за счет первичных мер.

921. *Внимание:* в указанные документы могут вноситься изменения при поступлении обновленных данных.

## 5. Новые методы

922. В настоящее время разрабатываются методы нанесения порошковых покрытий на диэлектрические древесные и древесные материалы электростатическим способом [2].

## Справочные материалы, использованные в разделе ВВ главы VII:

1. Rentz, O. and others (2002). *Best Available Techniques for paint and adhesive applications in Germany*. Volume II. Adhesive Application. DFIU-IFARE, German-French Institute for Environmental Research, University of Karlsruhe.
2. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques on Surface Treatment using organic solvents*.
3. European Commission (1999). *Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
4. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Paint in the general industry: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-paint-indus.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-paint-indus.htm).
5. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Wood coating: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-paint-indus.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-paint-indus.htm).
6. European Council of Paint, Printing ink and artist' colours (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

## СС. Содержание растворителей в продукции 1: декоративные покрытия

### 1. Охват

923. Декоративные краски применяются непосредственно в зданиях.

### 2. Источники выбросов

924. Выбросы ЛОС при использовании декоративных красок образуются в период испарения ЛОС, которые могут быть необходимыми ингредиентами применяемых красок или добавляться перед применением красок на растворителях для уменьшения вязкости (разбавители) или использоваться в качестве очищающих растворителей [3].

925. Все нерекуперированные ЛОС можно считать потенциальными выбросами. Основной фактор воздействия на данные выбросы – количество в готовой для использования краске. Краски могут быть либо на водной основе, вязкость которых можно уменьшить за счет добавления воды, либо на основе растворителей; в данном случае вязкость уменьшают добавлением растворителя.

926. Стандартные декоративные краски на растворителях, как правило, содержат примерно 50% твердых веществ и 50% органического растворителя. В Директиве 2004/42/ЕС [1] устанавливаются более низкие предельные нормативы содержания ЛОС в продукции.

### 3. Имеющиеся методы, достижимые концентрации растворителей

927. Выбросы ЛОС из декоративных красок образуются при использовании красок на растворителях и в процессе очистки оборудования, когда очистка производится с помощью растворителей. Выбросы ЛОС можно сократить за счет применения красок с меньшим содержанием ЛОС, например путем перехода с красок на стандартных растворителях на краски на водной основе или за счет применения красок на растворителях с меньшим содержанием ЛОС. Предельно допустимые содержания ЛОС, установленные в соответствии с этапом II Директивы 2004/42/ЕС, определяются в зависимости от категории продукта согласно приведенной ниже таблице 104.

Таблица 104

#### Достижимые концентрации растворителей по каждому виду красок

Подкатегория продукта	Вид	Этап II (г/л)*
Внутренние матовые стены и потолки (Глянцевые $\leq 25$ при $60^\circ$ )	ВР	30
	НР	30
Внутренние глянцевые стены и потолки (Глянцевые $> 25$ при $60^\circ$ )	ВР	100
	НР	100
Внешние стены из минерального субстрата	ВР	40
	НР	430
Внутренние/внешние масляно-алкидные краски и отделочные краски для дерева и металла	ВР	130
	НР	300
Внутренние/внешние масляно-алкидные лаки и морилки, включая непрозрачные морилки	ВР	130
	НР	700
Грунтовки	ВР	30
	НР	350
Вяжущие грунтовки	ВР	30
	НР	750
Однокомпонентные покрытия	ВР	140
	НР	500
Двухкомпонентные покрытия для особого конечного использования	ВР	140
	НР	500
Многоцветные покрытия	ВР	100
	НР	100
Покрытия с декоративным эффектом	ВР	200
	НР	200

\* г/л, готовые к использованию.

928. Представители европейской промышленности по производству декоративных красок считают, что такие выбросы ЛОС должны быть практически достижимыми, за исключением красок на растворителях для внутренних стен.

929. Для внутренних стен должны использоваться исключительно краски на водной основе, поскольку предельные значения в 30 г/л и 100 г/л невозможно практически получить при использовании продукции на растворителях [3].

#### 4. Данные о затратах

930. Эти затраты приводятся в справочном документе ГЭТЭВ, касающемся декоративных красок [2]. В соответствии с данными ЕКАК [3] этот документ устарел. ЕКАК подготовил документ, в котором указана стоимость продуктов с измененным обозначением: данный документ доступен для группы [4].

#### 5. Новые методы

931. Данные отсутствуют.

### Справочные материалы, использованные в разделе СС главы VII:

1. European Commission (2004). *Directive 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC*.
2. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Decorative paint: Synopsis Sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint-non-indus.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint-non-indus.htm).
3. Warnon, J. (European Council of Paint, Printing ink and artist' colours) (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.
4. European Council of Paint, Printing ink and artist' colours (2009). *Cost impact of Directive 2004/42/EC. CEPE estimate of relabeling costs for the changes in 2010 for Decorative paints*.

## DD. Изготовление покрытий, лаков, красителей и клеящих веществ

### 1. Охват

932. Данный сектор включает производство всех видов красок, лаков, морилок, а также чернил и клеящих веществ. В продаже имеется широкий ассортимент продуктов, состав которых специально подобран для удовлетворения различных эксплуатационных требований. Указанные продукты, в частности, предназначены для воздушных судов, автомобилей, кораблей, деревянной и металлической мебели, упаковки, текстильных волокон, бытового использования и т.д.

### 2. Источники выбросов

933. К сырью, используемому для производства этой продукции, относятся твердые вещества, связующие вещества, растворители и все виды присадок:

- а) твердые вещества придают покрытиям цвет, непрозрачность и определенную прочность;

b) связующие вещества представляют собой компоненты, формирующие непрерывную массу, связывающие гранулы твердого вещества в сухой пленке и обеспечивающие ее плотное прилегание к поверхности, на которую наносится покрытие. Большинство связующих веществ принадлежит к смолам и олифам, которые в значительной степени обеспечивают защитные и общие механические свойства пленки;

c) для придания вязкости требуются растворители. Материалы, которые можно использовать в качестве растворителей, включают в себя алифатические и ароматические углеводороды, спирты, эфиры и кетоны;

d) под присадками понимают сырьевые материалы, добавляемые в небольшой концентрации. Они выполняют особую функцию или придают покрытию определенные свойства. К присадкам относятся осушители, загустители, анти вспениватели, диспергенты и катализаторы.

934. В данном случае происходят только физические процессы, например взвешивание, смешивание, дробление, подкрашивание, разбавление и упаковка; при этом химических реакций не происходит. Перечисленные процессы проводятся в крупных смесительных резервуарах при температуре, близкой к комнатной.

935. Выбросы могут образовываться на нескольких этапах данного процесса. К основным источникам выбросов относятся следующие источники:

- a) потери при операциях наполнения и очистки;
- b) потери в результате прилипания продукта к стенкам резервуаров и оборудованию;
- c) потери в результате неорганизованных выбросов при смешивании препаратов и хранении растворителей.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

936. В производстве покрытий можно модифицировать процесс за счет перехода на краски и клеи с низким содержанием органических растворителей. Кроме этого, можно применить технологические меры борьбы с выбросами, например снабжая резервуары крышками или сокращая потери от дыхания резервуаров-хранилищ. Другие варианты сокращения выбросов предполагают конденсацию, адсорбцию, термическое и каталитическое окисление. В таблице 105 ниже приводятся примеры, иллюстрирующие имеющиеся меры по сокращению выбросов.

Таблица 105

**Источники выбросов и отдельные меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при производстве красок и клеящих веществ [3]**

Источник выбросов	Сочетание мер борьбы	Уровни выбросов ЛОС (среднегодовые для всех УВ-НИМ)
Крупные установки, расходующие >1 000 т органических растворителей в год		1% расходуемого растворителя по массе [1]

Источник выбросов	Сочетание мер борьбы	Уровни выбросов ЛОС (среднегодовые для всех УВ-ННМ)
Все остальные установки	Такая наилучшая практика, как: рекуперация паров растворителя при распределении сырья, разгрузка бочек вилочным автопогрузчиком для недопущения утечек, снабжение передвижных емкостей крышками, использование растворителей с низкой летучестью для сокращения неорганизованных выбросов, использование чистящих веществ с меньшим содержанием растворителей, максимальное использование автоматических чистящих устройств, рециркуляция чистящих растворов	2,5% расходуемого растворителя по массе
	Наилучшая практика и совершенствование установок конденсации или абсорбции активированным углем и рекуперации растворителей	1,75% расходуемого растворителя по массе

#### 4. Данные о затратах на технологии ограничения выбросов

937. Затраты на сокращение выбросов до уровня выбросов менее 2% расходуемого растворителя составляют около 2 200 евро/т сокращенных выбросов ЛОС. Подробная методика подсчета изложена в кратком обзоре ГЭТЭВ, касающемся «производства красок, чернил и клеев» [2].

938. *Внимание:* указанный документ может быть пересмотрен при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

939. Данные отсутствуют.

### Справочные материалы, использованные в разделе DD главы VII:

1. German UBA (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.
2. Prepared in the framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2005). *Manufacture of paints inks and glues: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Manufacture\\_Processing\\_chemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Manufacture_Processing_chemical.htm).
3. Prepared in framework of the Expert Group on Techno-Economic Issues (2010). Works for the revision of the Gothenburg Protocol guidance document of 1999 on stationary sources.



## ЕЕ. Процессы печати

### 1. Охват

940. Ведущее место в секторе печати занимают технологии офсетной печати с горячей сушкой, флексографической печати и ротационной глубокой печати в секторе упаковки, глубокой печати и ротационной трафаретной печати.

941. Согласно документу Интерграф [9] печать с полистной подачей бумаги и печать с охлаждением для закрепления термокрасок характеризуются очень низким уровнем выбросов ЛОС. Эти выбросы также сложно измерить, поскольку в данных процессах не применяется принудительная сушка, в ходе которой выделяются отработанные газы. Наблюдается тенденция в сторону использования малолетучих очистителей и увлажняющих растворов, не содержащих изопропанол. Однако применимость указанных мер сокращения выбросов в значительной степени зависит от местных условий и не может соизмеряться с каким-либо предельным уровнем выбросов. По этой причине данные процессы нельзя рассматривать в рамках системы, используемой для других процессов печати, и их следует исключить из данного документа.

### 2. Источники выбросов

#### а) Офсетная печать с термоотверждением

942. Офсетная печать означает такую печатную технологию, при которой используется печатная форма, на которую наносится изображение; при этом гидрофильные и гидрофобные участки находятся в одной плоскости. Гидрофильные участки обработаны таким образом, чтобы притягивать воду и отталкивать жирную краску. Гидрофобные участки обработаны для приема и передачи краски на цилиндр с резиновым покрытием, а с него на запечатываемую поверхность.

943. Печать с термоотверждением краски означает процесс офсетной печати, в ходе которого происходит испарение в сушилке, где под воздействием горячего воздуха происходит нагрев печатного материала (большая часть краски для офсетной печати не высыхает за счет испарения, а отверждается при окислении или абсорбции бумагой. Термоотверждающаяся краска является исключением. Это единственный вид краски, высыхающий в основном при испарении [1]).

944. Основными источниками атмосферных выбросов являются органические растворители, содержащиеся в краске. Используемая краска состоит из минеральных масел с высокой температурой кипения, используемых в качестве растворителей (от 40% до 45% по массе). Примерно 20% минерального масла остается в бумаге, где после охлаждения до комнатной температуры оно больше не подпадает под определение НМЛОС, а остаток испаряется в процессе сушки, который проводится при высокой температуре (от 200 до 300 °C).

945. Растворители, используемые при очистке, хранении и обращении с растворителями, а также использование органических растворителей, содержащихся в составе увлажняющих растворов (чаще всего изопропанол), также являются важными источниками выбросов органических веществ.

*b) Глубокая печать*

946. Под ротационной глубокой печатью понимается процесс печатания с помощью цилиндрической печатной формы, где печатающие элементы находятся ниже пробельных участков, с использованием текучей краски, высыхающей благодаря испарению. Ячейки заполняют краской, а ее остатки счищаются с пробельного участка, перед тем как поверхность коснется цилиндра и краска из ячеек ляжет на принимающую поверхность. В глубокой печати используются только краски на основе толуола [1]. При отгрузке с завода по производству краски она содержит 50% толуола. Для получения требуемой концентрации толуола краску разбавляют на полиграфическом предприятии: краска, готовая для подачи в машину, содержит до 80% толуола [2]. Краску разбавляют толуолом, рекуперированным на полиграфическом предприятии.

*c) Флексографическая печать и ротационная глубокая печать для упаковки*

947. Под флексографической печатью понимают процесс печатания с использованием гибких резиновых форм или форм из эластичных фотополимеров, где печатающее изображение выступает над остальной поверхностью формы; при этом используются текучие краски, высыхающие благодаря испарению органических растворителей. Процесс, как правило, осуществляется с рулонной подачей и применяется для средних или больших многокрасочных партий продукции на разнообразных подложках, включая плотную бумагу, древесноволокнистые плиты, металлическую и полимерную пленку. Основными категориями товаров на рынке флексографической печати являются гибкая тара и ламинат, многослойные мешки, картонная упаковка для молока, подарочная упаковка, складные коробки, гофрированный картон (с полистовой подачей), бумажная посуда, этикетки, ленты и конверты. С помощью этого процесса печатные изображения наносятся почти на все пакеты для молока и многослойные мешки и почти на половину гибкой упаковки.

948. Краски на растворителях могут содержать различное количество растворителя при покупке, но готовые для использования краски содержат от 80 до 90% растворителей (в этих показателях учитываются очищающие агенты). При этом возможна замена продукцией на водной основе (с содержанием растворителя около 5%), красками с УФ сушкой и двухкомпонентными клеящими веществами. Краски на водной основе регулярно используются при флексографической печати в упаковочном производстве, например для таких продуктов, как бумажные мешки и полиэтиленовые пакеты [1].

### **3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)**

949. УВ-НИМ и технологии приводятся по документу БРЕФ по обработке поверхностей органическими растворителями [3] при наличии информации (для крупных установок, расходующих более 200 тонн растворителя в год), согласно данным Директивы по выбросам растворителей (ДВР) [4] или данным ГЭТЭВ для меньших установок. Для трафаретной печати данные заимствованы из исследования 1999 года [5], поскольку ГЭТЭВ отдельно этот сектор не исследовала.

*a) Офсетная рулонная печать с термоотверждением*

950. Выбросы НМЛОС при печати с термоотверждением краски состоят из изопропанола (ИЗП), выделяющегося из увлажняющих растворов и очищающих агентов, а также из выбросов дымовых газов из сушилок. НИМ заключается в сокращении общего количества неорганизованных выбросов и очистке дымовых

газов от ЛОС путем термического, каталитического или регенеративного окисления.

951. Таким образом, эти процессы являются НИМ сокращения выбросов:

а) выбросов изопропанола за счет использования увлажняющего раствора с низким или нулевым содержанием изопропанола;

б) неорганизованных выбросов в результате очистки за счет сочетания следующих технологий: замены и сокращения выбросов НМЛОС, используемых при очистке и в системах автоматической очистки печатных и офсетных цилиндров.

Таблица 106

**Уровни выбросов при применении НИМ в офсетной рулонной печати с термоотверждением**

Тип пресса	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднесуточные для УВС-НИМ, среднегодовые для УВН-НИМ и для общих УВ-НИМ)
<i>Установки КПКЗ (комплексное предупреждение и контроль загрязнений) [1]</i>	
Новые и модернизированные прессы	От 2,5% до 10% ЛОС, выраженных в % от расхода краски по массе
Существующие прессы	От 5% до 15% ЛОС, выраженных в % от расхода краски по массе
<i>Малые установки</i>	
Все прессы	Можно достичь уровней неорганизован- ных выбросов ниже 30% расходуемого растворителя при [1] концентрации в дымовых газах не более 20 мг С/Нм <sup>3</sup>

*б) Глубокая печать*

952. В секторе *глубокой печати* можно рекуперировать более 90% расходуемых органических растворителей, если использовать адсорбцию активированным углем, благодаря небольшому числу компонентов в органическом растворителе (в основном, толуола). Рециркуляция таких органических растворителей возможна и практикуется уже долгое время.

953. В качестве НИМ считается сокращение неорганизованных выбросов после очистки газа.

Таблица 107

**Уровни выбросов при применении НИМ в секторе глубокой печати**

<i>Для новых установок [3]</i> (среднегодовые для общих УВ-НИМ)	
Общий уровень выбросов от 4 до 5% расходуемого растворителя	
<i>Для существующих установок [3] [4]</i> (среднегодовые для общих УВ-НИМ)	
Общие выбросы от 5% до 7% расходуемого растворителя	

с) *Ротационная глубокая печать и флексографическая печать на упаковках*

954. В секторе производства упаковок с помощью *ротационной глубокой печати* и *флексографической печати на упаковках* меры по ограничению выбросов ЛОС сводятся к следующему.

955. Переход к использованию красок и клеящих веществ с низким или нулевым содержанием растворителей, когда это практически возможно; использование адсорбции активированным углем: эффективность системы улавливания является одним из важных параметров обеспечения общей эффективности. Содержание многочисленных органических растворителей в красках затрудняет их рециркуляцию на месте. Этот вариант может стать технически и экономически приемлемым для крупных печатных установок с ежегодным расходом растворителя минимум 500 Мг. Во всех случаях проектирования установок рекомендуется учитывать необходимость оптимизации процесса улавливания воздушного потока в различных частях установки. Минимизация общей скорости воздушного потока и, таким образом, снижение концентрации на входе приводит к значительному уменьшению капиталовложений и эксплуатационных расходов.

