



Особенности, процедуры, технологии и проблемы утилизации сточных вод

Информационный бюллетень

По поручению



Федерального министерства
окружающей среды, охраны природы и
ядерной безопасности



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ
РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Опубликовано:

giz

Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Федеративной Республики Германия

Издатель:

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Немецкое Общество по Международному Сотрудничеству (ГИЦ) ГмбХ

Штаб-квартира GIZ:

Бонн и Эшборн, Германия

Представительство в Москве:

Николаямская, д. 50, стр. 1
109004 Москва, Россия
+7 495 926 15 78
giz-russia@giz.de
www.giz.de

Проект: «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность: внедрение НДТ в Российской Федерации».

Проект реализуется по поручению Федерального министерства окружающей среды, охраны природы и ядерной безопасности Германии (BMU). Партнер проекта в Российской Федерации – Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Проект является частью программы Германской инициативы по климатосберегающим технологиям (DKTI) и Международной инициативы по защите климата (IKI).

Сайт проекта: www.good-climate.com

Ответственный за публикацию:

Короленко Ирина Александровна, заместитель руководителя проекта
Irina.korolenko@giz.de

Герлах Юлия Владимировна, руководитель компонента проекта «Законодательные основы НДТ»
julia.gerlach@giz.de

Текст подготовлен: aqua consult Baltic OÜ («Аква консалт балтик ОЮ»)

Авторы: Тааво Тенно, Петер Хартвиг, Клаус Нелтинг, Санчита Кхаделвал, Дайзи Рист

Электронная версия публикации:



URL ссылки: Данная публикация содержит ссылки на внешние сайты. Ответственность за информацию на данных внешних сайтах лежит полностью на их владельцах и издателях.
GIZ несёт ответственность за содержание данной публикации.

Данная публикация распространяется бесплатно и не предназначена для продажи или других коммерческих целей.

Москва, сентябрь 2021 г.

Содержание

1	Образование и состав сточных вод	5
1.1	Городские (хозяйственно-бытовые) сточные воды	5
1.1.1	Доступность и качество исходных данных	5
1.1.2	Удельное образование сточных вод (в зависимости от страны)	6
1.1.3	Суточные гидрограммы параметров притока	8
1.1.4	Свод технических правил ATV-DVWK-A 198: Стандартизация и вывод расчётных значений для систем очистки сточных вод	9
1.2	Промышленные сточные воды	10
1.2.1	Сточные воды от молочной промышленности	10
2	Требования к качеству сточных вод	13
2.1	Правовая основа	13
2.1.1	Европейская правовая база	13
2.1.2	Управление сточными водами в Германии — требования к качеству и требования к сбросам	14
2.1.3	AbwV — Постановление о сточных водах Германии — соблюдение требований к сбросу сточных вод	15
2.1.4	IZÜV — Постановление о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений в Германии	16
2.1.5	AbwAG — Закон о плате за сточные воды Германии	18
2.2	Непрямой сброс	19
2.2.1	Свод правил DWA M115	19
2.2.2	Плата и надбавки за сильное загрязнение	22
2.2.3	Прямой сброс	23
2.2.4	Особые требования и приложения к Постановлению о сточных водах Германии	25
2.3	Городские (хозяйственно-бытовые) сточные воды	29
2.3.1	Требования и мониторинг в Германии	29
2.3.2	Требования и мониторинг в Европейском Союзе	31
2.4	Промышленные сточные воды	33
2.4.1	Требования к предприятиям, отводящим сточные воды непосредственно в водный объект, на примере молочной промышленности	33
3	Методы очистки сточных вод	35
3.1	Городские (хозяйственно-бытовые) сточные воды	35

3.2	Промышленные сточные воды	35
3.2.1	Химико-физические и термические процессы	36
3.2.2	Биологические процессы	41
3.2.3	Управление водооборотным циклом (повторное использование/рециркуляция воды)	44
4	Библиография	47

1 Образование и состав сточных вод

1.1 Городские (хозяйственно-бытовые) сточные воды

1.1.1 Доступность и качество исходных данных

Зачастую не все имеющиеся данные измерений могут быть использованы при проектировании новых очистных сооружений. Исходные данные, необходимые для определения размеров, нужно тщательно собирать/измерять и проверять. Существующие данные необходимо проверять на надёжность и информативность и, насколько это возможно, принимать во внимание специфику сточных вод (например, путём сравнения их с количеством подключённых жителей и их удельным потреблением воды, путём изучения стандартных корреляций между различными параметрами и балансов материальных потоков и др.) [1].

Особое внимание необходимо уделить следующим аспектам и связанным с ними проблемам:

- *Объём входных данных:* как правило, доступно только несколько базовых значений, из-за чего необходимо учитывать допущения для недостающих данных.
- *Качество/воспроизводимость данных:* помимо условий отбора проб, аналитический метод, используемый для определения параметров сточных вод, не всегда указывается.
- *Справочный размер данных:* тип отбора проб в виде выборочных или усреднённых проб, а также подготовка усреднённых проб с помощью пробоотборников пропорционально времени или расходу, часто неясны; статистические данные, такие как суточные нагрузки загрязняющих веществ, используемые в качестве расчётных параметров, которые занижаются до 85 % дней (см. таблицу ниже), обычно недоступны.
- *Проверяемость входных данных:* отсутствие информации о конкретных характеристиках притока сточных вод, например, доле промышленных сточных вод или вод из внешних источников, затрудняет проверку достоверности.
- *Вероятность прогнозируемых данных:* прогнозы активного роста, например, по тарифам на подключение и объёмам воды.

Также необходимо учитывать различные методы отбора проб и анализа в разных странах (например, различное определение ХПК с использованием бихромата калия или перманганата калия, использование гомогенизированных или отфильтрованных образцов, разных фильтров). При сборе результатов измерений настоятельно рекомендуется записывать тип отбора проб и метод проведения анализа [1].

Различный состав сточных вод, возникающий, например, в результате местного водопотребления или большого притока воды из внешних источников, может в каждом случае приводить к определённым значениям концентрации. Кроме того, часто неясна степень подключения населения. Следовательно, при проверке достоверности необходимо учитывать, что, например, методику применения удельных нагрузок 60 г БПК₅/(л·сут) и 120 г ХПК/(л·сут), зарекомендовавшую себя в Центральной Европе, невозможно применять во многих других странах [1].

Методика определения необходимого наращивания мощностей или увеличения размеров очистных сооружений с помощью эквивалентов по населению, связанных с конкретной нагрузкой (например, эквивалента по населению РЕБПК, 60 с вышеупомянутой удельной нагрузкой 60 г БПК₅/(л•сут)), что характерно для Германии (см. таблицу ниже), редко применяется в других странах. В этих странах необходимое увеличение размеров определяется через приток сточных вод $Q_{\text{сут}}$ (среднесуточный расход в м³/сут). Поскольку определение размеров биологической ступени очистки, в первую очередь, зависит от объема загрязняющих веществ, подлежащих очистке, указание эквивалентов по населению для конкретных нагрузок остаётся полезным для быстрой классификации размеров расширения очистных сооружений [1].

Таблица 1.1.1.1: Специфические для населения нагрузки в г/(л•сут), которые занижаются до 85 % дней, без учёта иловой жидкости (для Германии, заимствовано из [2])

Параметр	Неочищенные сточные воды
БПК ₅	60
ХПК	120
DM (сухое вещество)	70
ОАК (общий азот по Кьельдалю)	11
P	1,8

1.1.2 Удельное образование сточных вод (в зависимости от страны)

Если для конкретного расчётного варианта отсутствуют измеренные значения отдельных переменных на входе в очистные сооружения, их необходимо оценить соответствующим образом.

При оценке значений необходимо учитывать условия притока, которые в некоторых случаях значительно отличаются от условий Центральной Европы. В Таблица 1.1.2.1 представлен международный обзор с примерными значениями притока очистных сооружений в разных странах. Значения относятся к конкретным сооружениям, и их нельзя обобщить для соответствующих стран. Тем не менее, они дают представление о диапазоне данных по притоку [1].

Хотя значения, за исключением температуры сточных вод, в целом находятся в пределах стандартного для центральноевропейских очистных установок диапазона, в отдельных случаях они значительно различаются. Это отражает характерные для объекта граничные условия, такие как усиление процессов разложения на входе очистных сооружений из-за более высоких температур, различные пути удаления остатков пищи, сбросы из септических резервуаров или приток воды из внешних источников. Поэтому перенос допущений и стандартных значений, которые доказали свою эффективность для сооружений Центральной Европы, в отдельных случаях следует критически пересматривать. Широкий диапазон нормативов ХПК/БПК₅ также даёт понять, что норматив величиной в 2, который часто используется в Германии, как правило, не применяется в других странах. Следовательно, при отсутствии данных по ХПК на входе для применения методик проектирования, основанных на ХПК, простое преобразование из любых доступных значений БПК₅ без проверки измерений не рекомендуется [1].

Таблица 1.1.2.1: Примеры различного качества сточных вод на входе очистных сооружений в разных странах (заимствовано из [1], [3], а также [4])

Место-положение	Температура сточных вод (°C)		Средние концентрации во входящем потоке (мг/л)						ХПК/БПК ₅	БПК ₅ /N
	Мин.	Макс.	ХПК	БПК ₅	DM (сухое вещество)	N	NH ₄ -N	P		
Осло, Норвегия	6	16	380	120		30		3	3,2	4,0
Прилеп, Македония	8	16	500	250	290	45	32	9	2,0	5,6
Клодзко, Польша	9	20	400	170	170	37	24	4	2,4	4,6
Батуми, Грузия	11	22	240		150	26		5		
Инверкаргилл, Новая Зеландия	3	24	330	230	290	39	26	8	1,4	5,9
Конья, Турция	8	24	820	430	430	87		13	1,9	4,9
Адана, Турция	14	25	475	240	265	44	31	9	2,0	5,5
Набель, Тунис		25	1,17	470	610	57		13	2,5	8,2
Санта-Крус, Боливия	12	26	680	290	370	67	44	12	2,3	4,3
Севилья, Испания	8	28	590	350		57	43	9	1,7	6,1
Адама, Эфиопия	13	28	930	360	420	67	43	11	2,6	5,4
Хайкоу, Китай	21	28	260	100	250	26	19	5	2,6	3,8
Тегеран, Иран	17	29	460	260	180	48	37	7	1,8	5,4
Нашик, Индия	23	30	280	250			30		1,1	
Агуас Бланкас, Мексика	23	33	340	150	120	45			2,3	3,3
Дубай, ОАЭ	30	33	580	250	250	48	34		2,3	5,2
Манагуа, Никарагуа	30	34	770	380	400	39	18	7	2,0	9,7
Санхур эль Мадина, Египет	20	35	1,3	650	760	120	83	19	2,0	5,4
Фуджейра, ОАЭ	23	35	580	350	260	50	29	7	1,6	7,0
Минимум	3	16	240	100	120	26	18	3	1,1	3,3
Среднее значение	16	27	570	290	320	51	35	9	2,1	5,6
Максимум	30	35	1,3	650	760	120	83	19	3,2	9,7
Германия	8	20	400-800	200-400	250-500	40-80	25-50	6-12	2,0	5,0
Примечание: Минимальные и максимальные значения выделены синим и оранжевым цветом соответственно										

1.1.3 Суточные гидрограммы параметров притока

Методики проектирования очистных сооружений в Федеративной Республике Германия основаны на требованиях к сбросам, которые зависят от среднесуточных значений. Для процессов с коротким временем пребывания в несколько часов, может потребоваться наблюдение пикового значения при условии, что сравнительная однородность притока сточных вод в канализационную систему или на предшествующих этапах обработки низкая. В большей степени это относится к странам с тёплым климатом, где пики нагрузки могут иметь большее значение из-за сравнительно небольших размеров установок [1].

В таких случаях необходимо наблюдать пиковые значения для критичных параметров на основе индивидуальных пиковых значений или суточных гидрограмм притока. Например, влияние минимального притока на мощность промывки биофильтров или учёт максимальных значений через коэффициент воздействия азотной нагрузки (f_N) для определения степени удаления азота на станциях аэрации сточных вод активным илом и с помощью биофильтров [1].

Результаты выборочных или смешанных проб параметров притока обычно лучше всего использовать при планировании новых или модернизации существующих систем. Ежесуточные гидрограммы (например, построенные с использованием двухчасовых усредненных проб или онлайн-анализов) в большинстве случаев отсутствуют. Это особенно касается строительства новых сооружений с системами канализации, которое ещё не закончено [1].