956. Использование метода термического или каталитического окисления: эффективность системы улавливания является важным параметром обеспечения общей эффективности. В настоящее время эта мера наиболее широко применяется для уменьшения выбросов ЛОС в этом сегменте сектора печати, и предполагается, что она останется наиболее привлекательным с экономической точки зрения вариантом для печатных производств с расходом растворителя менее 500 Мг/год. Во всех случаях проектирования установок рекомендуется учитывать необходимость оптимизации процесса улавливания воздушного потока в различных частях установки. Минимизация общей скорости воздушного потока и, таким образом, снижение концентрации на входе позволяют значительно уменьшить капиталовложения и эксплуатационные расходы.

Таблица 108

**Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при печати на упаковке методом глубокой печати и флексографии**

Тип установки	Сочетание мер борьбы	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднесуточные для УВС-НИМ, среднегодовые для УВН-НИМ и общих УВ-НИМ)
Установки КПКЗ	Предприятия со всеми машинами, связанными с окислением	От 7,5% до 12,5% нормативных выбросов <sup>a</sup> [3]
	Предприятия со всеми машинами, связанными с адсорбцией активированным углем	От 10% до 15% нормативных выбросов <sup>a</sup> [3]
	Существующие смешанные предприятия, на которых некоторые существующие машины могут быть не связаны с установкой сжигания или рекуперации растворителей	Уровни выбросов из машин, связанных с установками окисления или адсорбции активированным углем, не достигают предельных уровней выбросов 7,5–12,5% или 10–15% соответственно.  Для машин, не связанных с газоочистным оборудованием: использование продуктов с низким

Тип установки	Сочетание мер борьбы	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднесуточные для УВС-НИМ, среднегодовые для УВН-НИМ и общих УВ-НИМ)
Небольшие установки	УВС-НИМ = 100 мг С/Нм <sup>3</sup> и УВг-НИМ = 20% по массе или общие УВ-НИМ = 25% исходных выбросов <sup>a</sup> , которые можно достичь с помощью следующих мер	или нулевым содержанием растворителей, подсоединение к газоочистному оборудованию при наличии свободных мощностей и предпочтительно проводить работы, требующие использования продуктов с высоким содержанием растворителей, на машинах, соединенных с газоочистным оборудованием.  Общие уровни выбросов не достигают 25% нормативных выбросов (в соответствии с нормативами плана сокращения выбросов растворителей)
	Переход на водоразбавляемые краски (5% содержание растворителя по массе)	50 г/кг продукта, готового к использованию (Эффективность сокращения ~94%) [6]
	Продукты на растворителях и очистка дымовых газов методом окисления	Эффективность сокращения ~76% [5]
	60% продуктов с нулевым содержанием растворителей и очистка дымовых газов для остальных 40%	~80 г/кг продукта, готового к использованию (Эффективность сокращения ~90%) [6]

<sup>a</sup> Использованы нормативные уровни выбросов, установленные в приложении IIb к Директиве по уменьшению выбросов растворителей [4].

#### 4. Данные о затратах на технологии сокращения выбросов

957. Подробные методики, разработанные для подсчета затрат, приведены в кратком обзоре ГЭТЭВ, касающемся офсетной печати с термоотверждением [6], упаковки [7] и глубокой печати [8].

958. *Внимание:* указанные документы могут пересматриваться при поступлении обновленных данных.

959. Для *офсетной печати* с термоотверждением затраты на сокращение выбросов при внедрении любой окислительной установки находятся в пределах от 1 до 5 тыс. евро в зависимости от габаритов установки.

960. В *упаковочном производстве* затраты на сокращение выбросов в значительной степени зависят от габаритов установки: для небольших установок эксплуатация установки окисления потребует затрат примерно в 22 тыс. евро/т сокращенных выбросов НМЛОС по сравнению с менее 1 тыс. евро/т НМЛОС для самых крупных установок. Расходы на этот вариант для всех типов установок, когда использование красок на водной основе технически целесообразно, составят

примерно 0,15 тыс. евро/т сокращенных выбросов НМЛОС. Последний вариант, будучи технически и экономически целесообразным только для крупных установок, предполагает применение адсорбции активированным углем, а это влечет расходы на сокращение в размере менее 1 тыс. евро/т НМЛОС.

961. Что касается *глубокой печати*, расходы на сокращение выбросов за счет адсорбции активированным углем ориентировочно составляют 1 тыс. евро. Расходы на сокращение выбросов снижаются, поскольку можно рекуперировать большой объем толуола.

## 5. Новые методы

962. Вероятно, что в будущем будет разработана технология флексографической печати с УФ-отверждением, которая кроме производства упаковок для напитков будет использоваться в других производствах [3].

## Справочные материалы, использованные в разделе ЕЕ главы VII:

1. Verspoor, P. from Intergraf (2002/2004). *Communications for EGTEI and IIASA*.
2. BERNARD, J. from ERA (2003). *Communications to EGTEI*.
3. European Commission (2007). *Reference Document on Best Available Techniques on: Surface Treatment using Organic Solvents*.
4. European Commission (1999). *Directive 1999/13/EC of 11 March 1999. on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
5. Rentz, O. and others (1999). *Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOC from Stationary Sources*. BAT background document. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
6. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2005). *Heatset offset: Synopsis Sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).
7. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2005). *Packaging: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).
8. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2005). *Publication gravure: Synopsis Sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).
9. Intergraf (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

## FF. Производство резиновых изделий

### 1. Охват

963. Данный сектор охватывает производство шин, а также производство всех других резиновых изделий. Клеящие вещества, используемые при производстве некоторых резиновых изделий, рассмотрены в разделе, касающемся клейких покрытий. Технологии сокращения выбросов отличаются от приведенных ниже.

### 2. Источники выбросов

964. Резиновые изделия производят с использованием разнообразных материалов. К основным технологическим этапам относятся:

- a) смешивание;
- b) экструзия;
- c) каландрирование;
- d) формование;
- e) отверждение (вулканизация).

965. При переработке натурального или синтетического каучука органические растворители используют в основном для повышения клейкости.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

966. В настоящее время справочных документов по наилучшим имеющимся методам в производстве шин и резиновых изделий нет. В имеющемся документе рассматривается «производство полимеров», которое выходит за рамки сектора «переработки резины» [4].

967. В данном секторе выбросы ЛОС могут сокращаться либо с помощью первичных, либо с помощью вторичных мер, но обычно не в сочетании этих двух подходов. В большинстве случаев сокращения выбросов можно добиться за счет перехода на продукты с низким или нулевым содержанием растворителей. В отсутствие доступных технологий можно прибегать к очистке отработанных газов. Факторы, воздействующие на сопутствующие выбросы, основаны на документе ГЭТЭВ по производству шин [1], а также на исследовании 1999 года по производству резиновых изделий [2]. Учитывая большое разнообразие типов установок и производимых на них продуктов, а также тот факт, что для данного сектора не был подготовлен БРЕФ, следует отметить, что достижимые уровни выбросов, указанные в таблице 109, являются **ориентировочными** и должны рассматриваться в качестве средних значений.

Таблица 109

**Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием уровней выбросов при производстве изделий из натурального и синтетического каучука**

Источник выбросов	Сочетание мер по борьбе с выбросами	Уровни выбросов ЛОС [Определены для следующего среднего периода: годовые для общих УВ-НИМ]
<i>Производство резиновых изделий</i>		
Установка, расходующая	Частичный переход с агентов на растворителях на агенты и чистящие	1 кг/т полученной резины [2]

Источник выбросов	Сочетание мер по борьбе с выбросами	Уровни выбросов ЛОС [Определены для следующего среднего периода: годовые для общих УВ-ННМ]
≥15 т растворителя в год	средства на водной основе или очистка отработанных газов методом окисления	
<i>Производство шин</i>		
Все установки	Новые процессы (пример: использование клейкой резиновой ленты – Новый тип форматора, объединенного с экструдером – Новая экструзивная технология). Использование 25% клеящих веществ, покрытий, красок и чистящих агентов (90% содержание растворителя по массе) или окисления, если сокращение расхода растворителя не приемлемо	2,5 кг/т шин [1] <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Уровень выбросов ЛОС в 2,5 кг ЛОС/т шин заимствован из справочного документа ГЭТЭВ по производству шин [1]. Он получен в результате 75% сокращения по сравнению со среднестатистической величиной несокращенных выбросов (которая также включает заводы, где уже были применены меры по сокращению выбросов).

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

968. Соответствующие затраты приводятся в кратком обзоре ГЭТЭВ по производству шин [1].

969. Что касается производства шин, то подсчитанная величина затрат на сокращение выбросов для средней установки находится в пределах от 0,14 до 1 тыс. евро/т сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от применяемой технологии (т.е. уменьшение расхода растворителя или термическое окисление). В большинстве случаев вторичные меры применяются только тогда, когда первичные меры технически неприменимы.

970. *Внимание:* указанный документ может пересматриваться при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

971. Данные отсутствуют.

### Справочные материалы, использованные в разделе FF главы VII:

1. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2005). Tyre production: Synopsis sheet. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Manufacture\\_Processing\\_chemical.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Manufacture_Processing_chemical.htm).
2. Rentz, O and others (1999). *Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOC from Stationary Sources*. BAT background document. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.



3. European Tyre and Rubber Manufacturers (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

## GG. Сухая химическая чистка

### 1. Охват

972. Данный сектор включает химическую чистку текстильных изделий, кожи и мехов. Химическая чистка предполагает чистку ткани органическими растворителями.

### 2. Источники выбросов

973. В настоящее время в химической чистке в основном используются такие растворители, как перхлорэтилен (ПЕР) и легкие углеводороды (легко воспламеняемые). Кроме них применяются углеводороды с более высокой точкой воспламенения. В Германии, где указанные растворители используются в химической чистке, к их применению предъявляются следующие требования [5]: температура закипания от 180 до 210 °C, точка воспламенения выше 55 °C. Они менее летучи, чем перхлорэтилен. Соответственно, цикл сушки при этом удлиняется. Величина Kb у них ниже, чем у перхлорэтилена, а поэтому они менее эффективны по сравнению с перхлорэтиленом при удалении некоторых видов загрязнений; (каури-бутанольное число (Kb) используют для определения очистительной способности растворителя: чем выше Kb, тем эффективнее растворитель).

974. Значительные выбросы ЛОС из растворителей в машинах химической очистки можно подразделить на две категории:

а) паробразные выбросы, включая вентиляционные выбросы из машин, выбросы воздушной смеси из резервуаров для хранения при их заполнении, утечки и растворитель, сохраняющийся некоторое время в одежде после ее чистки;

б) остаточные продукты, попавшие в окружающую среду.

975. В настоящее время появляются некоторые другие виды органических растворителей. Одним из них является жидкий силикон Siloxane D<sub>5</sub> CAS 541-02-6. Его давление паров при 20 °C составляет 0,03 кПа. Хотя данный продукт достаточно привлекателен, согласно исследованиям, проведенным в США и Дании [3] [4], он небезопасен для здоровья человека. Использование жидкостей все еще незначительно, но оно постепенно возрастает [6]. При рассмотрении вопроса о замене любых растворителей, используемых в настоящее время в химической чистке, особое внимание следует уделять классификации растворителей (см. раздел А главы V).

976. В настоящее время в химической чистке применяются четыре типа машин [1]:

- *Машина типа I*: этот тип машин снабжен только испарительным охладителем, конденсирующим растворитель при температуре 20–30 °C. После охлаждения в испарительном охладителе насыщенный растворителем воздух выбрасывается в атмосферу без очистки через фильтр с активированным углем. Выбросы в атмосферу составляют примерно 105 г растворителя/кг текстильных изделий. Расход растворителя составляет примерно 110 г растворителя/кг текстильных изделий.

- *Машина типа II:* данный тип машин оснащен холодильным блоком, конденсирующим перхлорэтилен при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . Отработанный воздух проходит через фильтр с активированным углем перед сбросом. Выбросы в атмосферу составляют примерно 45 г растворителя/кг текстиля. Потребление растворителя достигает примерно 50 г растворителя/кг текстиля.
- *Машина типа III:* к данному типу относятся машины замкнутого цикла сушки с герметически закрытым рабочим объемом, в которой осушающий воздух рециркулируется, пройдя через холодильный блок. При этом не происходит выброса отработанного воздуха. Предполагаемый объем выбросов в атмосферу составляет примерно 20 г растворителя/кг текстильных изделий, а диапазон значений выбросов колеблется в пределах от 20 до 40 г растворителя/кг текстильных изделий. Расход растворителя составляет примерно 25 г растворителя/кг текстильных изделий.
- *Машина типа IV:* в этом типе машин замкнутого цикла рабочий объем аналогично типу III герметически закрыт. В данном случае поток осушающего воздуха циркулирует в охладителе и проходит через активированный уголь до тех пор, пока концентрация растворителя во вращающемся барабане не станет меньше  $2\text{ мг/м}^3$ . После адсорбции в адсорбере на активированном угле растворитель возвращается в машину. Предполагаемые выбросы в атмосферу составляют примерно 5 г растворителя/кг текстильных изделий. Расход растворителя приближается к 10 г растворителя/кг текстильных изделий.

### 3. Уровни выбросов при применении имеющихся методов

#### a) *Мокрая чистка*

977. Нашедшая широкое применение первичная мера с высоким потенциалом сокращения выбросов заключается в переходе на процесс мокрой чистки с помощью воды.

978. В процессе мокрой чистки вода используется для чистки одежды, которую обычно чистят химическим способом. Для этого используются специальные моющие средства и кондиционеры, состав которых разработан специально для мокрой чистки. Оба продукта автоматически загружаются в машину в количестве, задаваемом конкретными цикловыми программами. Моющее средство представляет собой смесь поверхностно-активных моющих веществ, гликолевого эфира, противоусадочных веществ и спирта, растворенных в воде. Иногда используются крахмал и другие пятновыводители, некоторые из которых могут содержать опасные химикаты. Мокрую чистку выполняют в ходе компьютеризированной чистки в стиральных и сушильных машинах. Основным воздействием на другие среды является загрязнение воды. Качество мокрой чистки может быть хуже, чем при химической чистке растворителями, поскольку возможно выцветание ткани. Следует также учитывать ограничения для кожаных изделий и вида волокна.

#### b) *Новое поколение машин сухой химчистки*

979. Благодаря внедрению машин замкнутого цикла нового поколения (оснащенных конденсатором и фильтром с активированным углем), например машины типа IV, описанные выше, выбросы ЛОС можно уменьшить на 95% по сравнению с машинами открытого цикла. Стандартные машины замкнутого цикла с фильтрами с активированным углем могут ограничить выбросы лишь на 80%.

Таблица 110

**Источники выбросов и отдельные имеющиеся технологии борьбы с выбросами с указанием их уровней**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер борьбы</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ</i>
Машина открытого цикла и обычные машины с закрытым рабочим объемом (машины типа I–III)	Переход на мокрые процессы с использованием воды	0 г/кг текстильных изделий, подвергающихся чистке
Используемый растворитель: перхлорэтилен (ПЕР) или углеводороды	Переход на новейшее поколение машин типа IV (машина с закрытым рабочим объемом с охладителем и активированным углем)	5 г/кг текстильных изделий, подвергающихся чистке

**4. Новые методы***a) Чистка сжиженным CO<sub>2</sub>*

980. Уже существуют машины для чистки сжиженным CO<sub>2</sub>, но они пока не нашли широкого распространения. Как и стандартные, машины для чистки сжиженным CO<sub>2</sub> оборудованы рабочим барабаном, циркуляционным контуром, системой фильтров, фильтром-уловителем волокон, дистилляционной системой и накопителем. Оборудование и химический состав специально разработаны для того, чтобы выдерживать давление и взаимодействовать с диоксидом углерода. После такой чистки одежда не нуждается в сушке. Благодаря низкой вязкости сжиженный CO<sub>2</sub> обеспечивает легкую чистку одежды. Его характеристики сравнимы с перхлорэтиленом. Небольшая разница в очищающей способности наблюдается в случае с загрязнениями моторным маслом и помадой. Однако такие пятна можно выводить до или после чистки для полного их удаления [5].

*b) Стиральные машины с малым расходом воды*

981. Процесс основан на использовании пластмассовых гранул, которые загружаются вместе с одеждой для удаления пятен. Расход 100 мл воды на килограмм одежды очень мал по сравнению с традиционными машинами мокрой чистки [6].

**5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

982. Соответствующие затраты приводятся в справочном документе ГЭТЭВ, касающемся сухой химической очистки [3]. Капитальные затраты на машины замкнутого цикла последнего поколения примерно на 25% превышают расходы на стандартные машины замкнутого цикла.

**Справочные материалы, использованные в разделе GG главы VII:**

1. Institute for Health and Consumer Protection. European Commission Joint research center. *Risk assessment report for Tetrachloroethylene*. European Chemicals Bureau, vol.57, EUR 21680 EN, 2005.
2. Prepared in the framework of the Expert Group of Techno-Economic Issues (2005). (2005). *Dry cleaning: Synopsis Sheet*. Available from

[http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Degreasing\\_Dry\\_cleaning.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Degreasing_Dry_cleaning.htm).

3. Nordic Council of Ministers (2005). *Siloxanes in the Nordic Environment*. TemaNord 2005: 593, ISBN 92-893-1268-8, Copenhagen.
4. United States Environment Protection Agency (2005). *Siloxane D5 in Drycleaning Applications*. Office of Pollution Prevention and Toxics (7404) 744-F-03-004.
5. INERIS (2005). *Note sur les produits de substitution du perchloroéthylène. Analyse de la réglementation et des Pratiques à l'étranger*. Rapport d'étude ERSA 05 n°9.
6. AEA Energy & Environment, OKOPOL, and BIPRO (2008). *Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive – Guidance 11 – Dry cleaning*. European Commission Contract ENV/C.4/FRA/2007/001.

## НН. Очистка поверхностей

### 1. Охват

983. В данной главе рассмотрены выбросы дымовых газов и неорганизованные выбросы ЛОС в промышленных процессах очистки с помощью растворителей. Основными потребителями чистящих растворителей являются отрасли металлообрабатывающей промышленности, т.е. автомобильная, электронная, сантехническая, авиационная, холодильная промышленность и производство канцелярской оргтехники. Очистку растворителями также используют в таких отраслях промышленности, как полиграфия, химическая промышленность, обработка пластмассы, резины, текстиля, изготовление зеркал, бумажная промышленность, а электроэнергия и растворители используются при окраске. Большинство станций ремонта дорожных транспортных средств и операторы электронного оборудования пользуются растворителями для очистки как минимум в течение некоторого времени.

### 2. Источники выбросов

984. Очистка поверхностей растворителями (часто называется обезжириванием растворителями) представляет собой процесс использования органических растворителей для удаления водонерастворимых сжиженным остаточных загрязнений, таких как смазки, жиры, масла, воск, отложения углерода, флюсы и смолы с металлических, пластмассовых, стекловолоконных поверхностей, с поверхности печатных плат и других поверхностей.

985. Для очистки поверхностей используются разные виды обезжиривателей:

- а) органические растворители, как галогенизированные, так и негалогенизированные;
- б) водные растворы щелочей, кислот, силикатов, фосфатов, комплексообразующих и увлажняющих веществ [1];
- с) сверхкритический CO<sub>2</sub>;
- д) биологические вещества;
- е) ультразвуковое обезжиривание.

986. Органические растворители, используемые при обезжиривании, включают в себя:

- а) хлорированные растворители. Они не горят (без точки воспламенения), но многие из них относятся к классу R40 (перхлорэтилен и дихлорид метана) или R45 (трихлорэтилен);
- б) углеводородные растворители или растворители класса A3 (точка воспламенения менее 55 °C означает, что данные растворители негорючи при обычном использовании, но могут стать горючими при неконтролируемом применении (у легковоспламеняющихся растворителей точка воспламенения <55 °C));
- в) легковоспламеняемые спирты и кетоны;
- г) гидрофторуглероды (ГФУ), гидрофторэфиры (ГЭФ), перфторуглероды (ПФУ), используемые в особых случаях очистки, например электроники, главная отрицательная особенность которых заключается в их потенциальном воздействии на стратосферный озон, даже если их озоноразрушающая способность невелика, а также на изменение климата (перфторуглероды и гидрофторуглероды относятся к парниковым газам, выбросы которых регулируются Киотским протоколом). ГЭФ включены в четвертый доклад об оценке МГЭИК (AR4) [5].

987. Очистку растворителями чаще всего используют, когда необходимо высушить металлическую деталь после обезжиривания. Перечисленные ниже параметры оказывают значительное влияние на выбор способа очистки поверхности:

- а) очищаемая среда;
- б) вид удаляемого загрязнения;
- в) процесс производства;
- г) требования, обусловленные последующими технологическими шагами.

988. Методы очистки поверхностей можно обобщить в следующей таблице:

Таблица 111

**Основные технологии очистки поверхностей**

Процесс	Тип машины	Используемый очиститель
Холодная очистка	Ручная (например, с помощью тампона)	Спирты Хлорированные растворители
	Открытые машины	
	Машины с замкнутым циклом	
Горячая очистка	Машины с открытым верхом	Хлорированные растворители
	Машины с открытым верхом	
	Машины с замкнутым циклом	
	Машины замкнутого цикла с герметически закрытым рабочим объемом	
	Машины с открытым верхом	Углеводороды

Процесс	Тип машины	Используемый очиститель
Очистка водными растворами	Машины с закрытым верхом	Щелочи, кислоты, силикаты, фосфаты, комплексообразующие и увлажняющие вещества
	Машины с замкнутым циклом	
	Машины замкнутого цикла с герметически закрытым рабочим объемом	
	Машины с одной емкостью	
	Машины с несколькими емкостями	
	Машины туннельного типа	

989. Органические растворители в двух типах процессов [1] [2]:

а) холодная очистка: устройства холодной очистки в основном применяются при техническом обслуживании и производстве. Они представляют собой периодически загружаемые установки для обезжиривания, в которых используются некипящие растворители. К операциям холодной очистки относятся распыление, щеточная подготовка поверхности, промывка и погружение. При использовании стандартной установки очистки в ходе технического обслуживания загрязненные детали очищают вручную распылением и последующим погружением в резервуар. После очистки детали либо подвешиваются над резервуаром для стекания, или помещаются на наружной стойке, которая направляет стекающий растворитель обратно в очиститель. Крышка должна быть постоянно закрыта, когда не проводится очистка деталей в очистителе. Стандартные устройства холодной очистки, предназначенные для производства, значительно отличаются по своей конструкции, хотя для всех них предусмотрены два основных типа конструкции резервуара: простая распылительная ванна и ванна для обработки погружением. Из них ванна для обработки погружением обеспечивает более тщательную очистку при погружении, и часто эффективность очистки повышается при перемешивании;

б) паровая очистка: паровые очистители являются периодически загружаемыми паровыми обезжиривателями, которые очищают поверхности путем конденсации горячих паров растворителей на более холодных металлических поверхностях. При обезжиривании парами используются галогенизированные растворители (обычно перхлорэтилен, трихлорэтилен), поскольку они негорючи, а их пары тяжелее воздуха. Стандартное устройство парового обезжиривания представляет собой сборку с нагревателем, где растворитель нагревается до парообразования. Очищаемые детали погружают в зону парообразования; конденсация продолжается до тех пор, пока они не нагреваются до температуры образования паров. Оставшийся на деталях жидкий растворитель быстро испаряется по мере их медленного извлечения из зоны образования паров. Очищающее действие часто усиливается за счет распыления растворителя на детали ниже уровня паров или за счет погружения их в ванну с жидким растворителем. Практически все устройства парового обезжиривания оснащены водоотделителем, который обеспечивает возврат растворителя в устройство обезжиривания.

990. Что касается устройств холодной очистки, испарение из ванны можно регулировать за счет регулярного закрытия ванны крышкой путем наращивания верхнего края боковой стенки ванны, а также путем предотвращения чрезмерного движения потоков воздуха в производственном помещении.

991. В паровых системах с открытым верхом большинство выбросов образуется в результате диффузии и конвекции, которые можно уменьшить путем ручного или автоматического закрытия емкостей, распыления ниже уровня паров, оптимизации рабочей нагрузки, или охлаждением верхнего края боковых стенок (что в крупных установках можно заменить системами адсорбции на активированном угле). Паровую очистку можно осуществлять в герметичных машинах с замкнутым циклом.

*a) Герметичные машины*

992. Эти типы машин исключают прямой контакт между растворителем и атмосферой за счет ряда блокирующих устройств, а также использования системы экстракции паров и/или системы охлаждения, с помощью которой пары возвращаются обратно в емкость для сбора растворителя. Это обеспечивает очень высокий уровень удержания паров и ограничивает его неорганизованные выбросы. Эти машины могут работать как с хлорированными растворителями, так и с другими видами растворителей класса А3, такими как углеводороды, гидрофторуглероды или гидрофторэфиры. В качестве варианта можно использовать устройства полной очистки в условиях вакуума. Это позволяет проводить дистилляцию при более низких температурах и обеспечивает постоянное ограничение выбросов паров [3].

*b) Системы очистки водными растворами*

993. Данная технология состоит из использования воды, моющих средств и небольшого количества растворителей и демонстрирует достаточно эффективность очистки в ряде областей. Помимо травления поверхности кислотами в ваннах для подготовки твердых поверхностей в промышленном производстве применяются как сильные, так и слабые щелочи и нейтральные очистители. Нейтральные очистители в основном применяют для промежуточной и окончательной очистки, в то время как сильные щелочные травители предназначены для тщательной очистки поверхностей перед их облагораживанием, фосфатированием или нанесением покрытий. Кислотные продукты используют в специальных производствах. Очищающие вещества на водной основе можно использовать для очистки не только металлов, например, стали, алюминия, магния, меди и т.д., но также и пластмасс, поверхностей с нанесенным покрытием, стеклянных изделий и электронных деталей. В большинстве промышленных производств для подготовки поверхностей применяются системы на водной основе, которые демонстрируют несколько лучшие результаты очистки, чем применявшиеся до них системы на основе растворителей. Эти результаты оказывают особое влияние на дальнейшую обработку основы, например, покрытия. К двум основным технологиям систем очистки водными растворами, относятся погружение (системы с небольшими резервуарами и системы с несколькими резервуарами) и опрыскивание (небольшие машины, работающие совместно с туннельными сушилками).

*c) Процесс биологической очистки*

994. Данная технология основана на применении очистителя на водной основе в сочетании с комплексными микробиологическими препаратами для расщепления масел и смазочных материалов. Очищающий раствор на водной основе является слабощелочным и обеспечивает обезжиривание поверхностей многих металлов (например, меди, железа, алюминия, цинка). Используемые микроорганизмы представляют собой природные организмы, для которых создается оптимальная среда обитания, главные оптимальные параметры которой постоянно поддерживаются с помощью компьютерной системы. Чтобы не наносить вреда микроорганизмам, температуру очистки поддерживают в пределах 40–45 °C (хотя в некото-

рых системах она может понижаться до 35 °C), при этом величина pH должна оставаться в пределах около 9. Очиститель регенерируют посредством механизма автоматического дозирования. По сравнению со стандартными процессами обезжиривания, количество образующихся сточных вод в данном случае значительно меньше. Некоторые вещества могут отрицательно действовать на микроорганизмы и даже вызывать их гибель; к таким веществам относятся хлорированные продукты, механизм распада которых в настоящее время мало изучен. Основными вариантами применения являются обезжиривающий аппарат для профилактической холодной очистки.

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

995. К общим вариантам сокращения выбросов в данном секторе относятся [1]:

- a) минимизация количества смазочных материалов и масел, выбор масляных смазок или систем, обеспечивающих использование большинства безвредных для окружающей среды систем обезжиривания;
- b) совершенствование оборудования:
  - i) холодная очистка: систематическое использование защитных крышек, уменьшение давления распыления;
  - ii) обезжиривание парами: систематическое использование герметичных машин с замкнутым циклом для обезжиривания парами с помощью хлорированных растворителей, углеводородов или других растворителей, таких как гидрофторэфиры, гидрохлорфторуглероды и перфторуглероды;
  - iii) более высокой верхний край боковых стенок ванн для обезжиривания для уменьшения потерь органических растворителей; охлаждение верхнего края боковых стенок ванн для обезжиривания в сочетании с адсорбцией активированным углем;
- c) замена очистителей на основе растворителя:
  - i) все растворители, например трихлорэтилен, подпадающие под классификацию канцерогенных, следует заменить на иные вещества, за исключением случаев их использования в безопасных и герметичных машинах;
  - ii) обезжиривание парами: использование очистителя на водной основе (наряду с применением НИМ для данных процессов [1]);
  - iii) холодная очистка: биологические вещества, использование жирных кислот натуральных или синтетических эфиров [3];
- d) регенерация отработанных органических растворителей на месте или во внешней установке регенерации;
- e) переход к низкотемпературным плазменным процессам (при сохранении использования некоторого количества органического растворителя).

996. В таблице 112 приводятся примеры мер по борьбе с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при очистке поверхностей.



Таблица 112

**Источники выбросов и меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при очистке поверхностей [2]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Имеющиеся технологии</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для общих УВ-НИМ)</i>
Паровая очистка с использованием галогенизированных или углеводородных растворителей	Системы обезжиривания на водной основе Герметичные машины с замкнутым циклом	0 г/кг расходуемого растворителя* менее 0,1% расходуемого растворителя*

\* Сумма I1 количеств органических растворителей или их количеств в приобретенных препаратах, которые используются в качестве сырья в процессе в течение периода, за который рассчитывается баланс массы, и I2 количества органических растворителей или их количества в рекуперированных и повторно использованных в процессе растворителей (рециркулированный растворитель учитывается каждый раз, когда он используется в производстве).

**4. Новые методы****a) Сверхкритический CO<sub>2</sub>**

997. Принцип, лежащий в основе данной технологии, заключается в том, что в сверхкритических условиях (свыше 75 бар и 35 °C) CO<sub>2</sub>, находящийся в промежуточном состоянии между жидкостью и газом, приобретает свойства растворителя, а это дает преимущество корректировки при изменении температуры и давления. Этот чистый растворитель легко улавливается при повторном переходе в газовую фазу в конце цикла. Тем не менее его очищающая способность ограничена: он достаточно хорошо действует на неполярные продукты, но менее эффективен для полярных. Преодолеть указанный недостаток можно путем добавления нескольких процентов вспомогательного растворителя или путем ультразвукового механического воздействия.

**b) Плазменное обезжиривание**

998. Эта технология уже применяется в отдельных производственных секторах, и ее можно применять для многих самых разных основ, демонстрируя даже несколько лучший результат очистки, чем применяемые ранее системы на основе растворителей. Этот эффект особенно касается дальнейшей обработки основы, например покрытия отдельных видов пластмассы красками на водной основе. Таким образом, в некоторых случаях можно добиться двойного сокращения выбросов. В ходе процесса плазменного обезжиривания очистка поверхности происходит при температуре менее 100 °C и давлении от 0,1 до 2,10<sup>-3</sup> гПа. Вакуумную камеру наполняют технологическим газом, например инертными газами (такими, как аргон, гелий), фторсодержащими газами (например, тетрафторметан) или кислородом. Электрическое поле сообщает энергию системе, приводя к ионизации частиц газа. В качестве технологического газа чаще всего используют кислород. Радикалы, образующиеся при возбуждении, разрывают углеводородные цепочки и окисляют их, образуя двуокись углерода и воду. Очищающее действие плазмы основано на этой химической реакции. Органические загрязнения можно удалить за счет применения данного процесса обезжиривания, но плазменная технология не приспособлена для неорганических загрязнений, например таких, как стружка, минеральная пыль или соли.

## 5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

999. Соответствующие затраты приводятся в кратком обзоре ГЭТЭВ, касающемся «очистки поверхности» [2]. Затраты находятся в пределах от 0,4 до 56 евро/кг сокращенных выбросов ЛОС для самых маленьких установок и от –0,3 до 2,97 евро/кг ЛОС – для самых крупных.

## Справочные материалы, использованные в разделе НН главы VII:

1. European commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for the surface treatment of metals and plastics*.
2. Prepared in the framework of Expert group on Techno-Economic Issues (2005). *Surface cleaning: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Degreasing\\_Dry\\_cleaning.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Degreasing_Dry_cleaning.htm).
3. Agence de l'Environnement et DE la Maîtrise de l'Energie (2008). *Biosolvents, Enjeux et opportunités*.
4. AEA Energy & Environment, OKOPOL, and BIPRO (2008). *Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive*. European Commission Contract ENV/C.4/FRA/2007/001.
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Compilation of technical information on the new GHG gases and groups included in the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available from [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/\items/4624.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/\items/4624.php).

## II. Экстракция растительного масла и животного жира и рафинация растительного масла

### 1. Охват

1000. Рассматриваемые операции относятся к экстракции растительного масла и животного жира и рафинации растительного масла. Их определение сводится к следующему [1]: любые операции по получению растительного масла из семян и других растительных веществ, переработка сухих остатков для получения корма для животных, очистка жиров и растительных масел, полученных из семян, веществ растительного или животного происхождения.

1001. Однако согласно документу [4] в связи с распространением губчатой энцефалопатии крупного рогатого скота в настоящее время экстракция животного жира павших коров и других животных с помощью растворителей для производства корма для животных больше не практикуется. Поэтому в данной главе рассматривается только экстракция растительных масел.

### 2. Источники выбросов

1002. Производство неочищенного растительного масла из семян масличных культур (например, соевые бобы, семена подсолнечника или рапса) представляет собой двухступенчатый процесс:

а) первый технологический этап предусматривает очистку, подготовку (т.е. сушку) и в отдельных случаях лущение, вальцевание и кондиционирование, а также отжим семян масличных культур. Отжим проходит в один или два этапа, в результате которого получают неочищенное масло и жмых. Бобы (с содержанием масла 20% или меньше) не подвергаются отжиму в связи с более низким содержанием жира, а подвергаются прямой экстракции после очистки и подготовки;

б) второй технологический этап состоит из экстракции масла из жмыха или бобов после вальцевания с помощью гексана, используемого в качестве растворителя. Экстракция происходит в установке для удаления растворителя с противопотоком за счет острого или глухого пара.