Рисунок 1.1.3.1 показывает примерные гидрограммы притока сточных вод и концентраций ХПК, N и P в притоке сточных вод для очистных сооружений в Германии (эквивалент по населению 100 000) [1].

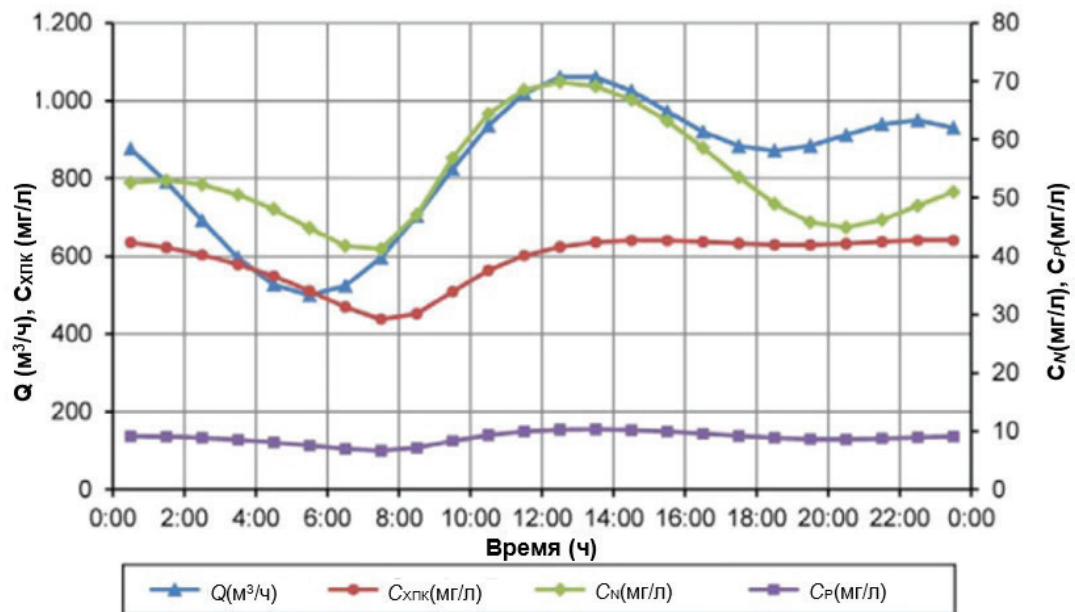


Рисунок 1.1.3.1: Примерные суточные гидрограммы притока сточных вод и выбранные концентрации притока для очистных сооружений с эквивалентом по населению 100 000 (заимствовано из [1], а также [5])

Как видно из рисунка выше, объёмы и нагрузки сточных вод ниже в часы минимальной активности человека, то есть между 00:00 и 6:00, и достигают пиковых значений в течение дня, в данном случае около полудня.

1.1.4 Свод технических правил ATV-DVWK-A 198: Стандартизация и получение расчётных значений для систем очистки сточных вод

ATV-DVWK-A 198 служит для определения, сбора, оценки и проверки данных, а также получения расчётных значений для очистных сооружений и канализационных систем на основе этих данных. Впоследствии из данных измерений можно получить прогнозные данные для разных периодов времени. Целью настоящего Свода технических правил является стандартизация расчёта значений для проектирования канализационных систем и городских очистных сооружений, а также аббревиатур для обозначения расчётных данных, насколько это возможно и соответствует всем Сводам технических правил ATV-DVWK [6].

Данный Свод правил вводит:

- единую систему аббревиатур,
- новый подход к определению комбинированного канализационного стока (Q_M) на границе между канализацией и очистным сооружением,
- периодическое определение концентрации ХПК, в качестве ориентировочного параметра и соотношения с другими параметрами, которые требуются реже (например, БПК₅, фильтруемые вещества, азот и фосфор) для оптимизации затрат на химические анализы,
- расчётное определение сброса в сухую погоду, независимо от метеорологических данных, для гидравлических расчётов.

Канализационная система и очистные сооружения должны обрабатывать на один и тот же объем сброса сточных вод. Из-за различных горизонтов планирования канализационная система может быть рассчитана на другие объёмы сброса, нежели очистные сооружения. До сих пор допустимый объем смешанных сточных вод определялся и проектировался, в первую очередь, исходя из проектных данных или гидравлической мощности очистных сооружений. Для оптимизации допустимой нагрузки на очистные сооружения и определения размеров резервуаров для ливневых стоков в настоящем Своде правил рекомендуется подход, предусматривающий диапазон допустимых смешанных сточных вод [6].

В ходе производственного экологического контроля очистных сооружений производится сбор данных, которые могут стать ценной основой для планирования расширения или оптимизации как канализационных сетей, так и очистных сооружений. К сожалению, в прошлом сбор и оценка данных часто проводились в одностороннем порядке либо только для очистных сооружений, либо только для канализационных сетей. Термины и символы не всегда согласовывались, часто в разных рабочих документах использовались одни и те же сокращения с разным значением. Отчасти это объяснялось отсутствием чётких руководящих принципов [6].

Поскольку всё больше и больше муниципалитетов и других операторов управляют базами данных, необходимыми для управления водными ресурсами, чёткое определение и единообразная дальнейшая обработка этих данных имеют особое значение [6].

Рекомендуется основывать планирование очистных сооружений на измеренных значениях. Поскольку процессы планирования увеличения мощности существующих или строительства новых очистных сооружений в отдельных районах обычно занимают несколько лет, это время следует использовать для расширения базы данных, если это необходимо. Это является основной предпосылкой экологически и экономически разумного планирования, строительства и эксплуатации очистных сооружений [6].

1.2 Промышленные сточные воды

1.2.1 Сточные воды от молочной промышленности

Органическая часть коровьего молока состоит примерно из равных частей жира, белков и лактозы. В зависимости от ассортимента продукции и технологии, эти органические вещества также присутствуют в различных соотношениях в промышленных сточных водах, куда они в основном попадают с утечками и в результате процессов очистки [7].

Кроме того, в молоке, а, следовательно, и в сточных водах от переработки молока также присутствуют минералы (соли). Сточные воды молочной промышленности, в отличие от сточных вод большинства других отраслей пищевой промышленности и производства напитков, содержат значительное количество азота (из белков) и фосфора (важный компонент минералов в молоке) [7].

1.2.1.1 Образование и состав сточных вод

Технологические сточные воды образуются на молокоперерабатывающем предприятии непосредственно при производстве (промывка от молока, потери при размораживании продуктов, конденсат загрязнённых паров и т. д.), при предварительной обработке молока (осадок из сепараторов очистки и стерилизации) и при процессах мойки (использованные моющие и дезинфицирующие растворы после СИП-мойки, промывочная вода) [7].

Таблица 1.2.1.1: Суточные значения удельного образования сточных вод, концентраций и нагрузок сточных вод в Германии (заимствовано из [7] и [8])

Нагрузки	Ед. изм.	Диапазон
Удельная нагрузка сточных вод	м ³ /1000 кг молока	0,5–2,5
Удельная нагрузка ХПК	кг/1000 кг молока	0,8–5
ХПК	мг/л	800–4500
Фильтруемые вещества	мг/л	150–1000
NO ₃ -N	мг/л	10–120
NO ₂ -N	мг/л	0–2
NH ₄ -N	мг/л	0–20
KN (азот по Кьельдалю)	мг/л	10–150
N-общ.	мг/л	20–250
N-общ./ХПК	г N/г ХПК	0,02–0,06
P-общ.	мг/л	20–140
P-общ./ХПК	г P/г ХПК	0,01–0,035
значение pH	-	3,5–13
Низколетучие липофильные вещества	мг/л	50–500

Чтобы исключить высокие концентрации органических веществ в сточных водах, следует максимально предотвращать потери молока и сыворотки, особенно потому, что молоко имеет ХПК около 210 000 мг/л, а сыворотка – около 70 000 мг ХПК/л [7].

Таблица 1.2.1.1 суммирует суточные значения образования сточных вод и нагрузку сточных вод молокоперерабатывающих предприятий. Обращают на себя внимание высокие значения соотношений N/ХПК и P/ХПК по сравнению с другими сточными водами пищевой промышленности. В молочных белках присутствует азот. Это объясняет относительно низкие концентрации $\text{NH}_4\text{-N}$ по сравнению с азотом Кьельдаля (KN). Однако большая часть общего азота может также присутствовать в виде нитратов. Азотная кислота часто используется при СИП-мойке, а нитрат натрия и нитрат калия часто используются в производстве сыра. В частности, в технологических сточных водах от производства сыра, порошкового молока и сухой сыворотки соотношение N/ХПК находится в верхнем диапазоне, и могут возникать значения соотношения N/г ХПК до 0,06 г, которые являются решающими для проектирования [7].

Фосфор в производственных сточных водах поступает почти исключительно из самого молока. На заводах по производству порошкового молока и сухой сыворотки, а также на сыроварнях, можно ожидать более высоких значений около 0,03 г P/г ХПК. [7]

Таблица 1.2.1.2: Соли в цельном молоке, в производимой сыворотке и в сточных водах производственного процесса (на примере Германии – заимствовано из [7] и [9])

Параметр	Цельное молоко	Содержащая соль сыворотка	Сыворотка	Техническая вода
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
Натрий	414	21	440	543
Калий	1410	1770	1560	105
Кальций	1485	2450	610	80
Магний	100	160	77,5	12
Хлорид	1020	20280	1065	114
$\text{NO}_3\text{-N}$	0,18	-	0,18	8
Фосфор	678	640	367	94

Помимо фосфора, сырое молоко также богато другими минералами (солями), особенно калием, натрием и кальцием. Соли также попадают в сточные воды молокозаводов через моющие средства и, возможно, через сыроварни. Таблица 1.2.1.2 показывает примерный состав солей (ионов) в цельном молоке, в сыворотке и в потоках сточных вод от производственного процесса. Концентрация натрия и хлоридов здесь значительно выше из-за содержащей соли сыворотки, которая значительно увеличивает соотношение натрия и других катионов в технологических сточных водах по сравнению с цельным молоком. Это также можно объяснить применением щелочного раствора для очистки установок [7].

1.2.1.2 Меры по снижению нагрузки и объёма сточных вод

Подробное описание мер по снижению нагрузки и объёма сточных вод можно найти в «Информационно-техническом справочнике по НДТ для пищевой и молочной промышленности, а также при производстве напитков» Европейской комиссии 2018. Ниже приводятся меры, в которых особое внимание уделяется снижению загрязнения сточных вод [7].

Меры по снижению нагрузки на сточные воды

- сбор просочившихся или разлитых исходных материалов и частично переработанных материалов,
- отдельный сбор и утилизация отходов молока,
- полный сбор сыворотки, не подлежащей дальнейшей переработке,
- интегрированный контроль соли при производстве сыра для снижения солевой нагрузки в сточных водах,
- минимизация потерь продукции,
- постоянная оптимизация процессов мойки (системы СИП-мойки) для экономии химикатов и снижения солевой нагрузки, например, за счёт повторного использования моющих растворов,
- использование подходящих систем для автоматизации рабочих процессов, таких как обнаружение перехода между фазами продукта и воды,
- проведение химической чистки и сбора твёрдых остатков, пролитых продуктов и избытка соли с последующей отдельной переработкой или удалением отходов,
- оснащение водостоков сетками и/или сборными бассейнами для предотвращения попадания твёрдых частиц в сточные воды,
- ограничение использования моющих и дезинфицирующих средств до минимума, необходимого для рабочих целей, и замена хлорсодержащих средств на расщепляющие кислород или термические дезинфицирующие средства,
- замена средств, содержащих ЭДТК/НТК (этилен-диамин тетрауксусную кислоту/нитрилтриацетную кислоту), на более экологически чистые средства или смягчение воды в качестве альтернативы.

Меры по снижению объёмов сточных вод

- анализ расхода воды с целью устранения протечек,
- установка и мониторинг приборов учета воды на всех основных объектах эксплуатации (баланс объёмов воды),
- использование оборудования для очистки под высоким давлением, водосберегающих клапанов и шлангов меньшего диаметра,
- использование конденсата для очистки и в качестве технологической воды для подпитки котлов, а также для производства тепла и холода,
- замена систем с непрерывным потоком на контуры охлаждения,
- сокращение расхода охлаждающей воды за счёт рекуперации тепла в теплообменниках,
- повторное использование нагретой воды от теплообменников для очистки.

2 Требования к качеству сточных вод

2.1 Правовая основа

Водные объекты — это водный ресурс (питьевая вода), среда обитания и приёмники сточных вод. Эти цели использования балансируются регулирующим законом, частично поддерживаемым инструментами экономического контроля [7].

Многие нормативные требования в Европе вытекают из Директив ЕС, которые необходимо инкорпорировать в национальное законодательство. Рамочная Директива по водным ресурсам (WFD) является самой важной из них, а её дочерние директивы содержат конкретные положения. В дополнение к требованиям водного права Закон об охране окружающей среды, связанный с промышленными установками, химическая безопасность и многое другое также имеют отношение к воде и сточным водам. Это затрудняет описание законодательных требований по управлению водными ресурсами и сбросу промышленных сточных вод [7].

Далее представлены аспекты, относящиеся к промышленному водопользованию, и их взаимодействие конкретно в отношении промышленных сточных вод.

2.1.1 Европейская правовая база

Европейская Рамочная Директива по водным ресурсам (WFD)

Рамочная Директива по водным ресурсам 2000/60/ЕС WFD регулирует охрану поверхностных вод, пластовых вод, прибрежных вод и подземных (грунтовых) вод. Основная цель — поддержание хорошего состояния всех вод во благо общего пользования. Помимо улучшения состояния водных экосистем, эта цель также включает предотвращение дальнейшего ухудшения их качества. Директива по водным ресурсам придерживается стратегии устойчивого водопользования, основанной на долгосрочной охране ресурсов. Охрана водных ресурсов имеет количественные и качественные измерения и сочетает в себе подход, основанный на экологических принципах и управлением водными ресурсами [7].

Особенно важным для предприятий, сбрасывающих сточные воды, является перечень приоритетных загрязняющих веществ (Приложение X WFD), который содержит набор веществ и групп веществ, представляющих значительный риск для водной среды или через неё. Для этих веществ должны быть установлены меры по ограничению поступления этих приоритетных веществ в водную среду, а также стандарты качества относительно их концентраций [7].

В промышленном и коммерческом секторе требования к предприятиям, сбрасывающим сточные воды, всё чаще определяются правилами ЕС. Директива о промышленных эмиссиях 2010/75/ЕС за 2010 год (IED) предусматривает, что выдача разрешений и эксплуатация промышленных предприятий, перечисленных в Приложении I IED, должны осуществляться комплексно и в разных средах в соответствии с наилучшими доступными технологиями (НДТ). Это означает, что раздельное рассмотрение вопросов контроля загрязнения воздуха, охраны водных ресурсов и предотвращения/переработки отходов заменяется концепцией предупреждающего производственно-интегрированного предотвращения и контроля загрязнения. Следует избегать переноса загрязнения окружающей среды в другие природные среды, такие как воздух или почва; также устанавливается требование соответствовать современному уровню технического развития. Основным инструментом для достижения этой цели является

применение НДТ на промышленных предприятиях в соответствии с экологическим разрешением [7].

НДТ, согласно ст. 3 IED, определяется следующим образом:

«Наилучшие доступные технологии» — это наиболее эффективные и продвинутые этапы разработки мероприятий и соответствующих методов работы, которые делают определённые технологии практически пригодными для использования в качестве основы для предельных значений выбросов и других разрешительных условий с целью предотвращения выбросов/сбросов в окружающую среду и воздействия на неё в целом или, если это невозможно, с целью их сокращения.

В данном контексте:

- **«Наилучшие»:** методы, которые наиболее эффективны для достижения высокого уровня охраны окружающей среды в целом.
- **«Доступные технологии»** означают те технологии и методы, которые разработаны в масштабе, который с учётом соотношения затрат и выгод может применяться в экономически и технически жизнеспособных условиях в соответствующем промышленном секторе, независимо от того, используются или создаются такие технологии в соответствующем государстве-члене ЕС или нет, при условии, что они доступны оператору в разумных пределах.
- **«Технологии»** означают как используемую технологию, так и способ проектирования, строительства, технического обслуживания, эксплуатации и вывода установки из эксплуатации [7].

Для всех важных промышленных секторов Комиссия ЕС постоянно публикует так называемые заключения по НДТ, которые имеют обязательную юридическую силу и должны быть реализованы в странах ЕС в течение четырёх лет [7].

2.1.2 Управление сточными водами в Германии — требования к качеству и требования к сбросам

В Германии хорошо зарекомендовал себя комбинированный подход, предусматривающий превентивные технологические требования (НДТ) и требования, относящиеся к охраняемым объектам (WFD). Современный уровень технического развития в части нормирования сбросов обеспечивает постоянное снижение нагрузки, уменьшение загрязнения территорий ниже по течению и океанов, а также позволяет учитывать аспекты пропорциональности. Стандарты качества окружающей среды (EQS) указывают на уровень, который необходимо постоянно поддерживать для защиты людей (питьевая вода, вода для орошения) и охраны окружающей среды (экология и биоразнообразие) [7].

Соблюдение стандартов качества окружающей среды может потребовать ограничения сбросов помимо применения НДТ. Введение обязательных целей управления (EQS) водной средой повысило важность охраняемых объектов и необходимость превентивного снижения нагрузки опасных веществ [7].

Основы оценки сбросов сточных вод

При оценке сбросов сточных вод и очистных сооружений органом водного надзора, как правило, должны быть рассмотрены следующие аспекты:

1. Соблюдение требований по охране вод применительно к охраняемым объектам, водному хозяйству и водоотведению (§§ 5, 6, 12, 27, 47 и 55 Закона о водном хозяйстве (WHG).
2. Соблюдение предупредительных технологических требований к сбросу сточных вод (раздел 57 Закона о водном хозяйстве (WHG).

3. Соблюдение требований к очистным сооружениям (раздел 60 Закона о водном хозяйстве (WHG)).

Орган водного надзора по результатам оценки выдает разрешение, которое может быть отозвано (раздел 18 (1) WHG). Этот документ даёт право использовать водоём для определённой цели в порядке, определяемом его характером и масштабами (раздел 10 (1) WHG). В разрешении указывается цель использования водного объекта. Тип и объём использования определяются в нём перечислением документов планирования, описанием очистных сооружений, а также содержанием и вспомогательными положениями, особенно условиями сброса сточных вод. Соответственно, цель и объём использования должны быть достаточно и достоверно описаны в заявке на разрешение [7].

Разрешение на сброс на основании Федерального закона о водном хозяйстве (WHG)

Согласно Федеральному закону о водном хозяйстве пользование водным объектом включает сброс веществ. Это также относится к прямому сбросу очищенных сточных вод, поскольку это способствует загрязнению водного объекта. Для этого требуется официальное разрешение (раздел 8 WHG). Поэтому сброс сточных вод в водоём как правило запрещен. Однако этот запрет в отдельных случаях может быть отменён компетентным органом водного надзора после подачи заявки на получение разрешения (репрессивный запрет с оговоркой об освобождении) [7].

Выдача разрешения не является юридическим обязательством, так как оно выдаётся по усмотрению компетентного органа (раздел 12, параграф 2 WHG). С 1976 года минимальные требования к сбросу сточных вод в водные объекты и, следовательно, к образованию, профилактике и очистке сточных вод были установлены по всей стране. Минимальные требования изложены в разделе 57 (сброс сточных вод в водные объекты, так называемый прямой сброс) Закона о водном хозяйстве (WHG). С 1996 года эти минимальные требования основаны на современных технологиях (см. Приложение 1 к WHG). Допустимая нагрузка загрязняющих веществ определяется путем возможной минимизации сбросов в воду для соответствующей отрасли промышленности при соблюдении технически и экономически осуществимых современных процессов. Эти минимальные требования в соответствии с современным уровнем технического развития применяются независимо от специфики местоположения, в котором находится предприятие, осуществляющее сброс [7].

Соблюдение требований к очистным сооружениям (раздел 60 WHG)

В то время как требования к сбросу сточных вод в соответствии с разделом 57 Закона WHG направлены на соблюдение допустимого количества и содержания вредных веществ в сточных водах, раздел 60 WHG определяет требования к очистным сооружениям, необходимых для этой цели. Помимо строительства и эксплуатации объектов, регулируется также и их техническое обслуживание [7].

Нужно обеспечить выполнение требований по удалению сточных вод. Необходимо соблюдать также общепризнанные технологические правила и обеспечить, чтобы очистные сооружения для сточных вод в смысле раздела 60 (3), предложение 1, п. 2 WHG проектировались, эксплуатировались и обслуживались в соответствии с уровнем технического развития и демонстрировали определенное соответствие наилучшим доступным технологиям, как установлено в Директиве о промышленных эмиссиях IED [7].

2.1.3 Постановление о сточных водах — соблюдение требований к сбросу сточных вод

В Постановлении о сточных водах (AbwV) федеральное правительство определило общие требования и предельные значения выбросов для 53 источников (коммунально-бытовые сточные воды и 52 промышленных и коммерческих сектора), которые соответствуют современному уровню технического развития и являются минимальными требованиями. Приложение 1 к AbwV относится к бытовым и коммунальным сточным водам, другие приложения касаются отдельных промышленных секторов [7, 10].

Для большинства приложений имеются примечания и пояснения (справочные документы), выпущенные Федеральным министерством по защите окружающей среды, охране природы и ядерной безопасности Германии и Рабочими группами федеральных земель по водным ресурсам, в которых представлены технические основы и разъяснены требования [7, 10].

Приложения к AbwV, которые ориентированы на отраслевые типы сточных вод, содержат конкретные меры предупреждения и очистки в качестве минимальных требований к сбросу сточных вод в водные объекты. После внесения поправки в Постановление о сточных водах от 2 сентября 2014 года (и седьмой поправки к Постановлению о сточных водах от 8 июня 2016 года) соответствующие обновлённые приложения Постановления о сточных водах также содержат все требования ЕС по НДТ в отношении воды. Разрешение на сбросы выдается только в том случае, если предприятие, сбрасывающее сточные воды, реализует минимальные меры, описанные в соответствующем приложении Постановления о сточных водах (AbwV), для предотвращения и сокращения сбросов сточных вод в соответствии с современным уровнем технического развития [7].

Осуществление сбросов сточных вод можно проанализировать и оценить по отдельным секторам промышленности согласно заключениям по НДТ ЕС, а меры по предотвращению и сокращению можно легче оптимизировать [7].

В частности, что касается опасных веществ (например, кадмия, ртути), требования могут также устанавливаться перед смешиванием с другими сточными водами в частичном потоке или в точке передачи в городскую канализационную систему (непрямой сброс). Путем определения отрасли (например, металлургия, текстильная промышленность, пищевая промышленность, производство бумаги) и выбора параметров, которые необходимо ограничить, особенно основных или суммарных параметров (например, общее содержание органических углеводов ТОС, общий связанный азот ТН_б, БПК₅, фильтруемые вещества) и активных параметров (т. е. биоанализ, например, с определением токсичности для икры рыб, дафний, ряски, люминесцентных бактерий), требования к измерению и мониторингу можно выдерживать в приемлемых пределах. Требования к сбросам для конкретных отдельных веществ, как правило, не устанавливаются а скорее определяются источники или секторы образования сточных вод, для которых должна применяться современная технология (которая в существенной мере соответствует Европейским НДТ). Требования изложены на европейском уровне в заключениях по НДТ (BAT-S) и (после обновления) в соответствующих приложениях к Постановлению о сточных водах (AbwV) [7].

Разрешительные требования и требования к сбросу сточных вод в общественные и частные системы канализации (непрямые сбросы) указаны в федеральных нормах и правилах Разделов 58 и 59 WHG в сочетании с Постановлением о сточных водах. Кроме того, федеральные земли могут своими законами устанавливать дополнительные требования к разрешениям на непрямой сброс сточных вод [7].

2.1.4 IZÜV — Постановление о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений

Внедрение Директивы ЕС о промышленных эмиссиях/IED в области охраны водных ресурсов привело не только к изменениям в Законе о водном хозяйстве (WHG) и Постановлении о сточных водах (AbwV), но и к появлению нового Постановления о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений (IZÜV). Сфера применения Постановления о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений (IZÜV) включает выдачу разрешений на водопользование промышленными предприятиями, подпадающими под действие Директивы ЕС о промышленных эмиссиях (IED), а также выдачу разрешений на независимо эксплуатируемые промышленные очистные сооружения (6.11 – установки согласно Приложению I Директивы о промышленных эмиссиях) [7].