1003. Смесь гексана и масла, которая называется мисцеллой, затем подвергается дистилляции для отделения гексана от растительного масла. Растворитель повторно используют в процессе экстракции. Чтобы получить пригодное для потребления масло, оно подвергается дальнейшей очистке.

1004. Гексан, остающийся в жмыхе, рекупируют путем отгонки с помощью пара. Этот процесс рекуперации растворителя в десольвентайзере-тостере также подавляет активность энзимов и микроорганизмов в шроте.

1005. Перед хранением или погрузкой шрот сушат и охлаждают воздухом. Очистка заключается в выполнении нескольких операций, которые могут носить либо физический, либо химический характер. Стандартная химическая очистка включает в себя рафинацию гидратацией для удаления фосфолипидов, нейтрализацию для удаления свободных жирных кислот, а также обесцвечивание и дезодорирование.

1006. В ходе экстракции масла образуются выбросы ЛОС. Этот процесс также сопровождается неорганизованными выбросами и выбросами дымовых газов. Процесс рафинации не является основным источником выбросов ЛОС, поскольку основные выбросы образуются на этапе нейтрализации и дезодорирования. Выбросы пыли возникают при сушке шрота, очищенного от растворителей и подсушенного. Избытки влаги удаляют вначале нагретым, а затем охлажденным воздухом. Отработанный воздух содержит пыль [3].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

1007. Для экстракции и рафинации растительного масла существует несколько вариантов сокращения выбросов ЛОС.

1008. При определении наиболее значительных объемов выбросов следует различать периодические и непрерывные процессы, в ходе последних образуются более значительные выбросы. С помощью так называемого десольвентайзера-тостера-сушилки-охладителя Крауна/Шумахера выбросы ЛОС на маслозаводах можно значительно сократить.

1009. Для сокращения выбросов можно использовать несколько технологий [2], приведенных ниже.

#### а) Оптимизация процесса

1010. Использование противопоточного десольвентайзера-тостера-сушилки-охладителя (ДТ), позволяющего свести к минимуму потери растворителя и расход пара, использование тепла пара ДТ одновременно с дистилляцией мисцеллы в процессе экстракции, что способствует оптимизации энергопотребления, системы очистки минерального масла для сокращения выбросов ЛОС и ребойлера, сводящего к минимуму потери растворителя.

*b) Использование вторичных мер за счет конденсации/физического разделения/дистилляции*

1011. Пары гексана и водяной пар, высвобождающиеся в ходе удаления растворителя/подсушивания шрота, при дистилляции мисцеллы (неочищенное растительное масло и гексан), из ребойлера и из отгоночной колонны системы минерального масла, проходят через систему конденсации. Сконденсированные пары (конденсат гексана-воды) поступают в водо-гексановый сепаратор, где нерастворившийся гексан удаляют посредством гравитационного фазового разделения. Гексан рециркулируется обратно в процесс экстракции. Остаточный растворитель в водной фазе водно-гексанового сепаратора подвергается отгонке в так называемом ребойлере. Образующиеся при этом пары гексана/воды из ребойлера конденсируются совместно с парами, образовавшимися при дистилляции. По завершении кипения вода, практически полностью очищенная от гексана, поступает в систему очистки сточных вод. Указанная технология также обеспечивает взрывобезопасность данной системы в конце технологической цепочки.

*c) Использование вторичных мер за счет абсорбции/десорбции*

1012. Компоненты, не конденсируемые в конденсаторе, проходят дальнейшую очистку с применением технологии абсорбции, так называемой системы очистки минерального масла, где происходит абсорбция остатков гексана. Система минерального масла состоит из абсорбционной колонны, где происходит абсорбция гексана холодным минеральным маслом пищевой кондиции. Затем происходит улавливание гексана за счет отгонки паром минерального масла, насыщенного гексаном, в отгоночной колонне. Минеральное масло после отгонки охлаждается и повторно используется в абсорбционной колонне.

1013. Окончательные выбросы из дистилляционной системы минерального масла состоят из неконденсирующихся веществ со следами гексана.

1014. Пары гексана и пар из отгоночной колонны минерального масла конденсируются в конденсаторе. Водно-гексановый конденсат затем поступает в водно-гексановый сепаратор (см. выше). Весь рекуперированный гексан повторно используется в процессе экстракции.

1015. По соображениям безопасности пыль удаляется циклонами. Использование тканевых фильтров и электрофильтров увеличивает пожароопасность и поэтому неприемлемо.

1016. Таким образом, НИМ для данного сектора заключаются в следующем [3]:

а) использование противопоточного десольвентайзера-тостера-сушилки-охладителя (например, установки Шумахера);

б) использование пара, получаемого в верхних чанах для дистилляции мисцеллы;

с) использование водоструйных насосов для создания дополнительного вакуума в целях сушки, дегазирования масла или сведения к минимуму его окисления;

д) использование очистителя минерального масла для рекуперации гексана из неконденсируемых паров при удалении растворителя из корма, дистилляции мисцеллы, из ребойлера и из отгоночной колонны системы минерального масла;

е) использование циклонов для уменьшения выбросов влажной пыли при экстракции растительного масла для достижения уровня выбросов влажной пыли менее 50 мг/Нм<sup>3</sup>;

ф) улучшение контроля за отклонениями от нормальных эксплуатационных условий и предотвращение пусков и остановов [2] (однако это зависит от количества различных видов семян, перерабатываемых в течение года, и существенно осложняется, если это количество высоко).

1017. Достижимые уровни выбросов приводятся в справочном документе ГЭТЭВ при условии применения биофильтрации. Однако, согласно документу ФЕДИОЛ, биофильтрация едва ли применима вследствие крайне слабой растворимости гексана в воде. Достижимый уровень выбросов, установленный в предыдущем руководящем документе III согласно Гётеборгскому протоколу, также был изменен в соответствии с данными, приведенными в справочном документе ГЭТЭВ [2].

Таблица 113

**Меры борьбы с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при экстракции растительного масла**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Сочетание мер борьбы</i>	<i>Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ (среднегодовые для общих УВ-НИМ)</i>
Экстракция масла из семян, непрерывный процесс экстракции из семян рапса, подсолнечника и бобов сои	Процесс оптимизации и противоточный десоль-вентайзер-тостер-сушилка-охладитель и конденсация с дальнейшей абсорбцией (система очистки минеральным маслом)	0,5 г/кг переработанных семян [2]
Экстракция масла из семян других масличных культур, в частности сафлора, горчицы, хлопчатника и растительного вещества	и другие описанные выше технологии	3 г/кг переработанных семян [3]
Экстракция масла из семян в периодическом процессе		4,0 г/кг переработанных семян
Все процессы разделения на фракции: кроме рафинирования гидратацией:		1,5 г/кг переработанных семян 4,0 г/кг переработанных семян
Рафинирование гидратацией:		[3]

#### 4. Данные о затратах на технологии сокращения выбросов

1018. Соответствующие затраты приводятся в документах ГЭТЭВ [2]. Расходы на сокращение выбросов принимают отрицательные значения, поскольку капитальные вложения приводят к снижению расхода гексана.

1019. *Внимание:* указанные документы могут редактироваться при поступлении обновленных данных.

## 5. Новые методы

1020. Данные отсутствуют.

## Справочные материалы, использованные в разделе II главы VII:

1. European Commission (1999). *Directive 1999/13/EC of 11 March 1999 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
2. Prepared in the framework of Expert group on Techno-Economic Issues (2005). *Fat edible and non-edible oil extraction: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).
3. European Commission (2006). *Reference document on Best Available Techniques for the food, drink and milk industries*.
4. Geslin, M from the French National Federation of Fat compounds (2008). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals*.

## JJ. Нанесение новых покрытий на поверхность транспортных средств

### 1. Охват

1021. Согласно приложению IX этот сектор включает нанесение покрытий на дорожные транспортные средства или их отдельные части, осуществляемые в рамках внезаводских ремонтно-профилактических мероприятий, операций по консервации или отделке транспортных средств, их покрытия защитными смазками или отделки за пределами предприятий обрабатывающей промышленности. Повторная окраска транспортных средств включает нанесение покрытий и очистку поверхностей.

### 2. Источники выбросов

1022. К основным источникам выбросов ЛОС в этом секторе относятся операции окраски, сушки, очистки оборудования, а также операции по подготовке поверхности перед нанесением покрытий и при их нанесении в несколько слоев.

### 3. Имеющиеся методы, достижимые концентрации растворителей

1023. Сокращения выбросов можно добиться за счет применения первичных мер, например надлежащей организации производства, использования красок с низким содержанием органических растворителей (включая водоразбавляемые системы), использования пистолетов-краскораспылителей низкого давления и обдувочных пистолетов. Как правило, вторичные меры неприемлемы по причинам их экономической неэффективности.

1024. Предельно допустимые концентрации ЛОС, установленные в Директиве 2004/42/ЕС, определяются категорией продукта в приведенной ниже таблице 114.

Таблица 114

**Достижимые концентрации растворителей для каждого вида краски [2]**

Подкатегория продукта <sup>a</sup>	Покрытия	ЛОС (г/л) <sup>b</sup>
Подготовка и очистка	Подготовительные	850
	С предварительной очисткой	200
Кузовная шпатлевка/замазка	Все виды	250
Грунтовка	Шпатлевка/замазка и типовая (по металлу) грунтовка	540
	Протравная грунтовка	780
Верхнее покрытие	Все виды	420
Специальные покрытия	Все виды	840

<sup>a</sup> Подкатегории продуктов приводятся в приложении XI.

<sup>b</sup> г/л готового к использованию продукта. За исключением категории «предварительная подготовка и очистка», учет содержания воды в готовом к использованию продукте не требуется.

#### 4. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов

1025. Затраты на сокращение выбросов, соответствующих нормативам Директивы 2004/42/СЕ, составляют примерно 1 400 евро/т сокращенных выбросов ЛОС. Подробная методика оценки этих расходов содержится в кратком обзоре ГЭТЭВ, касающемся повторной окраски транспортных средств [1].

1026. *Внимание:* указанный документ может пересматриваться при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

1027. Дальнейшее уменьшение выбросов представляется возможным.

### Справочные материалы, использованные в разделе JJ главы VII:

1. Prepared in the framework of Expert group on Techno-Economic Issues (2005). *Vehicle refinishing: Synopsis Sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Paint\\_coating.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Paint_coating.htm).
2. European Commission (2004). *Directive 2004/42/EC of the European Parliament and of the Council of 21 April 2004 on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in decorative paints and varnishes and vehicle refinishing products and amending Directive 1999/13/EC*.

## КК. Пропитка древесины

### 1. Охват

1028. Этот сектор охватывает пропитку древесины консервантами на основе органических растворителей, креозотом и консервантах на водной основе. Консерванты для древесины могут поставляться как для промышленного, так и для домашнего использования. В данном разделе рассматриваются варианты только промышленного применения.

## 2. Источники выбросов

1029. Консервацию древесины проводят для ее защиты от грибков и насекомых, а также от разрушения в атмосферных условиях. Для этого используются различные виды консервантов [1]:

а) консерванты на основе растворителя: традиционные средства консервации состоят примерно из 10% активных ингредиентов и 90% органических растворителей, в качестве которых обычно используется уайт-спирит или другие углеводороды на основе нефти. Без дополнительных мер нормативный уровень выбросов ЛОС составляет примерно 19,8 кг/м<sup>3</sup> обрабатываемой древесины, системы концентрированных пестицидов: это растворы на основе растворителей с высокими концентрациями пестицидов;

б) консерванты на водной основе: они состоят из водных растворов солей. При их использовании наблюдается сокращение выбросов ЛОС, превышающее 99% по сравнению с исходной ситуацией;

с) креозот: креозот представляет собой продукт дистилляции каменноугольной смолы. Около 10% креозота, используемого для консервации древесины, состоит из летучих органических соединений.

1030. Оценку выбросов можно производить исходя либо из количества израсходованных консервантов, либо из количества обработанных лесоматериалов.

1031. Консерванты можно наносить с помощью вакуумных процессов, под давлением, методом погружения, распылением или с помощью кисти. Процессы в вакууме могут слегка варьироваться в зависимости от вида консервирующего вещества. Эффективность применения пестицидов при погружении и нанесении кистью близка к 90%, а при вакуумном нанесении в условиях полной герметичности – практически 100%. Эффективность распыления гораздо ниже, т.е. находится в пределах 5–50%.

## 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

1032. Согласно документу БРЕФ по обработке поверхностей [1] к НИМ относятся вакуумная пропитка древесины системами с растворителями на водной основе или с высокой концентрацией пестицидов или очистка отработанного газа активированным углем или конденсация. Благодаря использованию систем на водной основе можно добиться 99% сокращения выбросов, а при применении систем на основе растворителя и очистке отработанного газа – 70% (примерно от 15 до 25% растворителя остается в древесине и испаряется в течение всего срока эксплуатации изделия).

1033. Поскольку значительное количество растворителя выделяется после обработки древесины, НИМ заключается в использовании растворителей с более низким потенциалом озonoобразования.

1034. Технологии и соответствующие коэффициенты сопутствующих выбросов, приведенные в таблице ниже, заимствованы из справочного документа ГЭТЭВ [2].



Таблица 115

**Источники выбросов и отдельные меры по борьбе с выбросами ЛОС с указанием УВ-НИМ при пропитке деревянных поверхностей**

Источник выбросов	Сочетание мер по борьбе	Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ [2] (среднегодовые для общих УВ-НИМ)
Все установки	Система вакуумной пропитки 100% консервантов на основе растворителей и очистка отработанного газа, например активированным углем или путем конденсации* (можно также предусмотреть адсорбцию на картриджах или рекуперацию и удаление за пределами предприятия)	~6 кг/м <sup>3</sup> обработанной древесины
	Оптимизация процесса 100% более концентрированных консервантов на растворителях Система вакуумной пропитки	11 кг/м <sup>3</sup> обработанной древесины
	100% консервантов на водной основе система вакуумной пропитки	~0,2 кг/м <sup>3</sup> обработанной древесины

\* Согласно документу БРЕФ по обработке поверхностей [1] очистка выбросов проводится на крупных установках, в то время как на небольших установках установка очистного оборудования может оказаться экономически нецелесообразной.

#### 4. Данные о затратах на технологии сокращения выбросов

1035. Расходы и методика их подсчета содержатся в документах ГЭТЭВ, касающихся консервации древесины [2].

1036. Затраты на сокращение выбросов при использовании первичных мер колеблются в пределах от 0,3 до 0,7 тыс. евро/тонну сокращенных выбросов ЛОС, а в ряде случаев они приобретают даже отрицательные значения. При применении вторичных мер, расходы на сокращение выбросов находятся в пределах от 1 до 21 тыс. евро/тонну сокращенных выбросов ЛОС в зависимости от габаритов установки и используемой технологии.

1037. *Внимание:* указанные документы могут пересматриваться при поступлении обновленных данных.

#### 5. Новые методы

1038. Данные отсутствуют.

### Справочные документы, использованные в разделе КК главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference Document on Best Available Techniques on: Surface Treatment using Organic Solvents.*

2. Prepared in the framework of Expert group on Techno-Economic Issues (2005). *Wood preservation: Synopsis sheet*. Available from [http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei\\_Syn-Solvent\\_use.htm](http://www.citepa.org/old/forums/egtei/egtei_Syn-Solvent_use.htm).

## LL. Содержание растворителя в продукции 2: бытовое использование растворителя (кроме красок)

### 1. Охват

1039. К данной категории источников относятся бытовое применение клеев, использование автопринадлежностей, очистителей, средств ухода за кожей и мебелью, пестицидов, косметики и фармацевтических препаратов.

### 2. Источники выбросов

1040. Выбросы ЛОС образуются в связи с содержащимися в продукции растворителями. Считается, что 100% всех используемых растворителей поступают в атмосферу в виде выбросов.

### 3. Имеющиеся методы, достижимые концентрации растворителей

1041. Для бытового использования органических растворителей варианты уменьшения выбросов приводятся только в части, касающейся замены продукцией с нулевым или низким содержанием органических растворителей (в основном продукцией на водной основе), неорганическими пропеллентами, уменьшением объема упаковки.

1042. В исследовании БИПРО, посвященном определению выбросов ЛОС при использовании продукции [1], содержатся данные о предельно допустимых концентрациях ЛОС, которые могли бы стать обязательными для списка некоторых продуктов. Учитываются три вида продуктов: пропелленты, косметические средства (кроме аэрозолей) и клеящие вещества, используемые вне установок (которые уже перечислены в Директиве 99/13/ЕС [2]). Предельно допустимые концентрации ЛОС приводятся в таблице ниже.

1043. Наиболее крупными источниками выбросов при использовании продукции, содержащей ЛОС, в ЕС являются [1]:

- Аэрозоли в косметике (пропелленты) = 180 кг/год
- Растворители в веществах для очистки = 110 кг/год
- Растворители в клеящих веществах = 100 кг/год.