Сфера применения распространяется не только на промышленные очистные сооружения как следует из названия постановления, но также и на сбросы с промышленных установок. Полное название Постановления о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений IZÜV выражает это более чётко: «Постановление, регулирующее процедуру допуска к эксплуатации и мониторинга промышленных очистных сооружений и водопользования». Предыдущие нормы и правила федеральных земель по водопользованию установками IPPC (установками, подпадающими под действие Директивы по предотвращению и контролю загрязнений IPPC) в законах федеральных земель по водным ресурсам или независимые постановления для установок IPPC больше не применяются. По сути, эти требования соответствуют требованиям 9-го BImSchV, т. е. Постановления о процедуре утверждения и других нормативных актах BImSchG, т. е. Федерального закона о защите от негативного воздействия [7].

Сфера применения Постановления о допуске и мониторинге промышленных очистных сооружений (IZÜV) охватывает как выдачу разрешений или лицензий (Часть 1), так и их мониторинг (§§ 7–10 Постановления IZÜV); последний также охватывает мониторинг непрямых сбросов (согласно §§ 8–10 Постановления IZÜV) [7].

Часть 1 Постановления IZÜV содержит процедурные положения, более 90 % которых регулируются федеральным законом BImSchG. Процедурные положения относятся к несвязанным (см. Раздел 13 федерального закона BImSchG) разрешениям на прямые сбросы с промышленных установок, и к так называемым установкам 6.11 (согласно Приложению I Директивы о промышленных эмиссиях IED). Процедурные требования Постановления IZÜV не распространяются на предприятия, осуществляющие прямой сброс стоков [7].

Разрешение по Постановлению IZÜV относится к «загрязнённым сточным водам конкретного технологического процесса». Например, это означает, что для ливневых стоков с крыши установки, подпадающей под действие Директивы о промышленных эмиссиях IED, не требуется разрешение согласно Постановлению IZÜV, а требуется обычное разрешение на сброс [7].

Таким образом, Постановление IZÜV расширяет рамки обычных процедур выдачи разрешений на сбросы в водные объекты, включая в них процедурные требования Директивы о промышленных эмиссиях IED. Решающим в данной связи является вопрос о том, выдано ли разрешение в соответствии с федеральным законом о защите от вредных воздействий BImSchG для установки, подпадающей под требования Директивы IED и очистных сооружений, или сброс сточных вод учитывается в нем как на вспомогательном объекте (принцип концентрации по разделу 13 федерального закона BImSchG на утверждение) [7].

Новым по сравнению с предыдущим разрешением на сброс является участие общественности, а также требования и обязательства по мониторингу. Таким образом, если разрешительный орган осуществляет выезд на объект, в его проверку включены все соответствующие факты для выдачи разрешения. После этого разрешительный орган может обратиться к представителю органа водного надзора.

2.1.5 AbwAG — Закон о плате за сточные воды

Размер платы определяется количеством и опасностью (см. Таблица 2.1.5.1) определённых сбрасываемых веществ. Таким образом, предприятия, производящие прямой сброс, должны компенсировать хотя бы часть затрат на использование окружающей среды (реализация принципа «загрязнитель платит»). Закон о плате за сточные воды (AbwAG) вводит первый общенациональный экологический сбор с регулирующей функцией. Закон также реализует требование Директивы по водным ресурсам WFD о том, что затраты на окружающую среду и природные ресурсы также должны быть учтены для покрытия расходов [11, 7].

Таблица 2.1.5.1: Приложение к Разделу 3 Закона о плате за сточные воды AbwAG — Загрязняющие вещества и единицы загрязнения в соответствии с данным Законом [11]

Оцениваемые загрязняющие вещества и группы загрязняющих веществ	Следующие полные единицы измерения соответствуют одной единице ущерба	Пороговые значения по концентрации (ПДК)	Пороговые значения по годовому количеству
Восстанавливающие вещества при химической потребности в кислороде (ХПК)	50 кг кислорода	20 мг/л	250 кг
Азот как сумма единичных значений нитратного азота, нитритного азота и аммонийного азота	25 кг	5 мг/л	125 кг
Фосфор	3 кг	0,1 мг/л	15 кг
Органические галогеновые соединения как адсорбируемые органически связанные галогены (АОГ)	2 кг галогена в пересчёте на органически связанный хлор	100 мкг/л	10 кг в год
Металлы и их соединения			
Ртуть	20 г	1 мкг	100 г
Кадмий	100 г	5 мкг	500 г
Хром	500 г	50 мкг	2,5 кг
Никель	500 г	50 мкг	2,5 кг
Свинец	500 г	50 мкг	2,5 кг
Медь	1000 г металла	100 мкг	5 кг/л
Токсичность для икры рыб	6000 м ³ сточных вод, разделённых на G_{Ei}	$G_{Ei} = 2$	

Плата за единицу загрязнения повышалась в несколько этапов до 35,79 евро до 1997 года, но с тех пор не корректировалась. Закон о плате за сточные воды AbwAG предусматривает снижение ставки платы в случаях, когда плательщик выполняет определённые минимальные требования. Кроме того, некоторые инвестиции в улучшение

очистки сточных вод могут быть компенсированы за счёт данной платы. Плата за сточные воды уплачивается федеральным землям. Она предназначена для принятия мер по борьбе с загрязнением воды [7].

2.2 Непрямой сброс

2.2.1 Свод правил DWA M115

Коммерческие и промышленные сточные воды (т. е. небытовые сточные воды) часто сбрасываются в городскую канализационную систему вместе с бытовыми сточными водами и очищаются на коммунальных очистных сооружениях. К количеству и качеству коммерческих и промышленных сточных вод, поступающих путем непрямого сброса предъявляются определённые требования.

Часть 1 Свода правил DWA 115 «Непрямые сбросы небытовых сточных вод» рассматривает правовую основу для использования коммунальной системы сбора и отведения сточных вод предприятиями, осуществляющие непрямые сбросы, и даёт рекомендации по соответствующей разработке местных законодательных актов в сфере водоотведения, что позволяет оператору коммунальной канализационной системы эффективно

и действительно контролировать предприятия, осуществляющие непрямой сброс [12, 7].

Часть 2 посвящена качественным требованиям к предприятиям, осуществляющим непрямой сброс, с точки зрения оператора коммунальной канализационной системы [7, 13].

Часть 3 [ATV-DVWK 2004] посвящена реализации контроля за предприятиями, осуществляющим непрямой сброс. В ней описываются процедуры по созданию и обновлению реестра предприятий, осуществляющих непрямой сброс, по первоначальной регистрации установок, по определению потенциальной опасности не прямых сбросов и по установлению соответствующего цикла мониторинга, а также по возможным стратегиям контроля [7, 14].

Непрямой сброс сточных вод в коммунальную канализационную систему всегда регулировался двумя разными и полностью независимыми областями права: водным правом и нормативно-правовыми актами органов местного самоуправления [7].

Все требования к сбросу небытовых сточных вод основаны исключительно на требованиях к упорядоченному функционированию коммунальной канализационной системы и юридических требованиях Приложения 1 Постановления о сточных водах или разрешений на сброс в соответствии с водным правом. Все запреты и ограничения для небытовых сточных вод, сбрасываемых в городскую канализационную систему, устанавливаются исключительно ради обеспечения защиты оператора коммунальных систем:

- защита населения от вреда, опасностей и неудобств,
- защита существующей инфраструктуры и оптимальная работа коммунальной канализационной системы,
- защита соблюдения требований водного права при прямом сбросе в водные объекты,
- защита систем биохимической очистки и удаления осадка,
- защита персонала, работающего в коммунальной канализационной системе от вреда и опасностей [7].

Ограничения, перечисленные в Своде правил M 115 часть 2 не являются напрямую юридически обязывающими [13].

Обеспечение соблюдения требований к непрямым сбросам в соответствии с Постановлением о сточных водах является обязанностью органа водного надзора. Как правило, это оператор коммунальной канализационной системы, который действует в суверенном качестве. Если предприятие, осуществляющее не прямой сброс, не может выполнять ограничения по сбросу, оно должно предварительно очистить свои сточные воды или принять соответствующие меры по предотвращению/сокращению. Разбавление сточных вод до требуемых пределов концентрации не допускается [7].

Некоторые вещества принципиально запрещается сбрасывать в коммунальную канализационную систему, поскольку они могут нанести ущерб окружающей среде. Это относится к веществам, которые:

- препятствуют течению сточных вод,
- снижают эффективность очистки очистными сооружениями,
- образуют токсичные, зловонные или взрывоопасные газы и пары,
- разрушают строительные конструкции [7].

Примеры таких веществ включают минеральное масло, (измельчённые) твёрдые коммунальные отходы (мусор, кухонные отходы и т. д.), фекалии животных, биоциды, отвердители (цемент, синтетические смолы и т. д.), бензин, краски, смазки, смазочные масла и вещества, выделяющие вредные пары и газы. Это положение об исключении также призвано противодействовать сбросу отходов в городскую канализационную систему [7].

Свод правил М 115 часть 2 рассматривает такие характеристики и составляющие, которые, как известно на практике, приводят к опасностям, повреждениям и сбоям в работе коммунальной канализационной системы или для которых существуют требования в соответствии с водным правом в отношении сброса сточных вод от очистных сооружений. Несоблюдение требований водного права может привести к увеличению платы за сточные воды и даже к уголовному преследованию оператора коммунальной канализационной системы в зависимости от серьёзности нарушения [7, 13].

Расчёт нормативных показателей также основан на допущении, согласно которому поток промышленных сточных вод, содержащих эти вещества, составляет не более 10 % притока сточных вод, поступающих на очистные сооружения. Расчет нормативных показателей подразумевает, что они применяются ко всем непрямым сбросам, независимо от сектора или происхождения коммерческих и промышленных сточных вод и в любое время [7].

Таким образом, перечень нормативных показателей М 115 часть 2 считается более ясным и понятным, чем перечень предельных показателей Постановления о сточных водах. Нормативные показатели М 115 часть 2 как правило, менее строгие с точки зрения цифр для большинства параметров, поскольку технические условия в соответствии с современными технологиями (НДТ) зарезервированы для Постановления о сточных водах. Кроме того, они применяются в точке передачи стоков в городскую канализационную систему, тогда как Постановление о сточных водах налагает требования уже выше по течению от места смешивания или в точке образования. В особенности это относится к опасным веществам; в отношении приоритетных опасных веществ также применяется требование о прекращении производства. Примерное сравнение требований к отдельным показателями Приложения 40 Постановления о сточных водах с нормативными показателями М 115 часть 2 проиллюстрировано в Таблице 2.2.1.1 [7, 13].

Таблица 2.2.1.1: Примерное сравнение требований к отдельным показателям Приложения 40 Постановления о сточных водах AbwV с требованиями DWA M 115 часть 2 (заимствовано из [7])

Параметр	Ед. изм.	Приложение 40 Постановления о сточных водах AbwV	DWA-M 115, часть 2
АОГ (адсорбируемые органические галогены)	мг/л	1	1
Хром VI	мг/л	0,1	0,2
Свинец	мг/л	0,5	1
Сульфид, легко высвобождаемый	мг/л	1	2

В части 2 Свода правил M 115 рекомендуется, чтобы в случае получения разрешения на непрямой сброс в соответствии с Законом о водном хозяйстве (WHG) требования этого закона заменяли нормативные показатели части 2 M 115. Нормативные показатели части 2 M 115 становятся обязательными предельными значениями только в местных нормативно-правовых актах о водоотведении. Поскольку предельные показатели связаны с аналитическими методами, они также должны быть указаны в распоряжениях органов местного самоуправления [7, 13].

Проверка требований согласно M 115 часть 2 проводится на основе квалифицированной разовой пробы. Также указываются методы анализа DIN, которые будут использоваться при мониторинге [7, 13].

M 115 часть 2 также указывает на возможность ослабления или ужесточения лимитов сброса. Это может быть полезно, например, для предотвращения опасности в случае чрезмерных затруднений для предприятия, осуществляющего непрямой сброс, или в случае низких нагрузок, которые не влияют на окружающую среду. Инструкцией рекомендуется регулировать такие исключения, например, в рамках специальных разрешений или контрактов, заключаемых в соответствии с публичным правом [7].

Если предприятие, осуществляющее непрямой сброс, отвечает за высокую нагрузку на входе очистных сооружений, которая затрудняет достижение целей охраны окружающей среды, M 115 часть 2 рекомендует, чтобы предел нагрузки в каждом конкретном случае устанавливал оператор очистных сооружений [7].

M 115 часть 2 содержит также дополнительные параметры, которые могут иметь значение для оператора коммунальных очистных сооружений, но не предоставляет для них ориентировочных значений. Например, для параметра «таллий», концентрация которого может иметь значение для цели охраны окружающей среды при удалении осадка, или для параметра «алюминий», если не возникает никаких трудностей во время сброса и очистки сточных вод, и он может, при необходимости, быть в достаточной степени ограничен с помощью параметра «осаждаемые вещества». Кроме того, M 115 часть 2 предусматривает возможность ограничения для параметров «аэробная биоразлагаемость» и «ингибирование нитрификации» при наличии соответствующих эксплуатационных проблем на очистных сооружениях или в качестве сопутствующей меры к установлению надбавки к плате за сильное загрязнение [7].

Ограничения так называемых антропогенных микроэлементов в настоящее время в части 2 Свода правил M 115 не предусмотрены. Кроме того, в настоящее время нет требований к сбросу этих веществ в Приложении 1 к Постановлению о сточных водах. Только в том случае, если оператор подчиняется требованиям — будь то разре-

шение на сброс в соответствии с водным правом или Постановление о сточных водах — он может передать их предприятиям, осуществляющим не прямые сбросы небытовых сточных вод [7, 15].

2.2.2 Плата и надбавки за сильное загрязнение

Плата за водопользование должна соответствовать полученной услуге (принцип эквивалентности). Этот принцип может полностью выполняться только с помощью шкалы, которая точно фиксирует тип и объём использования и, соответственно, распределяет плату между отдельными пользователями [7].

Для очистки сточных вод это означает, что количество и вариации качества сточных вод, степень загрязнения и способность к разложению должны регистрироваться в каждом отдельном случае, что является нецелесообразным ни с технической, ни с финансовой стороны. Следовательно, законодательство также позволяет применять стандарты вероятности. Таким образом, Федеральный административный суд Германии неоднократно заявлял, что принцип эквивалентности и принцип равенства не требуют взимания платы за водоотведение в соответствии с мерой затрат, вызванных использованием в каждом отдельном случае — принцип эквивалентности согласно федеральному закону, по сути, требует только, чтобы плата не была несоразмерной предоставляемой услуге. В прецедентном праве обычно признаётся, что в интересах практически осуществимого взимания платы требуется не справедливость по услуге в конкретном случае, а только справедливость по типу. Как правило, этим требованиям удовлетворяет взимание платы за сточные воды по шкале пресной воды. Признанным случаем применения при расчёте платы для этого является «шкала отдельных сборов», то есть очистка смешанных сточных вод и сброс менее загрязнённой дождевой воды, которая накапливается в количествах, не зависящих от потребления пресной воды, а также «надбавка за сильное загрязнение», которая учитывает дополнительные расходы, связанные с совместной очисткой более загрязнённых сточных вод на муниципальных очистных сооружениях [7].

Формирование платежей за загрязнение

Цель дополнительных надбавок, связанных с загрязнением, — переложить на загрязнителя дополнительные затраты, вызванные увеличением сброса загрязняющих веществ по сравнению с городскими сточными водами. В отличие от установленных руководящих принципов расчёта платы за ливневые стоки, согласованной процедуры для расчёта платы за очистку сточных вод, связанной с загрязнением, не существует. Ни шкала сборов, т. е. определение соответствующих единиц затрат, ни код распределения для затрат не указываются единообразно. Если при расчёте платы учитываются частичные потоки, отклоняющиеся от городских сточных вод по расходам, при расчёте сборов в качестве единиц затрат могут использоваться только такие параметры, для которых предусмотрены и эксплуатируются объекты ликвидации, т. е. все факторы сточных вод, определяющие техническую концепцию. Дополнительные сборы обычно взимаются через:

- надбавки или вычеты за загрязнение,
- надбавки за колебания,
- скидки за объём [7].

Модели, используемые для расчёта надбавок для предприятия, значительно загрязняющего окружающую среду, можно в основном дифференцировать по двум типам надбавок:

- постоянный расчёт надбавки по формуле,
- пошаговый расчёт надбавок по категориям загрязнения [7].

Кроме того, применяемые индивидуальные надбавки для предприятия, значительно загрязняющего окружающую среду, различаются в зависимости от следующего:

- учитываемые единицы затрат, т. е. по параметрам, включённым в расчёт,
- уровень выбранных пороговых значений, выше которых взимается надбавка или дополнительная плата,
- определение кода распределения для отнесения затрат МВЗ (места возникновения затрат) на единицы затрат, представленных коэффициентами затрат, связанным с загрязнением, или процентными надбавками к плате за сточные воды [7].

Используемые в настоящее время модели расчёта надбавок не обеспечивают достаточной основы для отнесения затрат, связанных с загрязнением, к виновнику загрязнения. Составление различных моделей расчёта надбавок для предприятия-источника значительного загрязнения показывает, что до сих пор для расчёта надбавок в качестве единиц почти исключительно используются параметры ХПК и БПК₅. Кроме того, при расчёте надбавок обычно используются концентрации загрязняющих веществ, а не нагрузка (загрязнение) от загрязняющих веществ. Сравнение конкретных надбавок (евро/кг БПК₅) показывает, что таким образом невозможно добиться достаточной справедливости в начислениях. Только модели, основанные на нагрузке загрязнения, позволяют рассчитывать единообразную надбавку для данного параметра [7].

Помимо метода применения концентрации загрязняющих веществ, решающим недостатком всех моделей справедливого распределения затрат являются факторы распределения, которые обязательно фиксируются в долгосрочной перспективе и недостаточно прозрачны с точки зрения управляемости моделей. Поэтому внедрение модели сборов, ориентированной на производственные затраты и позволяющей определять зависящие от предприятия и ситуации факторы путём соотношения расчёта платы с базой данных затрат, созданной на основе непрерывной и актуализирующейся разбивки затрат в любом случае предпочтительнее установления фиксированной надбавки для предприятия, значительно загрязняющего окружающую среду [7].

2.2.3 Прямой сброс

Перед осуществлением прямого сброса сточных вод предприятия должны выполнить минимальные требования, установленные для их промышленного сектора, а в случае неэффективных водных объектов может потребоваться выполнение более строгих требований. Промышленные сточные воды — это, по сути, сточные воды от производственных процессов, бытовые сточные воды из санитарно-технических помещений и столовых, а также охлаждающая вода и ливневые стоки. В случае охлаждающей воды различают загрязнённую и незагрязнённую воду, в зависимости от производственного процесса. Сточные воды образуются в нескольких точках промышленного предприятия и могут сильно различаться по своему количеству и составу, в зависимости от места образования. Во многих случаях перед окончательной очисткой бывает целесообразным отдельно очищать отдельные сточные воды в зависимости от их состава и конкретных требований [7].

Справочники по наилучшим доступным технологиям (НДТ)

С принятием Директивы о промышленных эмиссиях IED в 2010 году справочники НДТ (справочный документ по наилучшим доступным технологиям) приобрели более строгий юридически обязательный характер по всей Европе. Справочники НДТ устанавливают общеевропейский стандарт экологически чистой и ресурсосберегающей эксплуатации промышленных предприятий из самых разных секторов. Заключение, содержащееся в справочниках НДТ, является важным инструментом для реализации данной Директивы. Они содержат основанные на НДТ показатели эмиссий (BAT AEL) и образуют основу для подзаконных нормативных актов (например, приложений к Постановлению о сточных водах AbwV). Таким образом, в качестве справочного документа для определения условий выдачи разрешения для установок, подпадающих под действие Директивы о промышленных эмиссиях IED, используются заключения по НДТ. Установленные предельные значения выбросов играют решающую роль в этом контексте; для соответствия этим значениям не предписано использование определённых технологий [7].

Разработка справочников НДТ осуществляется путём обмена информацией между странами-членами, соответствующими отраслями, экологическими НПО и Комиссией ЕС. Для учёта непрерывного прогресса в исследованиях и разработках и связанных с ними технологических инноваций Директива о промышленных эмиссиях IED предусматривает, что справочные документы по НДТ должны обновляться по возможности каждые восемь лет с момента их публикации [7].

Заключения по НДТ, относящиеся к сточным водам, пока существуют для следующих секторов (согласно Европейскому бюро по контролю и предотвращению загрязнений, 2018 г.):

- дубление шкур и кож,
- производство стекла,
- интенсивное выращивание птицы и свиней,
- цветная металлургия,
- производство чугуна и стали,
- крупные установки, предназначенные для сжигания,
- производство цемента, извести и оксида магния,
- хлорно-щелочная промышленность,
- предприятия по переработке отходов,
- очистка/управление сточными водами и отходящими газами в химической промышленности,
- производство основных органических химикатов,
- производство деревянных панелей,
- производство целлюлозы, бумаги и картона,
- нефтеперерабатывающие заводы [7].

Для следующих отраслей существуют справочники НДТ без заключений:

- текстильная промышленность,
- очистка отходящих газов в химической промышленности,
- обработка стали,
- пищевая промышленность,
- обработка поверхностей металлов и пластиков (гальваника),
- энергоэффективность,
- промышленные системы охлаждения,

- производство основных неорганических химикатов — твёрдых веществ и др.,
- обработка поверхности органическими растворителями,
- производство основных неорганических химикатов — аммиака, кислот, удобрений и др.,
- производство химических продуктов тонкого органического синтеза,
- мусоросжигательные заводы,
- производство полимеров,
- предприятия по убою животных и побочные продукты предприятий по переработке побочных продуктов животного происхождения,
- производство специальных продуктов неорганической химии,
- хранение опасных веществ и пыльных грузов,
- литейные заводы,
- керамическая промышленность [7].

Кроме того, следующие справочные документы применяются горизонтально для всех секторов [7]:

- общие принципы мониторинга,
- экономическая эффективность и эффективность печатных и электронных СМИ.

Последнюю редакцию каждого документа можно найти по адресу <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>.

2.2.4 Особые требования и приложения к Постановлению о сточных водах AbwV

В Германии требования к сбросу сточных вод определены в Постановлении о сточных водах AbwV. Все приложения доступны по адресу <http://www.gesetze-im-internet.de/abwv/>.

Таблица 2.2.4.1 Требования к сточным водам в точках сброса обобщены на примере отдельных отраслей пищевой промышленности. Следует отметить, что в зависимости от области образования сточных вод для отрасли могут быть установлены дополнительные требования. В любом случае необходимо соблюдать особые дополнительные положения. Все значения относятся к квалифицированной разовой пробе или двухчасовой усредненной пробе. Если определены предельные значения для азота и/или аммонийного азота, они обычно применяются к температуре выходного потока 12 °C и выше в исходящем потоке от биологического реактора. В некоторых случаях допустимы более высокие концентрации азота, как только может быть достигнута соответствующая эффективность с точки зрения ликвидированной азотной нагрузки. Следует отметить, что для секторов переработки масличных культур, пищевых жиров и растительного масла предельные значения частично определяются как нагрузки [7].

Таблица 2.2.4.1: Требования к сбросу сточных вод в отдельных отраслях пищевой промышленности (заимствовано из [7] и [10])

	БПК ₅	ХПК	NH ₄ -N	P _{общ.}	N _{общ.} , как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота	Удельное количество сточных вод
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
Приложение 3 Переработка молока	25	110	10	2	18	-
Приложение 5 Производство плодоовощной продукции						
Приложение 11 Пивоварни						
Приложение 12 Производство алкоголя и алкогольных напитков						
Приложение 10 Мясная промышленность						
Приложение 7 Переработка рыбы	25	110	10	2	25	
Приложение 8 Переработка картофеля	25	150	10	2	18	
Приложение 18 Производство сахара	25	200	10	2	30	
Приложение 6 Производство безалкогольных напитков и розлив напитков	25	110	-	2	-	
Приложение 21 Солодовни	25	110	-	-	-	
	г/т	г/т		г/т	мг/л	м ³ /т
Приложение 4 Переработка масличных культур, рафинирование пищевого жира и пищевого масла						
Обработка семян	5	20	-	0,4	30	0,2
Рафинирование	38	200	-	4,5	30	1,5

Требования к месту сброса сточных вод от нефтепереработки описаны в Таблица 2.2.4.2. В ней нагрузки загрязняющих веществ должны определяться в рамках водного права, согласно которому за основу берется удельный объём сточных вод 0,5 м³ на тонну входящего продукта. В случае производства смазочных масел должно применяться значение 1,3 м³ на тонну входящего продукта. Кроме того, необходимо учитывать дополнительные требования к сточным водам перед смешиванием [7].