Таблица 116

#### Предельно допустимые концентрации ЛОС для каждого вида бытовых товаров

	Предельно допустимая концентрация ЛОС [%]	ПЗВ в соответствии с Кодексом законов Калифорнии [1], [3]
Пропелленты		
Лаки для волос	75	55
Дезодоранты	20	10
Антиперспиранты	75	10 (МЛОС), 40 (ГЛОС)
Чистящие средства	10	4

	Предельно допустимая концентрация ЛОС [%]	ПЗВ в соответствии с Кодексом законов Калифорнии [1], [3]
Косметические средства (кроме аэрозолей)		
Средства ухода за кожей	20	
Шампуни, мыло и пены для ванн	3	
Средства для бритья	3	
Духи и одеколоны	80	75
Дезодоранты	20	10
Клеящие вещества, используемые в строительстве и конструировании		
Кровельные покрытия	Без растворителей <sup>a</sup>	
Изоляция	Без растворителей <sup>a</sup>	
Потолочные панели	30	
Панели из фанеры	Без растворителей <sup>a</sup>	
Напольные покрытия	8 <sup>a</sup>	
Клеящие вещества для деревообработки и столярных работ		
Древесина	Без растворителей <sup>a</sup>	
Лакированные поверхности	Без ограничений <sup>b</sup>	
Кожа, текстиль, войлок	8 <sup>a</sup>	
Резина, пластмассы, ПВХ	70 <sup>b</sup>	
Набивка и пены для мебели	8 <sup>a</sup>	
Клеи для обуви и кожи		
Верхняя часть обуви	10 <sup>a</sup>	
Подошва	55	
Крепление подошвы	Без ограничения	
Клеи широкого потребления «Сделай сам»		
Древесина	Без растворителей	
Бумага и картон	Без растворителей	
Универсальные и контактные клеи	Без ограничений <sup>b</sup>	
Моделирование и пластмассы	70 <sup>b</sup>	

<sup>a</sup> За исключением специальных вариантов применения.

<sup>b</sup> Использование альтернативных веществ в зависимости от материала и технических условий.

#### 4. Данные о затратах

1044. Данные отсутствуют.

#### 5. Новые методы

1045. Данные отсутствуют.

### Справочные материалы, использованные в разделе LL главы VII:

1. BIPRO, AFC consulting and DFIU (2002). *Screening study to identify reductions in VOC emissions due to the restrictions in the VOC content of products.*

2. European Commission (1999). *Directive 1999/13/EC of 11 March 1999. on the limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations*. Available from <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML>.
3. California Code of Regulations (2007). *Regulation for reducing VOC emissions from consumer products, Title 17, Division 3, chap. 1, subchap. 8.5, article 2, Consumer Products, sects. 94507-94517*.

## ММ. Пивоварение

### 1. Охват

1046. Настоящий раздел, посвященный производству пива, охватывает пивоваренные заводы производительностью 300 т готового продукта в сутки. В данном документе к сектору производства пива относится этап получения солода, хотя оба указанных технологических этапа осуществляются в разных местах [1] [2].

### 2. Источники выбросов

1047. Зерну, используемому для производств пива и некоторых крепких напитков, обычно дают прорасти. Данный процесс называется соложением, в результате которого крахмал превращается в сахар. Пророщенные зерна затем можно поджаривать. Продолжительность жарки зависит от сорта зерна и вида производимого напитка. Перед ферментацией зерно нередко варят в воде с образованием сусла, которое затем подвергают фильтрации для отделения твердых остатков.

1048. Ферментация происходит в больших бродильных чанах и обычно длится от одной до трех недель. Как правило, бродильные чаны герметично закрыты для рециркуляции двуокиси углерода. На других установках, как правило, меньшего размера, выбросы сбрасываются в атмосферу через влагоуловитель [3].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

1049. НИМ сокращения энергопотребления на пивоваренных заводах заключаются в повторном использовании горячей воды при охлаждении сусла и рекуперации тепла в процессе подогревания сусла и тепла конденсируемых паров (что также позволяет сократить выбросы веществ с неприятным запахом) для предварительного нагрева следующей партии сусла или технологической воды. Если это применимо, улавливание  $\text{CO}_2$  следует осуществлять путем очистки, сжатия, сушки и очистки от газов брожения пива [1] [2] [4].

#### a) $\text{SO}_2$

1050. В качестве меры по сокращению выбросов  $\text{SO}_2$  рекомендуется использовать имеющиеся на рынке вида топлива с низким содержанием серы [5].

1051. Однако сектор пивоварения не считается крупным источником выбросов  $\text{SO}_2$ , а поэтому далее не рассматривается; информацию о выбросах при производстве энергии можно найти в главе, посвященной промышленным котельным установкам.

#### b) $\text{NO}_x$

1052. В качестве меры по сокращению выбросов  $\text{NO}_x$  можно рекомендовать использование горелок с низким выбросом  $\text{NO}_x$  и регулярное техническое обслуживание котлов [5].

1053. Однако сектор пивоварения не считается крупным источником выбросов, а поэтому далее не рассматривается; информацию о выбросах при производстве энергии можно найти в главе, посвященной промышленным котельным установкам.

c) *Пыль*

1054. В случае необходимости для удаления дисперсного вещества при сбросе воздуха можно использовать циклоны, тканевые фильтры или электрофильтры [3] [5].

1055. Однако сектор пивоварения не считается крупным источником таких выбросов, а поэтому далее не рассматривается; информацию о выбросах при производстве энергии можно найти в главе, посвященной небольшим установкам сжигания [6]<sup>i</sup>.

d) *ЛОС*

1056. Производство пива в основном является источником выбросов с неприятным запахом. Поскольку источником значительного объема выбросов ЛОС могут являться крупные пивоваренные заводы, следует использовать соответствующие технологии сокращения выбросов веществ с неприятным запахом и ЛОС, а отработанные газы следует по возможности повторно использовать. Выбросы ЛОС частично ограничиваются за счет нормативов по сокращению выбросов веществ с неприятным запахом; их также можно сократить, используя замкнутый цикл производства, например путем рециркуляции CO<sub>2</sub>. Если отработанный газ варочного цеха подвергается конденсации, а газы ферментационного цеха рекуперированы, отпадает необходимость в дальнейших мерах по сокращению выбросов, например биофильтрации. В противном случае биофильтрация является крайне эффективной мерой сокращения выбросов, особенно в том, что касается низких концентраций НМЛОС в отработанном воздухе и выбросов веществ с неприятным запахом. Биофильтры устраняют запахи и выбросы ЛОС за счет абсорбции загрязнителей загрузкой фильтра и их разложения микроорганизмами, находящимися на фильтровальном материале. Они применимы для широкого диапазона воздушных потоков (до >100 000 м<sup>3</sup>/ч), но при этом температура воздуха не должна превышать 40 °С. Капитальные затраты и эксплуатационные расходы при биофильтрации в данном случае ниже, чем при использовании стандартных очистных технологий (например, адсорбция на активированном угле). В противном случае, органические компоненты с неприятным запахом можно удалять за счет конденсации паров из варочных котлов в сочетании с рекуперацией энергии.

1057. Выбросы ЛОС, образующиеся на определенных технологических этапах, можно ограничить за счет применения таких технологий их сокращения, как конденсация, адсорбция на активированном угле или сжигание. Отдельные применимые меры по сокращению выбросов и соответствующие им коэффициенты выбросов в пивоварении приводятся в таблице 117 [2].

<sup>i</sup> Согласно Руководству ЕМЕП/Коринэйр 2006 года: «Эти производства нельзя считать крупным источником выбросов PM<sub>2,5</sub>» (по состоянию на декабрь 2006 года).

Таблица 117

**Уровни выбросов ЛОС при применении НИМ в пивоварении [2]**

Источник выбросов	Уровни выбросов при применении НИМ <sup>a</sup> кг/м <sup>3</sup> пива	Примечания
Производство пива (объем производства >1 000 м <sup>3</sup> /год)	0,004	Конденсация отводимого воздуха из пивоваренного цеха и рекуперация ферментационного газа или биофильтрация выбросов в результате осоложения зерна и рекуперация CO <sub>2</sub> , образующегося в процессе ферментации.

<sup>a</sup> Уровни выбросов при применении НИМ основаны на среднесуточных значениях при стандартных условиях и отражают типичную нагрузочную ситуацию. В периоды пиковых нагрузок, пуска и останова, а также неисправностей систем очистки дымовых газов необходимо учитывать кратковременные пиковые значения, которые могут быть выше.

е) *Воздействие на другие среды*

1058. Для всех упомянутых выше технологий уменьшения выбросов следует учитывать перенос загрязнителей из одной среды в другую, а также весь комплекс воздействий на окружающую среду и положительные экологические результаты. Например, отдельные меры по предотвращению загрязнения, его сокращению или ликвидации могут повлечь дополнительное потребление энергоресурсов и увеличить количество отходов или сточных вод.

**4. Новые технологии**

1059. В данном секторе не ожидается крупных технологических прорывов.

**5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

Таблица 118

**Данные о затратах на рекуперацию CO<sub>2</sub> и биофильтрацию**

Характеристики соответствующей пивоварни	Варианты сокращения	Инвестиции <sup>a</sup> [евро]	Эксплуатационные расходы <sup>b</sup> [евро/год]	Сокращенный массовый поток [Мг ЛОС/год]
<b>Производство пива (включая осоложение)</b>				
Крупная пивоварня; производственная мощность: 150 000 м/год пива; время функционирования: 4 000 ч/год	Рекуперация CO <sub>2</sub> в ходе ферментации и биофильтрация выбросов, образующихся в процессе осоложения зерна	250 000	3 2000	9

<sup>a</sup> В зависимости, например, от расхода отработанного газа, концентрации ЛОС в отработанном газе, производственных мощностей. Если не указано иное, все указанные инвестиции составляют дополнительные капиталовложения в случае, если переход на другую технологию происходит в ходе самостоятельной смены технологии.

<sup>b</sup> В зависимости, например, от расхода отработанного газа, концентрации ЛОС, степени рекуперации тепла.

<sup>vp</sup> Давление паров.

Таблица 119

**Данные о затратах на биофильтры [1]**

Габариты установки (воздушные потоки)	Удельные капитальные затраты	Эксплуатационные расходы
Малые (200–500 м³/ч)	45–50 евро/м³	0,225–0,3 евро/1 000 м³
Крупные установки	До 10–15 евро/м³	(включая 0,15–0,225 евро/1 000 м³ расходов на энергоресурсы, подсчитанных с учетом расходов на электроэнергию в размере 0,15 евро/кВт•час)

**Справочные материалы, использованные в разделе MM главы VII:**

1. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques in the Food, Drink and Milk Industries: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>.
2. Rentz, O. and others (1999). *Task force of the assessment of abatement options / techniques for VOC from stationary sources*. BAT background document. United Nations Economic Commission for Europe. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
3. Environmental Protection Agency Ireland (2006). *Draft BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Brewing, Malting and Distilling Sector*.
4. International Finance Corporation (2007). *Environmental, Health, and Safety Guidelines for Breweries*.
5. The Brewers of Europe (2006). *Guidance Note for establishing BAT in the brewing industry*.
6. European Environment Agency (2006). *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Activities 040606-040608*.

**NN. Производство диоксида титана****1. Охват**

1060. Диоксид титана может производиться с помощью двух химических процессов: хлорным и сульфатным способами производства. В настоящей главе описываются оба процесса. Производство диоксида титана является в основном источником выбросов двуокиси серы и пыли. Поэтому в настоящей главе выбросы NO<sub>x</sub> не рассматриваются [1].

**2. Источники выбросов**

1061. При производстве диоксида титана (TiO<sub>2</sub>) чистый порошок TiO<sub>2</sub> получают путем растворения содержащегося в минеральном сырье TiO<sub>2</sub> с образованием TiOSO<sub>4</sub>. Тетрахлорид титана подвергается гидролизу и осаждается для отделения частиц титана от основных загрязнений, а затем он подвергается термической обработке для получения чистого продукта.

1062. В сульфатном процессе для растворения содержащего в сырье (либо ильмените с низким содержанием  $\text{TiO}_2$ , либо титаносодержащих шлаках с более высоким содержанием  $\text{TiO}_2$ ) используют серную кислоту. Ильменит является природным минералом, а шлаки получают в металлургической промышленности. Процесс гидролиза может быть периодическим или непрерывным. Чаще всего используется периодический процесс. Производство диоксида титана в ЕС осуществляется исключительно с помощью этого процесса.

1063. Для гидролиза ильменита или шлака, содержащего  $\text{TiO}_2$ , требуется высококонцентрированная серная кислота (80–95%). В ходе экзотермического периодического процесса температура поднимается от 180 °C до 210 °C. Дымовые газы, образующиеся в процессе гидролиза, содержат пыль и  $\text{SO}_2$  и требуют очистки.

1064. Твердая корка, получаемая при гидролизе, растворяется в воде с образованием раствора тетраоксида титана ( $\text{TiOSO}_4$ ). Этот раствор подвергают паровфазному гидролизу с осаждением гидроксида титана, который затем отделяется путем фильтрации и промывается для поглощения ионов металлов.

1065. Отделенный гидроксид титана кальцинируют во вращающейся печи для восстановления обратно в диоксид титана. Следы остаточной серной кислоты выбрасываются в виде выбросов  $\text{SO}_2$  и, как правило, очищаются с помощью каталитических систем. Чистый диоксид титана затем подвергается окончательной обработке, в ходе которой изменяются поверхностные свойства путем добавления покрытий в зависимости от конечного назначения, например, для красок, печатных красок и окрашивания пластмасс. Процесс окончательной обработки представляет собой типичный мокрый периодический процесс, состоящий из нескольких этапов, включая нанесение покрытия, механическое измельчение и сушку. В ходе данного процесса происходит микроизмельчение до 0,2–0,4 мкм, величины, требуемой для получения оптимальных характеристик пигмента [1].

1066. В хлорном процессе происходит экстракция оксида титана из руды. Руду и шлак загружают в реактор с псевдоожиженным слоем, где при температуре 1 000 °C происходит экзотермическая реакция с хлорным газом. При хлорном способе образуется тетрахлорид титана ( $\text{TiCl}_4$ ). Дымовые газы в процессе хлорирования содержат пыль и  $\text{SO}_2$ , требующие очистки. В основном  $\text{SO}_2$  образуется в результате содержания серы в шлаке.

1067.  $\text{TiCl}_4$  конденсируют и дистиллируют. Затем происходит его предварительный нагрев и окисление с применением предварительно подогретого кислорода и образованием диоксида титана при температуре от 900 °C до 2 000 °C. Наконец, продукты охлаждают, а образовавшийся порошок  $\text{TiO}_2$  направляют на окончательную обработку, которая осуществляется аналогично процедуре, принятой для сульфатного процесса с использованием сульфата [1].

### 3. Уровни выбросов при применении НИМ (УВ-НИМ)

#### a) $\text{SO}_2$

##### i) Сульфатный процесс

1068. В сульфатном процессе основным источником выбросов  $\text{SO}_2$  является гидролиз серной кислотой. Поэтому необходима очистка дымовых газов из гидролизного реактора. НИМ сокращения выбросов  $\text{SO}_2$  в процессе гидролиза заключается в использовании скруббера с водяным орошением, если сырьем служит концентрат ильменита, или щелочного скруббера, если сырьем является шлак.

1069. Процесс кальцинации также является значительным источником выбросов  $\text{SO}_2$ , поскольку он происходит во вращающейся печи, работающей на газе



или нефти. Уровень выбросов зависит от содержания серы в используемом топливе. Дымовые газы, которые также содержат следы серы из продуктов, улавливают и обеспыливают. НИМ сокращения выбросов диоксида серы при кальцинации является улавливание  $SO_2$  и его направление на перегонку на завод серной кислоты. В присутствии катализатора уловленный  $SO_2$  окисляется до  $SO_3$  (сульфоокислотный процесс). Затем происходит абсорбция  $SO_3$  с образованием серной кислоты. Серную кислоту затем повторно используют в процессе.

1070. В приведенной ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов  $SO_2$  при применении НИМ в производстве диоксида титана сульфатным способом [1].

Таблица 120

**Уровни выбросов  $SO_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана сульфатным способом [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (кг/т пигмента <math>TiO_2</math>)</i>
Процесс гидролиза	Мокрая или щелочная система очистки	$SO_2$ :1–6
Процесс кальцинации	Рекуперация $SO_2$ для образования $H_2SO_4$	

ii) Хлорный процесс

1071. В хлорном процессе основным источником выбросов  $SO_2$  являются реакции титаносодержащей руды с хлорным газом. На уровни выбросов влияет содержание серы в используемом коксе. НИМ состоит в сокращении выбросов  $SO_2$  в процессе хлорирования, прежде всего, за счет использования кокса с низким содержанием серы в качестве первичной меры и затем применение эффективной системы очистки отходящего газа (в качестве вторичной меры можно использовать NaOH).

1072. В приводящейся ниже таблице содержится общий обзор уровней выбросов  $SO_2$  при применении НИМ в производстве оксида титана хлорным способом [1].

Таблица 121

**Уровни выбросов  $SO_2$  при применении НИМ сокращения выбросов в производстве оксида титана хлорным способом [1] [6]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (кг/т пигмента <math>TiO_2</math>)<sup>a</sup></i>
Хлорирование	Титановые шлаки с низким содержанием серы Система очистки отходящего газа	$SO_2$ :1,3–1,7

<sup>a</sup> Выбросы  $SO_2$  зависят от сырья и нефтяного кокса с низким содержанием серы, который использовался в момент составления БРЕФ, но который в настоящее время уже не используется [8].