Таблица 2.2.4.2: Требования к сбросу сточных вод от нефтепереработки (заимствовано из [7] и [10])

	ТОС общ мг/л	ХПК мг/л	БПК ₅ мг/л	Р _{общ.} мг/л	Н _{общ.} , как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота. мг/л	Углеводороды, всего мг/л
Приложение 45 Нефтепереработка	25	80	15	1,3	20	1,5

Таблица 2.2.4.3 показывает требования к сточным водам для точки сброса при производстве бумаги, картона или высококачественного картона в соответствии с Приложением 28. Для определенных областей образования применяются дополнительные условия в отношении среднегодового значения, если суточная производственная мощность 20 тонн или более превышена [7].

Таблица 2.2.4.3: Требования к сбросу сточных вод от производства бумаги, картона или высококачественного картона (заимствовано из [7] и [10])

	БПК ₅ мг/л	Р _{общ.} мг/л	Филь- труе- мые веще- ства мг/л	Азот общий связан- ный ТН _б мг/л	Н _{общ.} , как сумма ам- монийно- го, нит- ритного и нитратно- го азота. мг/л	ТОС общ кг/т	ХПК кг/т
Приложе- ние 28 Производство бумаги, карто- на или высоко- качественного картона*	25	2	50	20	10	0,9	3
* кроме того действуют особые требования к производству различной продукции							

Предельные значения, определённые в Приложении 40 к Постановлению о сточных водах AbwV для сектора металлообработки, относятся к двенадцати областям и суммированы в виде интервалов в Таблице 2.2.4.4. Предельные значения для углеводородов должны относиться к пробе. Для двенадцати основных областей частично существуют дополнительные требования на случай смешивания сточных вод [7].

Таблица 2.2.4.4: Требования к сбросу сточных вод от металлообработки (заимствовано из [7] и [10])

	Алю- ми- ний	NH ₄ -N	ХПК	Же- ле- зо	Фто- рид рас- тво- рён- ный	NO ₂ -N	P _{общ.}	Ток- сич- ность для икры рыб (G _{Ei})	Угле- водо- роды, всего
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/ л	мг/л	кг/т	мг/л		мг/л
Прило- жение 40 Метал- лообра- ботка	2–3	20–100	100– 400	3	20–50	5	2	2–6	10

Для сектора химической промышленности применяются требования Приложения 22 к Постановлению о сточных водах AbwV. В сферу применения входят промышленные предприятия с объёмом сброса сточных вод от 10 м³ в сутки. Конкретные требования к отдельным параметрам загрязняющих веществ, как правило, зависят от производимого продукта или нагрузки в месте образования [7].

В случае азота в разрешении органа водного надзора также может быть указана более высокая концентрация до 75 мг/л, если гарантировано снижение нагрузки по азоту на 75 %. Кроме того, предельные значения для АОГ (адсорбируемых органических галогенов), а также для экстракта других веществ, включены в требования перед смешиванием [7].

Требования к сбросу сточных вод при производстве неорганических пигментов, например, красителей или наполнителей, приведены в Приложении 37. В Таблице 2.2.4.5 перечислены предельные показатели для свинца, кадмия и общего хрома в качестве примера. Для производства кадмиевых пигментов значения нагрузки для конкретного производства относятся к количеству использованного кадмия. Нагрузка загрязняющих веществ определяется по значениям концентрации в квалифицированной разовой пробе или двухчасовой усредненной пробе и по объёмному расходу сточных вод, соответствующему отбору проб [7].

Таблица 2.2.4.5: Требования к сбросу сточных вод от производства неорганических пигментов перед смешиванием (заимствовано из [7] и [10])

		Свинцовые и цинковые пигменты	Кадмиевые пигменты	Литопоны, пигменты на основе сульфида цинка и осаждённый сульфат бария	Пигменты на основе оксида железа	Пигменты на основе оксида хрома	Пигменты смешанной фазы, пигментные и цветные смеси для тела и фритты
Квалифицированная проба или двухчасовая усредненная проба							
Свинец	кг/т	0,04	-	-	-	-	-
Кадмий	мг/л	-	-	0,01	-	-	-
	кг/т	-	0,15	-	-	-	-
Хром, общий	мг/л	-	-	-	-	-	0,5
	кг/т	0,03	-	-	-	0,02	-

Сточные воды, образующиеся в результате использования определённых опасных веществ, регулируются Приложением 48. Оно применяется к очистным сооружениям, загрязняющая нагрузка которых в основном является результатом использования веществ, перечисленных в Приложении. В Таблица 2.2.4.6 в качестве примера перечислены требования к сточным водам от производства пигментов из диоксида титана перед смешиванием. Для параметра «общий хром» в разрешении органа водного надзора может быть также признана допустимой концентрация 0,5 мг/л при использовании сульфатного процесса [7].

Таблица 2.2.4.6: Требования к сбросу сточных вод от производства пигментов из диоксида титана перед смешиванием (заимствовано из [7] и [10])

		Хлоридный процесс	Сульфатный процесс
		Квалифицированная проба или двухчасовая составная проба	
Свинец	кг/т	0,005	0,03
Кадмий	г/т	0,2	2
Хром, общий	кг/т	0,01	0,05
Медь	кг/т	0,01	0,02
Никель	кг/т	0,005	0,015
Ртуть	г/т	0,1	1,5

2.3 Городские (хозяйственно-бытовые) сточные воды

2.3.1 Требования и мониторинг в Германии

В Германии требования к сбросу городских (хозяйственно-бытовых) сточных вод, перечисленные в Таблица 2.3.1.1, классифицируются по размеру очистных сооружений (от SC 1 до SC 5) в соответствии с Приложением 1 Постановления о сточных водах (AbwV 2016). Следует отметить, что определение размерного класса очистных сооружений, с помощью эквивалентов по населению и классу размеров для конкретных нагрузок, характерно для Германии, и, как правило, не используется в других странах [1].

Таблица 2.3.1.1: Требования к городским сточным водам согласно Постановлению о сточных водах Германии (заимствовано из [1] и Приложения 1 [10])

Категория размерного класса	Эквивалентно предельному уровню сбросов БПК, 60	ХПК	БПК ₅	NH ₄ -N ^{*)}	N _{неорг.} ^{*)}	P
	л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
1: <60 кг/сут БПК ₅	< 1000	150	40	-	-	-
2: 60–300 кг/сут БПК ₅	1000–5000	110	25	-	-	-
3: >300–600 кг/сут БПК ₅	> 5000–10000	90	20	10	-	-
4: >600–6,000 кг/сут БПК ₅	> 10000–100000	90	20	10	18**)	2
5: >6000 кг/сут БПК ₅	>100 000	75	15	10	13**)	1
ПРИМЕЧАНИЯ ^{*)} Требования к NH ₄ -N и N _{неорг.} применяются при температуре сточных вод ≥12 °С. Вместо 12 °С может также применяться ограничение по времени с 1 мая по 31 октября. ^{**)} Более высокая концентрация до 25 мг/л может быть разрешена для N _{неорг.} (= NH ₄ -N + NO ₃ -N + NO ₂ -N) в разрешении органа водного надзора, если снижение общей азотной нагрузки составляет ≥70 %.						

Различные приложения к Постановлению о сточных водах AbwV регулируют отдельные требования для разных отраслей. Свод правил DWA M 115-2 предоставляет дополнительные нормативные значения качества небытовых сточных вод, сбрасываемых в городские канализационные системы.

В Германии параметры стоков от очистных сооружений определяются на основе двухчасовых усредненных проб или квалифицированных разовых проб (усредненная проба состоит как минимум из 5 разовых проб, отобранных и смешанных за период не более 2 часов с интервалами не менее 2 минут) [1].

Что касается соблюдения требований, в Германии применяется «правило 4 из 5» (раздел 6 (1) Постановления о сточных водах): требования по очистке считаются выполненными, если результаты пяти последних государственных проверок не превышают соответствующее значение в четырех случаях, и ни один результат не превышает значение более, чем на 100 % [1].

Для предприятий, отводящих сточные воды непосредственно в водный объект, применяется следующее:

- Отбор проб
 - Квалифицированная проба: «усредненная проба, состоящая из не менее пяти проб, отобранных и смешанных с интервалами не менее двух минут в течение периода не более двух часов»,
 - Двучасовая усредненная проба,
 - Средние суточные, месячные или годовые значения в данном случае не актуальны.

- Государственный контроль
 - Отбор проб без предупреждения,
 - Правило 4 из 5: 4 из последних 5 результатов не должны превышать предельное значение, и ни одно значение не должно превышать предельное значение на 100 %,
 - Существуют особые правила для отдельных промышленных секторов (например, кг ХПК/т продукта).
- Производственный экологический контроль
 - Производственный реестр сточных вод и производственный журнал должны вести все предприятия,
 - Определённым промышленным источникам необходимо также готовить годовой отчёт,
 - Параметры, частота отбора проб и оценка результатов чётко регламентированы.

2.3.2 Требования и мониторинг в Европейском Союзе

Согласно Европейской Директиве по очистке городских сточных вод 91/271/ ЕЕС, городские очистные сооружения должны соответствовать требованиям в Таблице 2.3.2.1.

Таблица 2.3.2.1: Требования к сбросам из городских канализационных систем согласно Европейской Директиве 91/271/ЕЕС (заимствовано из [1] и [16])

Параметр	Концентрация	Минимальное процентное снижение
БПК ₅	25 мг/л	От 70 % до 90 %
ХПК	125 мг/л	75 %
DM (сухое вещество)	35 мг/л*) в горных районах выше 1 500 м над уровнем моря: 60 мг/л для эквивалента по населению от 2 000 до 10 000, 35 мг/л для эквивалента по населению более 10 000.	90 %*) в горных районах выше 1500 м над уровнем моря: 70 % для эквивалента по населению от 2 000 до 10 000, 90 % для эквивалента по населению более 10 000.
ПРИМЕЧАНИЕ *) Требование DM (по сухому веществу) не является обязательным.		

Должно применяться либо значение концентрации, либо процентное снижение, связанное с нагрузкой притока. Сбросы в экологически неустойчивые зоны, где происходит эвтрофикация (заболачивание), должны дополнительно соответствовать требованиям к параметрам в Таблице 2.3.2.2.

Таблица 2.3.2.2: Требования к сбросам из городских канализационных систем в экологически неустойчивых районах в соответствии с Европейской Директивой 91/271/ЕЕС (заимствовано из [1] и [16])

Параметр	Концентрация	Минимальное процентное снижение
$N_{\text{общ}}^*) (= KN + NO_2-N + NO_3-N)$	15 мг/л для эквивалента по населению от 10 000 до 100 000, 10 мг/л для эквивалента по населению более 100 000.	От 70% до 80% как среднегодовое значение проб или 20 мг/л как среднесуточное значение
$P_{\text{общ.}}$	2 мг/л для эквивалента по населению от 10 000 до 100 000, 1 мг/л для эквивалента по населению более 100 000.	80 % как среднегодовое значение проб
ПРИМЕЧАНИЕ *) Требование к $N_{\text{общ.}}$ применяется при температуре сточных вод ≥ 12 °C. Вместо температуры также можно указать ограничение по времени, учитывающее региональные климатические условия		

Параметры сброса определяются в соответствии с Европейской Директивой на основе 24-часовых проб, пропорциональных сбросу или времени (суточных усредненных проб). Для мониторинга сбросов компетентные органы отбирают установленное минимальное количество ежегодных проб в соответствии с размером установки следующим образом:

- 2000–9999 Е: 12 проб в 1-й год, 4 пробы в последующие годы, если сточные воды соответствуют нормативам в 1-й год; если одна из 4 проб превышает предельное значение, в следующем году необходимо взять 12 проб,
- 10 000–49 999 Е: 12 проб,
- $\geq 50 000$ Е: 24 пробы [1].

Согласно Директиве, требования к очистке считаются выполненными, если:

- а) для параметров, перечисленных в Таблица 2.3.2.2, установленные требования нарушает не более, чем разрешённое количество проб, указанное в Таблица 2.3.2.3,
- б) для параметров, указанных в Таблица 2.3.2.1 и выраженных в значениях концентрации, отклонения не превышают 100 % при нормальных условиях эксплуатации (взвешенные вещества: 150 %),
- в) для параметров, указанных в Таблица 2.3.2.2, среднегодовое значение проб не превышает соответствующего значения [1].

Таблица 2.3.2.3: Допустимое количество проб с отклонениями согласно Европейской Директиве 91/271/ЕЕС (заимствовано из [1] и [16])

Количество проб, взятых в течение одного года	Максимальное количество проб, для которых допускаются отклонения
4 – 7	1
8 – 16	2
17 – 28	3
29 – 40	4
41 – 53	5
54 – 67	6
... ..	

2.4 Промышленные сточные воды

2.4.1 Требования к предприятиям, отводящим сточные воды непосредственно в водный объект, на примере молочной промышленности

Приложение 3 к Постановлению о сточных водах AbwV применяется к сточным водам, загрязняющая нагрузка которых возникает в основном при доставке, транспортировке или переработке молока и молочных продуктов, причём эта нагрузка возникает на молокоперерабатывающих предприятиях, молочных заводах, сыроварнях и других предприятиях такого типа. Оно не применяется к сточным водам от молокоперерабатывающих заводов с загрязняющей нагрузкой в неочищенных сточных водах менее 3 кг БПК₅ в сутки, из систем непрямого охлаждения и из систем очистки технологической воды [10].

К сточным водам для точки сброса в водоём предъявляются следующие требования:

Таблица 2.4.1.1: Требования к прямому сбросу для молочной промышленности (заимствовано из [10])

Параметр	Квалифицированная разовая проба или двухчасовая смешанная проба (мг/л)
Биохимическая потребность в кислороде за 5 дней (БПК ₅)	25 ^я
ХПК	110
Аммиачный азот (NH ₄ -N)	10
Азот как сумма аммонийного, нитритного и нитратного азота (N _{общ.})	18 ^я
Общий фосфор	2

Требования к аммонийному азоту и общему азоту применяются к температуре сточных вод 12 °C и выше на выходе из биологического реактора очистных сооружений и при условии, что общая нагрузка неочищенного азота, на которой основано разрешение органа водного надзора, составляет более 100 кг в сутки. Более высокая концентрация для общего азота до 25 мг/л может быть одобрена в разрешении, если снижение общей азотной нагрузки составляет не менее 70 %. Это снижение относится к соотношению азотной нагрузки на входе и азотной нагрузки на выходе в репрезен-

тативный период времени, который не должен превышать 24 часов. Для нагрузок [10] в качестве основы расчета должен использоваться общий связанный азот (TN_b).

Требование к общему содержанию фосфора применяется, если общая нагрузка неочищенного фосфора, на которой основано разрешение органа водного надзора, превышает 20 кг в день [10].

Если проба явно окрашена водорослями в прудовых системах, которые рассчитаны на время удержания 24 часа и более и для которых суточный объём сточных вод, являющийся основой для разрешения органа водного надзора, не превышает 500 м³, ХПК и БПК₅, следует определять по пробе без водорослей. В этом случае значения, указанные в пункте 1 Постановления о сточных водах AbwV для ХПК, уменьшаются на 15 мг/л, а для БПК₅ — на 5 мг/л [10].

До смешивания сточных вод с другими сточными водами, то есть к непрямым сбросам не предъявляется никаких дополнительных требований [10].

3 Методы очистки сточных вод

3.1 Городские сточные воды

На городских очистных сооружениях удаление углерода и азота в основном осуществляется на этапе биологической очистки. Различные цели очистки могут достигаться с помощью соответствующих процессов, таких как резервуары с активным илом, биофильтры, анаэробные и прудовые системы для сточных вод.

Таблица 2.4.1.1: Достижение целей очистки с помощью выбранных процессов очистки сточных вод (заимствовано из [1])

Технологический процесс	Удаление С	Удаление N	
		Нитрификация	Денитрификация
Активный ил	X	X	X
Биофильтр	X	X	(X)
Анаэробные процессы (например, анаэробный слой осадка в восходящем потоке или UASB)	(X)		
Прудовые системы для сточных вод	X	(X)	

В дополнение к требуемым целям очистки выбор технологического процесса для очистных сооружений и их проектирования в промышленно развитых странах основывается главным образом на критериях эксплуатационной безопасности, низкой численности персонала, компактных размерах и т. д., и, таким образом, неизбежно приводит к строительству высокотехнологичных установок с широким использованием технологий автоматизации и дистанционного управления [1].

Если биологический этап очистки должен соответствовать требованиям, которые не могут быть выполнены с помощью одного процесса, требуется комбинация процессов. В случае прогнозируемого повышения требований к степени очистки, это необходимо учитывать заранее, например, в случае установки, изначально спроектированной только для удаления углерода, которая с повышением требований должна быть модернизирована для целей удаления азота. Соответствующее концептуальное и плановое рассмотрение этого подхода является обязательным уже для первого этапа расширения мощностей. Определение масштабов отдельных этапов технологической цепочки требует расчёта объёма стоков предыдущих этапов в качестве входных значений для последующего процесса [1].

3.2 Промышленные сточные воды

Вода характеризуется множеством важных химических и физических свойств, которые промышленность использует в различных производственных процессах. Соответственно, промышленные сточные воды загрязнены несколькими различными веществами.

Чтобы удалить эти загрязнители из промышленных сточных вод, почти всегда необходимо использовать комбинации процессов. Особое место занимают химико-

физические методы, поскольку в производственном процессе используются не разлагающиеся биологически вещества, попадающие в сточные воды.

3.2.1 Химико-физические и термические процессы

Таблица 3.2.1.1 предоставляет обзор различных процессов очистки сточных вод, загрязнённых неорганическими веществами, и их предполагаемых применений. Ниже описаны отдельные процессы, их преимущества и недостатки.

Таблица 3.2.1.1: Обзор подходящих процессов для удаления компонентов сточных вод (заимствовано из [7])

Загрязнение Технологический процесс	Твёрдые вещества	Тяжёлые металлы	Сульфаты, фосфаты	CN, Cr ⁶⁺ , NO _x , As	Ионы	Газы	Красители	Масла/жиры	Огнеупорные органические вещества	АОГ (адсорбируемые органические галогены)
Ионный обмен										
Окисление (например, передовые технологии окислительной обработки воды)										
Детоксикация										
Осаждение, флокуляция										
Электролиз										
Адсорбция (активированный уголь)										
Седиментация										
Флотация										
Центробежная сепарация (гидроциклон)										
Глубинная фильтрация										
Микрофильтрация										
Ультрафильтрация										
Нанофильтрация										
Обратный осмос										
Электродиализ										
Экстрагирование										
Дистилляция/ректификация										
Термолиз/гидролиз										
Выпаривание										
Отгонка										

Загрязнение:	Твёрдые вещества	Неорганические вещества	Органические вещества
Тип процесса:	Химический	Физический	Тепловой
Применимость:	Пригодный	Ограниченная пригодность	Возможный побочный эффект
	Непригодный		

Осаждение, флокуляция

Комбинируемые процессы осаждения и флокуляции широко используются при очистке промышленных сточных вод и преимущественно используются для удаления (тяжёлых) металлов и взвешенных веществ [7].

Осаждение используется для перевода растворённых в воде ионов в нерастворимую форму. Анионы селективно добавляются к положительно заряженным ионам металлов для получения солей с наименьшей возможной растворимостью. Гидролитическое осаждение проводится в щелочных условиях с использованием извести или каустической соды [7].

Поскольку скорость осаждения увеличивается или уменьшается экспоненциально с увеличением радиуса, осадки должны соединяться в хлопья, чтобы в большинстве случаев можно было эффективно отделить их от воды [7].

Ионный обмен

При очистке промышленных сточных вод ионный обмен может использоваться для удаления ионных соединений из сточных вод, таких как неорганические металлические катализаторы, или в качестве второго этапа удаления тяжёлых металлов после осаждения. Удаление солей органических кислот возможно также путём регулирования соответствующего значения pH. Выбор регенерирующего агента, а также управление процессом (противоточный или прямоточный, с неподвижным или плавающим слоем, одноступенчатый или многоступенчатый) являются дополнительными параметрами процесса ионного обмена. Если извлечение соответствующего отделённого вещества не происходит, процесс ионного обмена представляет собой просто процесс разделения, с помощью которого сточные воды концентрируются, по аналогии с мембранными процессами [7].

Таким образом, решающим фактором для процесса ионного обмена является не только практически полезная ёмкость, но и эффективность регенерации с точки зрения количества и типа используемого регенерирующего агента [7].

Детоксикация токсичных неорганических соединений

Некоторые неорганические ионы высокотоксичны при определённых валентностях, или не могут осаждаться, или могут осаждаться с большим трудом, поэтому их необходимо восстанавливать или окислять подходящими восстановителями или окислителями [7].

Окисление органических соединений

Процессы окисления являются важной частью предварительной очистки сточных вод в промышленности для снижения токсичности сточных вод или повышения их способности к биологическому разложению. Практически востребованными окислителями являются кислород (требующий более высокой температуры и/или катализа), пе-

рекись водорода (также каталитическая/активированная) и озон, возможно объединённые в так называемых усовершенствованных процессах окисления, а также электрический ток. Для всего вышеперечисленного эффективность в решающей степени зависит от структуры органических веществ. Ароматические соединения, как правило, легко окисляются, тогда как низкомолекулярные кислоты и спирты окисляются с трудом. В случае ароматических соединений на окисляемость также влияет заместитель [7].

Электролиз

Движущей силой процесса электролиза является приложенное электрическое поле. Преимущество заключается в предотвращении засоления. Недостатки — высокая потребность в энергии и чувствительность к интерферирующим веществам, особенно твёрдым. Посредством электролиза практически растворённые катионы металлов отделяются от высококонцентрированных растворов на катоде и, таким образом, восстанавливаются. Из-за высоких требований к процессу и его стоимости этот процесс в основном используется для извлечения цветных и драгоценных металлов из высококонцентрированных растворов [7].

Флотация

В случае примесей, которые плохо осаждаются или не осаждаются совсем, но образуют пузырьки газа или даже всплывают, рекомендуется отделять вещества с помощью флотации. При этом в сточные воды попадают мелкие пузырьки газа, которые прикрепляются к примесям и уменьшают свою плотность до такой степени, что собираются на поверхности и могут с ней удаляться [7].

Центробежная сепарация гидроциклоном

Гидроциклоны — это статические сепараторы твёрдых веществ и свободных капель масла. Движущей силой является разница в плотности с водой. При прохождении через тангенциальное входное отверстие создаётся вращающийся поток, в результате чего тяжёлая фракция отбрасывается о стенку циклона центробежным ускорением и покидает сужающийся выходной бункер в качестве нижнего продукта, в то время как более лёгкая фракция выходит из системы в головке циклона в виде слива верхнего продукта. Твёрдые частицы диаметром от 5 мкм до 0,5 мм могут отделяться с помощью гидроциклонов особенно энергоэффективно [7].

Адсорбция активированным углем

Обработка активированным углем — один из наиболее широко используемых процессов (предварительной) очистки сточных вод от органических соединений, особенно с ароматической структурой. В этом процессе удаление основано на адсорбции на активированном угле, который характеризуется очень большой площадью внутренней поверхности (часто до 1000 м²/г), распределённой в широко разветвлённой пористой структуре различного диаметра [7].

Для простой очистки сточных вод в промышленности тип активированного угля часто не имеет решающего значения; здесь решающим соображением является экономическая оптимизация. Для специальных веществ или при использовании активированного угля в контурах от типа угля может зависеть целесообразность применения. Важна не только адсорбция, но и элюирование возможных интерферирующих веществ, таких как железо, из активированного угля. В частности, на адсорбцию также может влиять значение pH [7].

Глубинная фильтрация

Для отделения твёрдых веществ, которые нельзя экономично отделить седиментацией или флотацией из-за их небольшого диаметра или отличия по плотности от воды, ча-

сто используются пространственные фильтры. Сточные воды проходят через наполнитель, обычно песок или гравий, расположенный на опорном слое, в фильтрующем устройстве. Твёрдые частицы проникают глубоко в фильтрующий слой и удаляются из потока воды за счёт адгезии [7].

В этом процессе проточные каналы постепенно уменьшаются, но не исчезают. Перепад давления увеличивается. Поскольку эффективная площадь фильтрации может быть очень большой за счёт внутренней поверхности, пространственные фильтры могут удерживать большое количество твёрдых частиц. Для реализации эффективной глубинной фильтрации особенно важен выбор подходящего размера частиц [7].

Седиментация

Седиментация или осаждение на сегодняшний день является наиболее экономичным методом отделения твёрдых частиц от сточных вод. Поэтому при очистке сточных вод прилагаются значительные усилия для преобразования загрязняющих веществ в твёрдые частицы, а затем для удаления их из воды под действием силы тяжести. Существует множество различных конструкций, адаптированных к задачам разделения и пространственным условиям. Обязательное условие — достаточно высокая плотность и размер твёрдых частиц [7].