## b) Пыль

1073. При производстве  $\text{TiO}_2$  сульфатным способом основными источниками выбросов пыли являются процессы предварительной подготовки, кальцинация и процессы окончательной обработки.

1074. При производстве  $\text{TiO}_2$  хлорным способом основными источниками выбросов пыли являются процессы погрузки-выгрузки и обработки сырья, процессы окончательной обработки.

1075. Процессы предварительной и окончательной обработки в производстве диоксида титана сульфатным и хлорным способом не отличаются друг от друга, а поэтому НИМ идентичны для обоих процессов. Однако уровни выбросов при применении НИМ при этом различаются. Уровни выбросов пыли представлены в отдельных таблицах (121 и 122).

1076. НИМ уменьшения выбросов в процессах предварительной обработки является использование рукавных фильтров в ходе обращения, сушки и измельчения руды.

1077. НИМ уменьшения выбросов в процессе окончательной обработки является использование рукавных фильтров.

1078. НИМ уменьшения выбросов в процессе кальцинации является применение электрофильтров для удаления пыли. Это позволяет сократить выбросы пыли, а также избежать взаимодействия частиц пыли и катализатора при окислении  $\text{SO}_2$ .

1079. Пыль, уловленную в ходе различных процессов, можно повторно использовать в процессе.

1080. В таблице ниже приводится общий обзор уровней выбросов пыли при применении НИМ в производстве диоксида титана.

Таблица 122

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана сульфатным способом [1] [5]**

Источник выбросов	Технологии	Уровни выбросов при применении НИМ ( $\text{мг}/\text{Нм}^3$ )
Процессы предварительной обработки	Рукавные фильтры ЭФ или скрубберы	Пыль: 5–20 (0,004–0,45 кг/т $\text{TiO}_2$ )
Процессы кальцинации	Циклоны/тканевые фильтры	
Окончательная переработка (дробление и измельчение)	Рукавные тканевые фильтры	

Таблица 123

**Уровни выбросов пыли при применении НИМ сокращения выбросов в производстве диоксида титана хлорным способом [1]**

<i>Источник выбросов</i>	<i>Технологии</i>	<i>Уровни выбросов при применении НИМ (кг/т TiO<sub>2</sub>)</i>
Процессы предварительной подготовки окончательная обработка (дробление, тонкое измельчение)	Рукавные фильтры Рукавные фильтры с обратной импульсной продувкой	Пыль: 0,1–0,2

**4. Новые методы**

1081. В настоящее время новых методов сокращения выбросов SO<sub>2</sub> или пыли в производстве диоксида титана не выявлено [1].

**5. Данные о затратах на внедрение технологий сокращения выбросов**

1082. В таблице ниже приводится краткий обзор затрат на внедрение технологий сокращения выбросов SO<sub>2</sub> в производстве диоксида титана.

Таблица 124

**Затраты на внедрение технологий очистки газообразных выбросов для борьбы с выбросами SO<sub>2</sub> в процессе гидролиза (сульфатный процесс) [1]**

<i>Гидролиз</i>	<i>Шлак</i>	<i>Ильменит</i>
SO <sub>2</sub> (кг/т)	1	0,2
<i>Система очистки</i>		
Капитальные +/- (30%) (евро/т)	85	75
Очистка (евро/т)	10	5

Таблица 125

**Затраты на технологии очистки газообразных выбросов для борьбы с выбросами SO<sub>2</sub> в процессе кальцинации (сульфатный процесс)<sup>a</sup>**

<i>Кальцинация</i>	<i>Стандартный катализатор</i>	<i>Катализатор с высокой активностью</i>	<i>Очистка</i>
Производительность катализатора (м <sup>3</sup> /т TiO <sub>2</sub> в час)	30–50	70–90	
SO <sub>2</sub> (кг/т)	8	2	1
Пыль (кг/т)	0,4	0,004	0,001
Капитальные <sup>b</sup> +/- (30%) (евро/т)	70	140	170
Очистка (евро/т)	5	10	9

<sup>a</sup> Определение производительности катализатора: объем катализатора (м<sup>3</sup>)/скорость подачи TiO<sub>2</sub> (т/ч).

<sup>b</sup> Определение расходов: капитальные затраты на новую установку (евро)/годовое производство (т).

## Справочные материалы, использованные в разделе NN главы VII:

1. European Commission (2007). *Reference document on Best Available Techniques for the manufacture of large volume inorganic chemicals – Solids and others industry.*
2. Sleire, B. (SFT), (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals.*
3. Brahner, B. (UBA Germany), (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals.*
4. Mc Nulty, G. (Huntsman Pigments), (2009). EGTEI working group for the preparation of the guidance document on stationary sources. *Compilation of the comments and proposals.*

## ОО. Новые стационарные двигатели

### 1. Охват

1083. Сектор стационарных двигателей охватывает технологии сжигания в стационарных двигателях, работающих на жидком или газообразном топливе. В данном документе основное внимание уделяется сокращению выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) из новых стационарных двигателей с номинальной эффективной тепловой мощностью более  $1 \text{ МВт}_{\text{тепл}}$  и искровым зажиганием (ИЗ) или двигателей, работающих на двухкомпонентном топливе (двигатели на ДТ в газовом режиме) или дизельных двигателей мощностью более  $5 \text{ МВт}_{\text{тепл}}$ . Приводятся также некоторые данные о воздействиях разных видов топлива и сокращении выбросов пыли (включая  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  и ЧУ), монооксида углерода (СО) и летучих органических соединений (ЛОС) из стационарных двигателей (соответствующие определения приводятся в главах I, V и VI).

### 2. Технологии сжигания

1084. В целом в процессе сжигания образуются атмосферные выбросы, которые считаются одним из основных источников загрязнения воздуха. В зависимости от вида топлива и доступных технологий используют несколько технологий (например, котлы, газовые турбины или стационарные двигательные установки), для которых характерны совершенно разные выбросы  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  и дисперсного вещества. В данном пункте описываются основные технологии для стационарных двигателей, используемые для сжигания твердого, жидкого и газообразного топлива.

1085. Определение двигателей: Стационарные двигатели можно классифицировать в зависимости от вида используемого топлива (см. таблицу 127):

- а) дизельные двигатели (включая двухтопливные газодизельные двигатели на газе высокого давления (ГД));
- б) газовые двигатели с искровым зажиганием от свечи зажигания или иного устройства (ИЗ); и
- с) двухтопливные двигатели (ДТ на газе низкого давления).

1086. Стационарные двигатели можно также подразделить на 2- и 4-тактные двигатели:

а) 2-тактные двигатели с сжатием и сгоранием в камере сгорания или открытой камере относятся к низкооборотным двигателям ( $<300$  об/мин.) и могут быть одно- (газ высокого давления) или двухтопливными (ДТ);

б) функционирование 4-тактных двигателей происходит по циклу сжатия и воспламенения сжатой топливно-воздушной смеси искрой от постороннего источника энергии; они имеют открытую камеру, предкамеру, лямбду 1 или системы сжигания обедненной топливной смеси и относятся к категории либо средне- ( $300 < n < 1\,200$  об/мин.), либо высокооборотных ( $>1\,200$  об/мин.) двигателей. Различные типы двигателей включают в себя газовые с искровым зажиганием (ИЗ), двухтопливные (ДТ) на газе низкого давления или дизельные двигатели на газе высокого давления (ГД), или двигатели на жидком топливе, или двигатели на ДТ.

1087. Двигатели также можно классифицировать согласно их оборотам:

а) низко- и среднеоборотные двигатели часто используют, например, в периоды базовой нагрузки, автономном комбинированном производстве электроэнергии и тепла в установках малого/среднего размера, компрессорных станциях перекачки газа и сырой нефти, а также на пиковых электростанциях общенациональной энергосистемы. Низко- и среднеоборотные двигатели могут работать либо на одном виде топлива, либо на двух;

б) низкоскоростные 2-тактные двигатели (выпускаются установки единичной мощностью примерно до  $90\text{ МВт}_{\text{эл}}$ ) работают на жидком дистиллятном нефтяном топливе, ТНТ (тяжелом нефтяном топливе), остаточном, эмульгированном нефтяном топливе, остаточных продуктах вакуумной переработки на нефтеперерабатывающих заводах и природном газе высокого давления (ГД типа);

с) среднеоборотные 4-тактные двигатели (выпускаются дизельные двигатели мощностью  $25\text{ МВт}_{\text{эл}}$ ), двухтопливные на газе низкого давления (ДТ) мощностью до  $17\text{ МВт}_{\text{эл}}$ , и с искровым зажиганием (ИЗ) единичной мощностью до  $10\text{ МВт}_{\text{эл}}$  работают на жидком дистиллятном нефтяном топливе и ТНТ (дизельные и двухтопливные двигатели), жидком остаточном нефтяном топливе, эмульгированном нефтяном топливе, остаточных продуктах вакуумной переработки (дизельные двигатели), природном газе (газодизельные (ГД), двухтопливные (ДТ) и с искровым зажиганием (ИЗ)), биогазе, шахтном газе и свалочном газе (в зависимости от типов ЭЗ и ГД);

д) высокооборотные двигатели, в основном, используются в периоды пиковых нагрузок. Высокооборотные стационарные двигатели, как правило, небольшие по размеру (единичная мощность до  $5\text{ МВт}_{\text{эл}}$ ) и в основном работают на природном газе, биогазе, свалочном газе, жидком биотопливе и жидком дистиллятном нефтяном топливе. Высокооборотные двигатели применяются для получения электроэнергии и в других внетранспортных областях применения.

Таблица 126

**Основные типы двигателей в разбивке по видам используемого топлива**

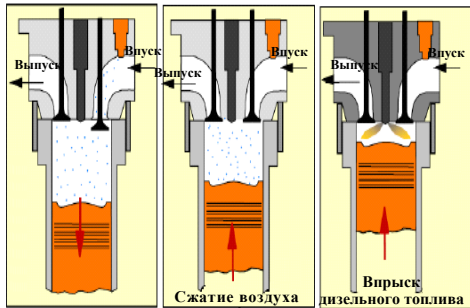
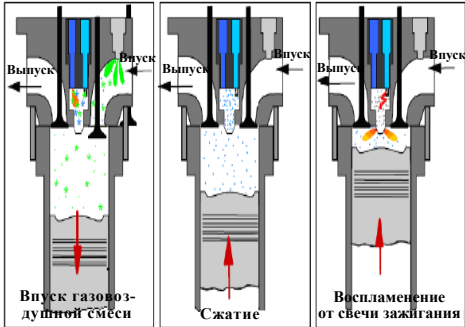
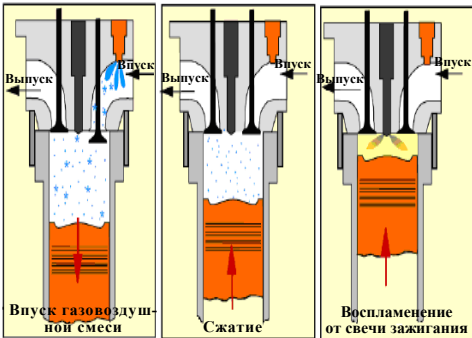
Двигатель	Описание двигателя
	<p><b>Режим дизеля</b></p> <p>Двигатели с самовоспламенением работают по циклу дизеля, в ходе которого воздух и топливо впрыскиваются в цилиндр по отдельности (без смешивания): вводимый воздух сжимается поршнем. По завершении такта сжатия происходит впрыск топлива, которое воспламеняется при контакте с горячим воздухом. В газовом режиме используется газ высокого давления.</p>
	<p><b>Газовый двигатель, с искровым зажиганием (от свечи зажигания)</b></p> <p>Экономичные двигатели <i>Экономичные газовые</i> работают по циклу Отто, в ходе которого перед впрыском в цилиндр топливо и горячий воздух предварительно смешиваются. Двигатели с сжиганием обедненной топливной смеси и искровым зажиганием являются чисто газовыми двигателями, воспламенение газового топлива происходит, например, с помощью свечи зажигания.</p>
	<p><b>Газовый режим</b></p> <p>Двухтопливные двигатели <i>Двухтопливные двигатели</i> работают по дизельному циклу при сжигании жидкого топлива и по циклу Отто при сжигании газообразного топлива. При работе в газовом режиме зажигание осуществляется в конце такта сжатия за счет впрыска небольшого количества запального жидкого топлива. В газовом режиме используется газ низкого давления.</p>

Таблица 127

## Основные типы современных стационарных поршневых двигателей

Принцип работы	Зажигание и сжигание	Стандартная классификация двигателей, основанная на оборотах двигателей	Режим работы	Топлива	Единичная электрическая мощность
2–тактный	Сжатие и открытая камера	Низкооборотные (<300 об/мин.)	Работа на одном топливе Двойное топливо (ГД) (природный газ высокого давления)	Жидкое дистиллятное топливо (дизельное топливо), ТНТ, отходы вакуумной перегонки НПЗ, эмульгированное нефтяное топливо, природный газ	До 90 МВт <sub>эл</sub>
4–тактный	Зажигание – Сжатие – Впрыск – Искра – Камера сгорания  Сжигание – Открытая камера – предкам – Лямбда 1 – бедная смесь	Среднеоборотные (300–1 200 об/мин.)	Работа на одном топливе  Жидкие топлива, газ (тип двигателя с искровым зажиганием, ГИЗ)  Работа на двух топливах Природный газ высокого давления (Газодизельный, ГД) Природный газ низкого давления (Двойное топливо, ДТ)  Резервный режим: жидкое топливо	В зависимости от типа двигателя (см. главу II): Жидкое дистиллятное топливо (дизельное топливо), ТНТ, жидкое остаточное нефтяное топливо, эмульгированные нефтяные топлива, отходы вакуумной перегонки НПЗ, жидкое биотопливо Природный газ, биогаз, свалочный газ	До – 25 МВт <sub>эл</sub> (дизель) – 17 МВт <sub>эл</sub> (ДТ) – 10 МВт <sub>эл</sub> (ГИЗ)
		Высокооборотные (>1 200 об/мин.)	Работа на двух топливах жидкие топлива, газ (тип двигателя с искровым зажиганием)	Природный газ, биогаз, свалочный газ, жидкое биотопливо, жидкое дистиллятное нефтяное топливо (дизельное топливо).	До 5 МВт <sub>эл</sub>

a) *НИМ борьбы с выбросами NO<sub>x</sub> из экономичных газовых двигателей*

1088. Для стационарных двигателей, работающих на газе, НИМ заключается в подходе, предусматривающем сжигание обедненной топливной смеси для сокращения выбросов NO<sub>x</sub>, который не отличается от используемой в газовых турбинах технологии сухого сжигания с малым выбросом NO<sub>x</sub>. Для достижения низкого уровня выбросов NO<sub>x</sub> эта первичная мера не требует дополнительных реагентов или добавления воды. Если в отношении экономичных двигателей на природном газе и с зажиганием от свечи зажигания или иных систем (ИЗ) использовать первичные меры, можно достичь уровней выбросов NO<sub>x</sub> в пределах 95–190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub> и 190–380 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub> для двухтопливных двигателей на газе низкого давления.

1089. Поскольку на газовых двигателях может предусматриваться установка катализаторов СКВ, это также рассматривается в качестве НИМ. Что касается двигателей на природном газе, то к НИМ сокращения выбросов СО относятся катализаторы окисления. При этом в большинстве случаев<sup>j</sup> требуется очистка топливного газа, когда при сжигании других видов газообразного топлива, например биогаза или свалочных газов, которые могут содержать каталитические яды<sup>k</sup>, используются окисление и катализаторы СКВ. Оптимизация работы двигателя является компромиссным вариантом между выбросами NO<sub>x</sub>, КПД двигателя (расходом топлива и, следовательно, выбросами СО<sub>2</sub>) и другими видами выбросов (например, СО и углеводородов). При применении СКВ (вторичная мера) был замерен уровень выбросов NO<sub>x</sub> в пределах 5<sup>l</sup>–19 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 15% O<sub>2</sub>.

b) *НИМ борьбы с выбросами NO<sub>x</sub> из двигателей (дизельных) на жидком топливе*

1090. Применение первичных технологий и вторичных мер, особенно применение системы СКВ, рассматривается в качестве НИМ для сокращения выбросов NO<sub>x</sub> из двигателей на жидком топливе (дизельных). Ограничения на применение СКВ распространяются на дизельные двигатели, которые необходимо эксплуатировать при переменных нагрузках. СКВ нередко применяется в дизельных двигателях, хотя эту систему не следует рассматривать в качестве НИМ для двигателей, работающих с частым изменением нагрузки вследствие технических ограничений (см. документ БРЕФ для крупных топливосжигающих установок, стр. 406 английского текста). Блок СКВ не будет функционировать эффективно, если эксплуатационные условия и температура катализатора будут часто колебаться, выходя за пределы необходимого эффективного температурного окна. Достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub> из работающих дизельных двигателей при использовании первичных мер, очевидно, будут находиться в диапазоне от 1 460 до 2 000 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> в зависимости от вида топлива и типа двигателя. Согласно новым нормативным документам МВФ/ВБ для новых двигателей в зависимости от диаметра цилиндров выбросы находятся в пределах 1 460–1 850 NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании O<sub>2</sub>.

1091. Для достижения уровней выбросов в 190 или 225 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании O<sub>2</sub> (что эквивалентно 500–600 мг NO<sub>x</sub>/Нм<sup>3</sup> при 5% содержании O<sub>2</sub>, установленных в Гётеборгском протоколе) в качестве вторичной меры ди-

<sup>j</sup> В настоящее время накоплен весьма ограниченный опыт.

<sup>k</sup> Катализаторы могут дезактивироваться. В настоящее время накоплен ограниченный опыт использования СКВ при сжигании биогаза, причем очистное оборудование стоит недешево. Необходимо дополнительное очистное оборудование для очистки от таких вредных соединений, как, например, NH<sub>3</sub> и H<sub>2</sub>S.

<sup>l</sup> Согласно промышленным данным это значение уровня выбросов NO<sub>x</sub> может быть достигнуто только в идеальных условиях и при использовании нового свежего катализатора, но не в нормальных эксплуатационных условиях.



зельные двигатели необходимо оснащать блоками СКВ. Следует отметить, что для двигателей с СКВ требуется минимальная температура выхлопных газов (в зависимости от содержания серы в топливе), чтобы предотвратить образование солей, забивающих катализатор, и при этом должна быть подготовлена инфраструктура снабжения аммиаком или мочевиной надлежащего качества. Достижимые уровни  $\text{NO}_x$  с СКВ установлены на основе примеров дизельных установок с рабочим диапазоном от 145 до 325 мг  $\text{NO}_x/\text{Нм}^3$ , работающих на разнообразном нефтяном топливе начиная от легкого до тяжелого, соответственно [1]. Следует отметить, что уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$  за счет системы СКВ зависит от количества добавляемых реагентов (в зависимости от расхода отработанных газов и концентрации  $\text{NO}_x$  входе/установленного предельного значения выбросов  $\text{NO}_x$  на выходе). Система управления скорректирует поток реагента для СКВ в зависимости от упреждающего сигнала при нагрузке двигателя (параметры, предварительно заданные при вводе в эксплуатацию установки на основе измерений  $\text{NO}_x$ ). В отдельных случаях помимо упреждающего сигнала для «точной настройки» системы используется также сигнал обратной связи (из контрольно-измерительного устройства измерения  $\text{NO}_x$ ). Установленные уровни  $\text{NO}_x$  различаются в зависимости от страны, о чем свидетельствуют приведенные ниже примеры:

а) в Бельгии и Нидерландах не так давно был установлен нормативный уровень выбросов  $\text{NO}_x$ , колеблющийся в пределах от 130 до 150 мг/Нм<sup>3</sup> (15% содержания  $\text{O}_2$ ) для всех новых дизельных двигателей;

б) в соответствии с немецкими техническими нормами по контролю качества воздуха (TA-LUFT) 2002 года установленные предельные значения  $\text{NO}_x$  равны 190 мг/Нм<sup>3</sup> (15% содержание  $\text{O}_2$ ), а французские предельные значения  $\text{NO}_x$  близки с установленным в предыдущем варианте TA-LUFT 1986 года примерно в 750 мг/Нм<sup>3</sup> (15% содержание  $\text{O}_2$ ).

1092. Двухтопливные (ДТ) двигатели не включены в данный Протокол. Для ДТ двигателя, работающего в режиме жидкого топлива/резервном режиме характерны более высокие выбросы  $\text{NO}_x$ , чем для современного дизельного двигателя вследствие более низкой степени сжатия. ДТ двигатель оптимально приспособлен под работу в режиме использования природного газа.

1093. Выбросы  $\text{NO}_x$  зависят от оборотистости двигателя. Для экономичных с большим диаметром цилиндров, низкооборотных двигателей характерны более высокие выбросы  $\text{NO}_x$ , чем для двигателей меньшего размера с более высокой оборотистостью. Чем ниже оборотистость двигателя, тем выше концентрация  $\text{NO}_x$  в камере сгорания в результате более продолжительного времени нахождения в камере, в течение которого образуется  $\text{NO}_x$ .

### 3. Варианты сокращения выбросов из стационарных двигателей

#### а) *Варианты сокращения атмосферных выбросов из двигателей на жидком топливе (дизельных)*

1094. К основным загрязнителям, выбрасываемым в выхлопных газах стандартного (самовоспламенение при сжатии) дизельного двигателя на тяжелом нефтяном топливе, относятся оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), дисперсное вещество (PM) и оксиды серы ( $\text{SO}_x$ ). Выбросы  $\text{SO}_x$  и дисперсного вещества в основном связаны с топливом. Вследствие высокой эффективности в результате высокой температуры сгорания в стационарных дизельных двигателях выбросы несгоревших веществ, таких как монооксид углерода и несгоревшие углеводороды, невелики.

i) Сокращение выбросов пыли (включая  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  и ЧУ)

1095. При сжигании тяжелого нефтяного топлива выбросы пыли в основном состоят из золы и серы (образовавшихся сульфатов) нефтяного топлива и в меньшей степени из сажи, ЧУ и углеводородов. При сжигании легкого нефтяного топлива пыль в основном состоит из сажи, ЧУ и углеводородов. Выбросы ЧУ можно оценить в пределах от 0,05 до 0,2 г/кг при сжигании тяжелого нефтяного топлива и при установившейся высокой нагрузке<sup>m</sup>. Оборудование вторичной очистки от пыли в настоящее время разработано для более крупных дизельных двигателей<sup>n</sup>. Твердые частицы дизельного топлива образуются при разных коэффициентах избытка кислорода и температурах по сравнению с пылью, выбрасываемой из котла. Электрические свойства (например, сопротивление и т.д.), которые отличаются от свойств твердых частиц в котельных дымовых газах, также требуют надлежащих испытаний ЭФ (электрофильтра) перед его промышленным выпуском. Принятие мер в отношении двигателя в сочетании с сжиганием низкозольного и низкосернистого топлива, если оно коммерчески доступно, можно рассматривать в качестве НИМ уменьшения выбросов пыли. Концентрация пыли (от 85% до 100% МДМ двигателя, метод измерения ISO 9096 или принципиально схожий другой метод измерения) менее 50 мг/м<sup>3</sup> при 15% содержании  $O_2$  (после двигателя) может быть достигнута при сжигании тяжелого нефтяного топлива с концентрацией S менее 1,0 по массе, концентрацией золы менее 0,03 до 0,04% по массе и содержанием асфальтенов менее 8% по массе. Для тяжелого нефтяного топлива низкого качества (с более высоким содержанием серы, золы и асфальтенов) концентрации меньше 75–100 мг/м<sup>3</sup> при 15% содержания  $O_2$  могут быть достигнуты в зависимости от характеристик используемого тяжелого нефтяного топлива (Примечание: Дизельные сажевые фильтры (ДСФ), используемые в двигателях большегрузных транспортных средств и малых внедорожных автомобилей в настоящее время не годятся для использования в больших стационарных двигателях, рассматриваемых в данном документе (мощностью свыше 5 МВт<sub>тепл.</sub>)). Пылеуловители используются во многих дизельных легковых и грузовых машинах, работающих на чистом дизельном топливе, для отфильтровывания частиц/сажи. Пылеуловитель должен постоянно регенерироваться, а отфильтрованная сажа должна сжигаться. Для регенерации часто используются катализаторы, содержащие драгоценные металлы. Иногда в дизелях, работающих на чистом дистиллятном топливе и оснащенных системой РВГ для окисления CO, HC и сажи, используются катализаторы окисления. В обеих системах используются катализаторы, содержащие цветные металлы – быстрая дезактивация и засорение будут происходить с электростанциями на топливе обычного качества. Поэтому пылеуловители в настоящее время не подходят для больших средне- и низкооборотных двигателей средней и низкой скорости, разработанных для возможной работы на тяжелом нефтяном топливе или других видах остаточного топлива. Однако возможна эксплуатация больших дизельных двигателей на альтернативных видах топлива, например ЛДТ.

ii) Сокращение выбросов  $SO_2$ 

1096. Выбросы оксида серы напрямую зависят от используемого топлива и содержания серы в топливе. Первичным методом уменьшения выбросов  $SO_x$  является использование жидкого низкосернистого топлива или природного газа, если они доступны. В настоящее время некоторые системы дизельных двигателей оборудованы системами  $DESO_x$  (установками десульфуризации), большинство из

<sup>m</sup> CIMAC – The International Council on Combustion Engines – Background information on black carbon from large marine and stationary diesel engines – definition, measurement methods, emission factors and abatement techniques – 2012.

<sup>n</sup> LCP BREF 2006, page 356.

которых представляют собой установки небольшого или среднего размера, однако пока накоплен слишком малый опыт их эксплуатации. Следует также отметить, что выхлопные газы из дизельного двигателя отличаются от дымовых газов из котла, например в них высоко содержание кислорода, а это может неблагоприятно повлиять на работу системы DESO<sub>x</sub>. Капитальные расходы на установку DESO<sub>x</sub> колеблются в широких пределах в зависимости от выбранного метода. Эксплуатационные расходы в основном зависят от количества и вида реагента, расхода воды, электроэнергии и расходов на техническое обслуживание и удаление побочных продуктов. Для оптимального функционирования системы DESO<sub>x</sub> необходимо надлежащее техническое обслуживание.

iii) Сокращение выбросов NO<sub>x</sub>

1097. В общем случае для сокращения выбросов в атмосферу в источнике предпочтительнее применять первичные методы, включая использование топлива более высокого качества, а не вторичные меры (очистные технологии в конце производственного цикла), которые к тому же могут быть недешевыми. За последнее десятилетие благодаря интенсивным исследованиям и разработкам в области моторостроения и повышения их КПД с помощью первичных мер удалось значительно сократить выбросы NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей. Несмотря на это, выбросы NO<sub>x</sub> из дизельных двигателей без применения вторичных мер все еще остаются значительными, а поэтому необходима дальнейшая исследовательская работа. К первичным мерам, которые можно применять для дизельных двигателей, относится использование базового двигателя с низкими выбросами NO<sub>x</sub>, отложенным впрыском и добавлением воды (например, впрыск воды непосредственно в зону сгорания, водо-топливной смеси, или увлажнения воздуха горения). При наличии природного газа одним из вариантов (в зависимости от типа двигателя, если это возможно) является переход с обычного дизельного двигателя на двухтопливный двигатель на газе низкого давления (ДТ).

1098. Приемлемым вторичным методом для дизельных двигателей является использование СКВ (селективное каталитическое восстановление).

b) Сокращение выбросов NO<sub>x</sub> из двигателей (дизельных) на жидком топливе

1099. Достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub> для стационарных средне- и высокооборотных дизельных двигателей на новом тяжелом нефтяном топливе (ТНТ) и легком нефтяном топливе (ЛНТ) с применением первичной сухой технологии сокращения выбросов согласно документу БРЕФ ЕС для крупных топливосжигающих установок и новому руководству Всемирного банка по охране окружающей среды, здоровья и труда (ОЗСТ) 2008 года (двигатели второго поколения) в настоящее время составляют менее 2 000 мг/Нм<sup>3</sup> (15% содержания O<sub>2</sub>). Рентабельные и технически пригодные первичные и вторичные технологии очистки выхлопных газов являются приоритетным направлением современных конструкторских разработок. Вообще говоря, применение первичных мер сокращения атмосферных выбросов в источнике предпочтительнее, чем сокращение выбросов после их образования в выхлопных газах, и нередко гораздо дешевле.

1100. Технические меры по уменьшению выбросов NO<sub>x</sub> можно подразделить на первичные и вторичные технологии сокращения выбросов:

1101. *Первичные методы* для дизельных двигателей на жидком топливе, такие как применение базового двигателя, оптимизированного для низких выбросов NO<sub>x</sub> (двигатель Миллера – «сухой метод»), с запоздалым закрытием впускного клапана и добавлением воды (например, прямой впрыск воды непосредственно в зону сгорания, водо-топливной смеси, или увлажнение воздуха горения, водной эмульсии, и т.д. в зависимости от сферы применения и изготовителя двигателя).

Сухие методы предпочтительно применять в областях с ограниченным доступом к подходящим источникам водоснабжения. Ограничения по механической, тепловой нагрузке и расходу топлива, и т.д., являются факторами, учитываемыми при применении первичных методов уменьшения  $\text{NO}_x$ .

1102. Благодаря применению принципа сжигания с малыми выбросами  $\text{NO}_x$  в сочетании с принципом Миллера выбросы  $\text{NO}_x$  современных двигателей примерно на 40% ниже, чем у двигателей аналогичного типа начала 1990 годов при сохранении такого же высокого кпд. Разработки продолжаются, но их узким техническим местом остается турбокомпрессор; для усиления эффекта принципа Миллера необходима высокая степень сжатия, иначе возрастет расход топлива, а выдаваемая двигателями мощность может уменьшиться. Чтобы добиться более низких выбросов  $\text{NO}_x$ , требуется новое поколение турбокомпрессоров.

1103. *Вторичный метод*: единственным применимым вторичным методом для дизельных двигателей является очистка отработанных газов с применением СКВ (селективное каталитическое восстановление). СКВ является эффективной технологией сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  в случаях, когда можно учесть перечисленные далее проблемы, относящиеся к установке и эксплуатации, обеспечивая при этом надлежащее соблюдение технологий<sup>o</sup>:

- a) в зависимости от содержания серы в топливе необходимо поддерживать минимальную температуру выхлопных газов;
- b) некоторые следовые металлы (например, Na, K, Ca, Mg, As, Se, P) могут действовать как каталитические яды;
- c) при использовании тяжелого нефтяного топлива или другого остаточного топлива необходимо использовать систему продувки сажи в реакторе СКВ для поддержания чистоты его элементов и предотвращения значительного падения давления;
- d) регулярное техническое обслуживание и осмотры для недопущения сильного проскока аммиака, который вреден для компонентов, расположенных за реактором СКВ;
- e) удаление использованных элементов;
- f) следует обеспечить снабжение реагентами (чистый аммиак, нашатырный спирт или мочевины) (существует необходимая для этого инфраструктура);
- g) необходимо покрывать затраты на установку, эксплуатацию и техническое обслуживание.

1104. В таблице 128 приводятся достижимые диапазоны выбросов  $\text{NO}_x$  для существующих дизельных двигателей при использовании первичных и вторичных мер, (результаты измерений, заимствованные из отдельных международных справочных документов, свидетельствуют о том, что на выбросы  $\text{NO}_x$  из дизельных двигателей в значительной мере воздействует относительная влажность воздуха). Как указано выше, достижимый уровень выбросов  $\text{NO}_x$  для новых дизельных двигателей в настоящее время составляет менее 2 000 мг/Нм<sup>3</sup> при применении первичных мер (Руководство ВБ по ОЗСТ: 1 460–1 850 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании  $\text{O}_2$ ), в зависимости от диаметра цилиндров.

<sup>o</sup> LCP BREF 2006, page 360.

Таблица 128

**Примеры достижимых уровней выбросов NO<sub>x</sub> при применении мер по сокращению выбросов из дизельных двигателей<sup>P</sup>**

Тип дизельного двигателя	Уровни выбросов NO <sub>x</sub> (ТНТ) мг/Нм <sup>3</sup> сухих, 15% содержание O <sub>2</sub>	Примечания
Базовый двигатель, оптимизированный для низких выбросов NO <sub>x</sub> (первое поколение)	2 163–2 178	Стандартный дизельный двигатель, производившийся до 2000 года (установка в Карибском бассейне)
Базовый двигатель, оптимизированный для низких выбросов NO <sub>x</sub> (первое, второе поколение)	1 739–1 881	Стандартный дизельный двигатель, производящийся в настоящее время (установка в Центральной Америке)
Двигатель с задержкой впрыска	Сокращение выбросов NO <sub>x</sub> обычно до 10–20% (в зависимости от типа двигателя)	Увеличение расхода топлива в зависимости от степени задержки, обычно до 3%
Низкооборотный двигатель + «добавление воды»	1 540	В основном используется на судах, расход топлива увеличивается (установка в Карибском бассейне)
Двигатель с СКВ (вторичная мера)	150 325	Дизельное топливо Топливо с 0,45% S по массе

## i) Влияние качества топлива на работу дизеля

1105. Для дизельных двигателей качество топлива является основным фактором, влияющим на уровень выбросов. Содержание серы в жидком топливе (включая ТНТ и газойль и т.д.) меняется/варьируется, как правило, в пределах от 0,1 до менее 4% S по массе в регионе Европейской экономической комиссии ООН. Средне- (примерно до 25 МВ<sub>тэл</sub>) и низкооборотные двигатели (единичной мощностью примерно до 90 МВ<sub>тэл</sub>) обычно работают на более экономичном нефтяном топливе, например тяжелом нефтяном топливе, нефтяной эмульсии, остаточных продуктах вакуумной переработки нефтеперерабатывающих заводов. Небольшие высокооборотные двигатели (единичной мощностью примерно до 5 МВ<sub>тэл</sub>) работают на дистиллятном топливе (дизели на топливе с низким и крайне низким содержанием серы). Некоторые типы дизельных двигателей могут также работать на природном газе и биотопливе.

1106. На возможные первичные методы сокращения выбросов NO<sub>x</sub> также влияет качество топлива. В небольших высокооборотных двигателях, например, с рециркуляцией дымовых газов и при высоком давлении можно использовать электронную систему впрыска и добиться сокращения уровня выбросов NO<sub>x</sub> по сравнению с двигателями большего размера. Принцип Миллера (отложенное время закрытия клапанов впуска воздуха, что понижает температуру в цилиндрах, подавляя образование NO<sub>x</sub>), однако современные системы впрыска топлива применимы и для более крупных современных типов двигателей.

<sup>P</sup> LCP BREF 2006, page 379.

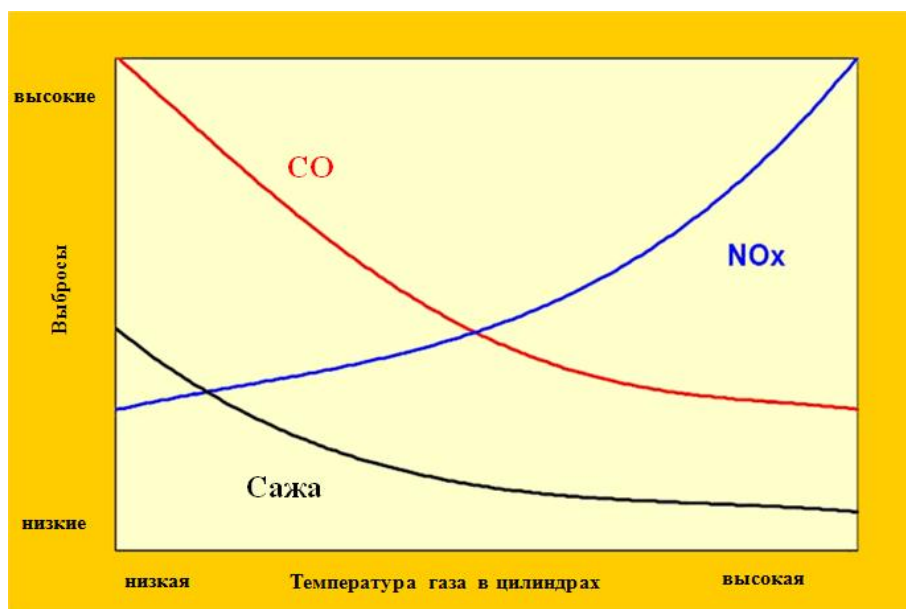
- ii) Сокращение выбросов СО и углеводородов из двигателей (дизельных) на жидком топливе

1107. Для минимизации выбросов несгоревших газообразных загрязнителей воздуха в качестве НИМ<sup>q</sup> считается надлежащее техническое обслуживание, а правильно эксплуатируемый двигатель обеспечивает низкий уровень выбросов СО и углеводородов (УВ). Выбросы СО можно уменьшить с помощью первичных мер с целью добиться полного сгорания. Наиболее важным параметром, определяющим скорость формирования  $\text{NO}_x$  в дизельном двигателе, является температура сгорания: чем выше температура, тем больше выбросы  $\text{NO}_x$  и меньше объем несгоревших веществ. Существует оптимальный баланс между выбросами: небольшие выбросы  $\text{NO}_x$  приводят к увеличению выбросов несгоревших веществ (см. рис. 2), и наоборот.

1108. Сокращение выбросов  $\text{NO}_x$  за счет первичных мер может привести к увеличению выбросов других веществ, таких как СО,  $\text{CO}_2$  и твердых частиц, как это показано на рис. 2. Для сокращения выбросов из высокооборотных двигателей, работающих на легком нефтяном топливе, можно применять катализаторы окисления, но они не пригодны для двигателей на тяжелом нефтяном топливе.

Рис. 2

Типичные тенденции выбросов из дизельного двигателя в зависимости от кпд (температуры в блоке цилиндров)



- с) Сокращение выбросов  $\text{NO}_x$  из газовых двигателей с искровым зажиганием (ИЗ) и из двухтопливных (ДТ) двигателей (газовый режим)

1109. Четырехтактные газовые двигатели с искровым зажиганием (ИЗ) или иным типом зажигания, работающие на обедненной топливной смеси, представляют собой «чисто газовые» двигатели, работающие на природном газе низкого давления (в зависимости от типа двигателя), а также на видах биогаза, например, свалочного газа, газа перегнивателей, шахтном газе. Двухтопливные (ДТ) двига-

<sup>q</sup> Согласно БРЕФ ЕС для КПУ.

тели спроектированы для работы в газовом режиме на природном газе низкого давления, используемом в качестве основного топлива.

1110. За счет применения первичных мер для двигателей, работающих в режиме работы на природном газе, можно добиться следующих уровней выбросов  $\text{NO}_x$ : для двигателей с ИЗ и с сжиганием обедненной топливной смеси – 95–190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании  $\text{O}_2$ , а для двухтопливных двигателей, работающих на газе низкого давления – 190–380 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании  $\text{O}_2$ . Для других газов, помимо природного, можно добиться уровней выбросов в пределах 95–190 мг/Нм<sup>3</sup> при применении двигателей с ИЗ, работающих на обедненной топливной смеси, однако при установлении предельной величины выбросов необходимо учитывать возможные колебания состава газа и загрязнений.

1111. Наиболее важным параметром, определяющим уровень формирования  $\text{NO}_x$  в двигателях внутреннего сгорания, является температура горения. Чем выше температура, тем выше содержание  $\text{NO}_x$  в выхлопных газах. Одним из методов снижения температуры горения является снижение соотношения топливо/воздух. То же самое удельное количество теплоты, высвобождаемое при сгорании топлива, затем используется для нагрева большей массы дымовых газов, что приводит к более низкой максимальной температуре горения. Этот первичный метод, называемый методом сжигания обедненной смеси в поршневых двигателях, аналогичен методу, применяемому в камерах сгорания с сухим подавлением  $\text{NO}_x$  в газовых турбинах. Установки с газовыми двигателями (ИЗ и ДТ) имеют низкий уровень выбросов  $\text{NO}_x$  за счет технологии сгорания обедненной смеси.

1112. Поскольку при сжигании обедненной топливной смеси двигатель работает в более экономном режиме (улучшенное сжигание обедненной топливной смеси) при более низком заданном уровне выбросов  $\text{NO}_x$  с большим удельным расходом топлива, температура дымовых газов снижается, а вследствие этого снижается полезная теплота дымовых газов.

1113. В отдельных вариантах применения на стационарных газовых двигателях для дополнительного сокращения<sup>r</sup> выбросов  $\text{NO}_x$  предусматривается установка системы СКВ. Побуждающим мотивом для применения СКВ является необходимость улучшения качества местного воздуха. Для выполнения своих обязательств по международным соглашениям и во исполнение директив ЕС некоторым странам с загрязненной атмосферой также необходимо установить строгие целевые нормативы сокращения уровней выбросов  $\text{NO}_x$ . В таблице 129 приводятся достижимые уровни выбросов  $\text{NO}_x$  для газовых двигателей с указанием мер по их сокращению.

1114. В отдельных вариантах применения на стационарных газовых двигателях для дополнительного сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  предусматривается установка системы СКВ. Побуждающим мотивом для применения СКВ является необходимость улучшения качества местного воздуха. Для выполнения своих обязательств по международным соглашениям и во исполнение директив ЕС некоторым странам с загрязненной атмосферой также необходимо установить строгие целевые нормативы сокращения уровней выбросов  $\text{NO}_x$ . Например, одна из стран приняла меры для введения более строгих ПЗВ по выбросам  $\text{NO}_x$ , например 35 мг/Нм<sup>3</sup> для стационарных двигателей, обязуясь использовать СКВ исходя из необходимости принять все возможные меры по уменьшению выбросов в раз-

<sup>r</sup> В 2008 году в Нидерландах действовало 1 000 стационарных газовых двигателей, оснащенных системами СКВ (для производства тепла и электроэнергии и удобрения теплиц  $\text{CO}_2$ ). Однако следует отметить, что обоснованные капитальные затраты на энергетическую установку и использование  $\text{CO}_2$  существенно различаются при сравнении.



личных секторах для обеспечения соблюдения предельных значений выбросов  $\text{NO}_x$  в соответствии с Гётеборгским протоколом.

Таблица 129

**Достижимые уровни выбросов  $\text{NO}_x$  из газовых двигателей (при установившейся нагрузке двигателя) согласно документу БРЕФ ЕС для КТУ<sup>s</sup>**

Тип двигателя	Уровни выбросов $\text{NO}_x$ , мг/Нм <sup>3</sup> (сухой газ, 15% содержания $\text{O}_2$ ) Мера		Примечания
Газовые двигатели с искровым зажиганием	161–190	Номинальный режим (первичная)	– Оптимальный удельный расход топлива – минимальные уровни выбросов несгоревших веществ
	71–83	Оптимизированная для низких выбросов $\text{NO}_x$ (первичная)	– Увеличение удельного расхода топлива (примерно на 3%) и выбросы несгоревших веществ
	5 <sup>a</sup> –19	СКВ (вторичная)	Побудительным мотивом для установки систем СКВ на газовых двигателях в основном являются обстоятельства, в которых стандарты качества воздуха требуют более радикальных сокращений выбросов $\text{NO}_x$ или озона, вызванных работой в густонаселенных районах, или выбросами ряда промышленных отраслей, или выбросами из мобильных источников.
Двухтопливный двигатель – Газовый режим	144–177		– Увеличение удельного расхода топлива и выбросы несгоревших веществ
Двухтопливный двигатель – Резервный режим	1 531–1 751		ЛНТ = легкое нефтяное топливо (> 0,05% S по массе)
Газовый дизель – Газовый режим	1 584–1 612		Природный газ в качестве основного топлива, запальное (дизельных) топливо – тяжелое нефтяное топливо

<sup>a</sup> Указанную величину  $\text{NO}_x$  можно получить в идеальных условиях при использовании нового и свежего катализатора, но не при обычной эксплуатации.

- i) Выбросы несгоревших веществ из газовых двигателей, работающих на обедненной топливной смеси

1115. Выбросы НМЛОС из ГД и ДТ двигателей зависят от состава природного газа. В отдельных случаях для одновременного сокращения выбросов СО и НМЛОС наряду с применением катализатора окисления могут потребоваться вторичные технологии. Эффективность катализаторов окисления по сокращению НМЛОС в значительной степени зависит от содержания углеводородов в дымо-

<sup>s</sup> Tables 7.9 (p.438) and 7.26 (p. 466).



вом газе, особенно этана и пропана, выбросы которых сложно ограничить<sup>t</sup>. Для газовых двигателей, оснащенных новым катализатором окисления, НИМ<sup>u</sup> считается поддержание уровня выбросов CO величиной менее 100 мг/Нм<sup>3</sup> (15% содержания O<sub>2</sub>).

1116. Согласно данным, предоставленным моторостроительной промышленностью, для газовых двигателей, работающих на природном газе, применимы только уровни выбросов, составляющие примерно 100 мг/Нм<sup>3</sup> (при оснащении катализатором окисления), но не для газовых двигателей, работающих на возобновляемых газах, например свалочных газах, биогазе или газе очистки. Для таких двигателей соответствующий уровень выбросов CO должен находиться в пределах 110–380 мг/Нм<sup>3</sup> (15% O<sub>2</sub>), чтобы соответствовать значениям НИМ<sup>v</sup>, в силу технических причин (влияние состава топлива).

ii) Увеличение выбросов углерода при сокращении выбросов NO<sub>x</sub>

1117. Оптимизация работы двигателя является компромиссным решением в отношении выбросов NO<sub>x</sub>, КПД двигателя (расход топлива и, следовательно, выбросы CO<sub>2</sub>) и выбросов других соединений (например, CO и УГ). Сокращение выбросов NO<sub>x</sub> путем первичных мер увеличит выбросы CO<sub>2</sub> (потребление топлива), а также выбросы «несгоревших» веществ, например CO, углеводородов, и в конечном итоге может привести к нарушению цикла зажигания с последующим выходом из строя двигателя. При работе на биогазе его примеси могут способствовать формированию отложений на внутренних элементах двигателя и тем самым ограничивать достижимые уровни выбросов NO<sub>x</sub>. См. подзаголовок 9 далее (двигатель с искровым зажиганием). В особых случаях, например в загрязненных городских районах, где для уменьшения выбросов NO<sub>x</sub> иногда используется СКВ, можно оптимизировать соотношение воздух–топливо, чтобы добиться максимальной эффективности использования топлива и тем самым снизить выбросы несгоревших веществ. Современные газовые двигатели имеют рабочие характеристики, ограниченные детонацией, а поэтому потенциал эксплуатации двигателей в режиме сжигания более обогащенного топлива для повышения мощности (и большего объема NO<sub>x</sub>) и меньшего уровня выбросов CO и УГ ограничен, поскольку необходимо соблюдать другие граничные условия, например, детонацию двигателя.

iii) Падение мощности при снижении выбросов

1118. Поскольку при сжигании обедненной топливной смеси двигатель работает в более экономичном режиме при более низком заданном уровне выбросов NO<sub>x</sub> с большим удельным расходом топлива, температура дымовых газов снижается, что также уменьшает полезную теплоту дымовых газов (а также отрицательно влияет, например, на парообразование в установках комбинированного производства тепловой и электрической энергии)<sup>w</sup>.

<sup>t</sup> Field Experience and Laboratory Analysis of Oxidation Catalyst on Dual Fuel Engines", Shazam Williams; Mojghan Naseri; Joe Aleixo; Kristoffer Sandelin, published May 7, 2006.

<sup>u</sup> LCP BREF, page 480.

<sup>v</sup> Subheader 3 in table 7.36 of LCP BAT BREF.

<sup>w</sup> Вследствие образования отложений в камере сгорания двигателей на биогазе (свалочный газ, газ анаэробных перегнивателей) достичь уровня выбросов NO<sub>x</sub> значительно ниже 190 мг/Нм<sup>3</sup> при 15% содержании O<sub>2</sub> в течение срока эксплуатации двигателя невозможно из-за колебаний выбросов в результате эффекта изоляции и изменения геометрических параметров камеры сгорания (приложение 7).

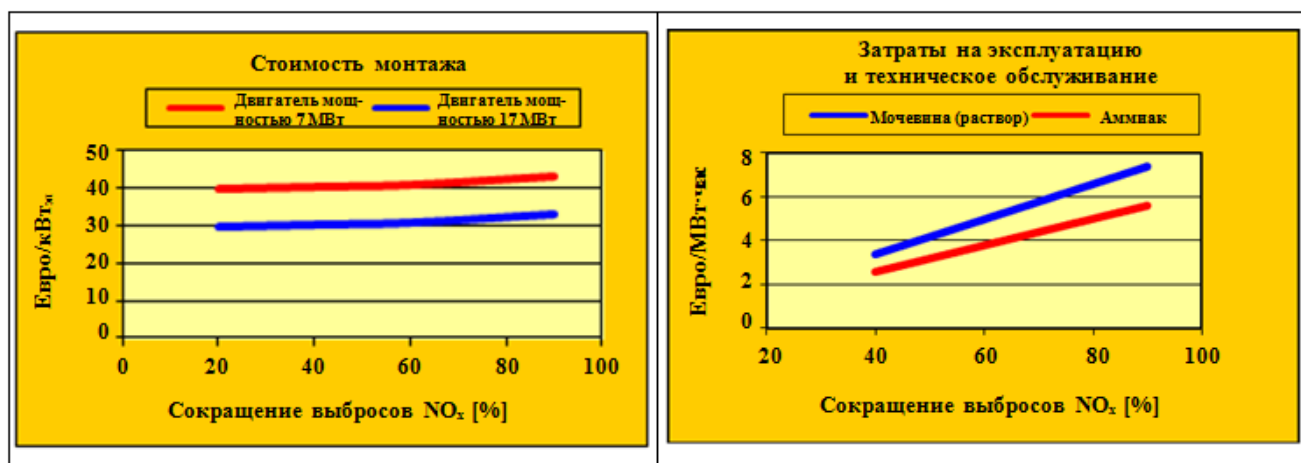
#### 4. Затраты на НИМ

*Монтажные и эксплуатационные расходы при применении СКВ*

1119. Наряду с высокой продажной ценой необходимо будет, в зависимости от качества используемого топлива, периодически заменять катализаторы и надлежащим образом удалять использованные катализаторы. Помимо того, для СКВ требуется надлежащее техническое обеспечение, включая запасные части и опыт эксплуатации и технического обслуживания. См. типовые затраты на СКВ в зависимости от степени очистки от выбросов  $\text{NO}_x$  на рис. 3. Следует отметить, что стоимость и наличие реагента могут изменяться в зависимости от места эксплуатации.

Рис. 3

Типичные затраты на СКВ в зависимости от степени очистки от  $\text{NO}_x$ , типа среднеоборотного дизель-генератора, работающего на тяжелом нефтяном топливе, без учета обращения с реагентами. (40-процентный раствор мочевины – 200 евро/т, 25-процентный водный раствор аммиака – 225 евро/т)



#### Справочные материалы, использованные в разделе ОО главы VII:

1. European Commission (2006). *Reference Document on Best Available Techniques for large Combustion Plants: Integrated Pollution Prevention and Control*. Available from <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm>.