Мембранная фильтрация

Достаточно хорошо известные процессы мембранной фильтрации относятся к физическим процессам, приводимым в действие давлением, которые используют селективность тонкой, мелкопористой или полупроницаемой мембраны для разделения подаваемого потока на концентрат, насыщенный удерживаемыми компонентами, и пермеат или фильтрат, лишённый этих компонентов. При прохождении через мембрану компоненты не изменяются [7].

Мембранные процессы в основном используются в сочетании с другими технологическими этапами. Прежде всего, процессы отделения твёрдых частиц регулярно используются в качестве предварительной обработки, чтобы предотвратить засорение мембран [7].

Микрофильтрация и ультрафильтрация

Эти два процесса, характеризующиеся использованием пористых мембран, применяются для разделения твёрдых веществ, коллоидов или органических макромолекул. Они различаются только размером пор мембран. Обычно мембраны для микрофильтрации имеют поры $> 0,1$ мкм, в то время как мембраны для ультрафильтрации имеют меньшие поры или пределы разделения от 1 000 до 100 000 дальтон [7].

Нанофильтрация

Нанофильтрация используется для разделения растворённых молекул с молярной массой > 200 г/моль и двухвалентных или многовалентных ионов и для разделения их в виде концентрата, когда вода проникает через закрытую мембрану вместе с одновалентными ионами. По этой причине для нанофильтрации требуется более низкое давление, чем для обратного осмоса, и поэтому её предпочтительно использовать, когда в концентрате остаются ценные вещества [7].

Обратный осмос

Обратный осмос удерживает практически всё содержимое воды в не растворённой и растворённой форме. Через мембрану проходит только вода. Таким образом, фильтрат характеризуется высокой степенью чистоты, и именно поэтому обратный осмос рекомендуется использовать при получении воды из потоков сточных вод, которые в основном не содержат твёрдых частиц. При этом обратный осмос — это стандарт-

ный процесс, обычно в конце технологической цепочки, которая часто включает биологический этап и микро- или ультрафильтрацию [7].

Экстрагирование

При экстрагировании вещество или смесь веществ удаляют из воды за счёт их более высокой растворимости в экстракционном агенте. Во время протекания этого процесса на коэффициент распределения некоторых веществ может влиять соответствующее значение pH (например, в случае фенолов и аминов) или химическая реакция (реактивная экстракция). Отделение вещества от экстрагента осуществляется фазовым разделением и дистилляцией [7].

Электродиализ

При электродиализе ионы отделяются друг от друга в зависимости от их заряда катионообменными или анионообменными мембранами с помощью электрического поля. Таким образом, через мембраны проникают заряженные частицы, а не вода. Конструкция при этом основана на стопках анионо- и катионообменных мембран, а неочищенный раствор вводится в каждое пространство между мембранами. Катионообменные мембраны пропускают катионы и задерживают анионы. Соответственно, через анионообменные мембраны могут проходить анионы, но не катионы. Это приводит к чередованию потока обогащённого солями концентрата и опреснённой воды [7].

Термолиз/гидролиз

Различные органические соединения разлагаются при более высоких температурах и соответствующих значениях pH (в основном щелочных) и, таким образом, могут терять свою токсичность или приобретать способность к биологическому разложению. Стандартные рабочие условия: время пребывания от одного до трёх часов и температура 150 °C - 320 °C при соответствующем давлении от 5 до 120 бар. Температура поддерживается за счёт рекуперации тепла, входа/выхода и компенсации разницы температур с помощью пара (непрямое или прямое вдувание пара) или термомасла, а также охлаждения на выходе [7].

Дистилляция/ректификация

Этот процесс термического разделения часто используется для разделения растворителей и воды. Следует попытаться запустить процесс таким образом, чтобы можно было повторно использовать отделённый легкокипящий агент [7].

Отгонка

Вещества с подходящими коэффициентами распределения газа/воды могут удаляться из воды с помощью газообразного реактива, которым часто является воздух или пар. В случае отдувки воздухом поток отработанного газа должен очищаться, а остаточное вещество обычно утилизируется. С другой стороны, при отгонке паром, которую также можно рассматривать как упрощённый процесс дистилляции, часто имеется возможность утилизировать конденсат. Отгонка используется, в частности, для хлорированных низкомолекулярных растворителей, таких как дихлорметан, тетрахлорметан, дихлорэтан или перхлорэтан [7].

Выпаривание

В случаях, когда обратный осмос больше не применим из-за чрезмерной концентрации солей или не может использоваться из-за очень кислых или щелочных значений pH, для дальнейшего концентрирования используется испарение. При этом процессе вода обычно испаряется при отрицательном давлении на поверхностях теплообменника и собирается в виде конденсата на другой стороне теплообменника. Многоступенчатый режим работы и соответствующая рекуперация тепла снижают удельную

потребность в энергии. В качестве альтернативы для этой цели можно использовать механическое повторное сжатие паров [7].

3.2.2 Биологические процессы

Промышленные сточные воды, загрязнённые органическими веществами, обычно подвергаются биологической очистке, при которой в зависимости от концентрации, температуры и требований используются как анаэробные, так и аэробные процессы и комбинации обоих процессов, также в сочетании с химико-физической очисткой [7].

Основное преимущество анаэробных процессов заключается в том, что аэрация не требуется, образуется значительно меньше избыточного ила, а из углерода, содержащегося в сточных водах, можно производить биогаз. В этом отношении вместо того, чтобы расходовать энергию для аэрации при аэробной биологической очистке, при анаэробной очистке производится высокоэнергетический биогаз. Основным недостатком анаэробных процессов является то, что, как правило, очистка не выполняется до качества прямого сброса, и азот в сточных водах остаётся в виде аммонийного азота. Далее будут представлены различные аэробные и анаэробные процессы [7].

Аэробные биологические процессы

Аэробный процесс с использованием активного ила

Термин «процесс с использованием активного ила» относится к биологической очистке сточных вод с использованием взвешенных микроорганизмов (активный ил), которые способны образовывать хлопья, оседать и могут обогащаться в системе в результате рециркуляции. Непрерывный процесс с использованием активного ила подразумевает использование аэрационного бассейна, вторичного отстойника, оборудования для рециркуляции ила и удаления избыточного ила. Если на установке необходимо также азот, требуется зона или время для денитрификации, а в случае денитрификации до установки требуется внутренний возвратный поток [7].

Последовательно-циклический реактор (ПЦР/SBR)

Процесс в последовательно-циклическом реакторе — это процесс периодического действия, в котором используется взвешенный активный ил. В этом процессе производится циклическое наполнение, аэрация, перемешивание, осаждение и декантация одного или нескольких резервуаров. Отдельный вторичный отстойник и линия возврата ила не требуются. Эта система может иметь преимущества с точки зрения инвестиций и эксплуатации, особенно для небольших промышленных предприятий [7].

Процесс в мембранном биореакторе

Мембранные биореакторы (МБР) используются с 1990-х годов на различных участках очистки городских и промышленных сточных вод. Однако следует различать устанавливаемые погружные и сухие модули [7].

Мембраны часто устанавливаются как мембраны для микро- или ультрафильтрации в пластинчатых или полых волокнистых модулях. В настоящее время используются в основном синтетические полимерные мембраны, такие как мембраны из полисульфона (PSU), полиэфирсульфона (PES), полиамида (PA), полипропилена (PP), поливинилиденфторида (PVDF) и полиакрилонитрила (PAN), а также неорганические мембраны [7].

Мембранные процессы требуют неизменно хороших характеристик фильтрации из-за сложных гидравлических условий при пиковых нагрузках. Им могут мешать процессы засорения и образования накипи. Засорение — это накопление на мембране органических веществ из активного ила. В результате это приводит к долгосрочному снижению проницаемости мембраны. Вещества, вызывающие засорение, могут накапливаться на порах

мембраны или в них и могут приводить к полному или частичному закупориванию пор, или же накапливаться на поверхности мембраны и образовывать там гелевый слой (биоплёнку). Проблема загрязнения снижается за счёт контроля работы мембраны [7].

Биоплёнка

Биоплёночные процессы используются как при аэробной, так и при анаэробной очистке промышленных сточных вод. В зависимости от процесса материалы, используемые для поддержки биоплёнки, представляют собой полимерные материалы (ПВХ, ПЭ), гравий, спечённое стекло, антрацит, сланец, кокс, базальт и кварцевый песок с размером зерна 0,5-4 мм (исключение: капельные фильтры до 80 мм). Удельная площадь поверхности составляет примерно от 70 до 200 м²/м³ для неподвижных слоёв и до 6000 м² для псевдооживленных слоёв (исключение: спечённое стекло до 30 000 м²/м³) [7]).

Удаление азота в процессах нитрификации/денитрификации или деаммонификации

В процессах удаления азота особый интерес представляют сточные воды или частичные потоки с высоким содержанием азота и низким содержанием углерода (низкие соотношения C/N). Альтернативой классической нитрификации/денитрификации является нитрификация/денитрификация, при которой азот окисляется до нитрата не полностью, а только до нитрита и снова восстанавливается [7]. Существуют также процессы деаммонификации (частичная нитрификация и анаэробное окисление аммония).

Аэробные грануляты

Это один из новейших процессов аэробной обработки. Преимущество использования аэробных гранулятов заключается, с одной стороны, в увеличении плотности биомассы и, как следствие, уменьшении требуемого объёма по сравнению с процессом с использованием активного ила. Биомасса способна очень хорошо оседать, что позволяет удерживать её в реакционном резервуаре, так что отдельного вторичного осаждения не требуется [7].

Анаэробные биологические процессы

Из-за явных преимуществ в энергетическом балансе и производстве осадка анаэробные процессы используются сегодня для многих промышленных сточных вод, загрязнённых органическими веществами. Анаэробные реакторы используются для очистки таких сточных вод в Германии с начала 1980-х годов. Применение анаэробных процессов очистки сточных вод первоначально ограничивалось сточными водами с ХПК от 1500 до 40 000 мг/л от пищевой промышленности (предприятия по производству сахара, крахмала, дрожжей, плодоовощные предприятия, пивоварни, ликёроводочные заводы, молочные заводы, переработка зерновых), а также сточными водами целлюлозно-бумажной промышленности или предприятий по переработке отходов. Однако с тех пор анаэробные процессы всё чаще стали использоваться и в других отраслях промышленности, например, в химической и фармацевтической промышленности, а также для сточных вод, загрязнённых неорганическими веществами [7].

Существенным критерием классификации анаэробных технологических процессов является тип обогащения биомассы. Если биомасса обогащается в виде хлопьев, в реакторе можно получить концентрацию биомассы до 5-12 кг сухого вещества/м³. Если биомасса обогащается на материале-носителе, могут быть достигнуты концентрации биомассы до 20 кг сухого вещества/м³. Наивысшая концентрация биомассы до 50-80 кг сухого вещества/м³ может быть получена в иловом слое реакторов с гранулированным илом [7].

Помимо упомянутых выше реакторов, существуют модифицированные системы и гибридные реакторы. При этом наиболее часто используемыми типами реакторов явля-

ются реакторы с анаэробным слоем осадка в восходящем потоке и реакторы с расширенным слоем гранулированного ила. На их долю приходится более 50 % процессов, используемых при очистке промышленных сточных вод в Германии [7].

Области применения

Анаэробный процесс с использованием активного ила может применяться практически во всех отраслях промышленности, хотя при этом достигаются очень низкие объёмные нагрузки — 2-6 кг ХПК/(м³*сут) по сравнению с другими типами реакторов. Из-за нечувствительности к твёрдым веществам и общей устойчивости анаэробный процесс с активным илом является наиболее часто используемым типом реактора на немецких сахарных заводах (высокое содержание кальция) [7].

Реакторы с неподвижным слоем катализатора используются во многих отраслях промышленности и в широком диапазоне нагрузок. Реакторы с анаэробным слоем осадка в восходящем потоке и реакторы с расширенным слоем гранулированного ила вместе с реакторами с псевдоожиженным слоем имеют самые высокие объёмные нагрузки. Анаэробный мембранный процесс гораздо менее популярен, чем аэробный [7].

Одно- и двухэтапные процессы

Метаногены в сочетании с ацетогенными бактериями могут использовать в качестве субстратов только органические кислоты (муравьиную кислоту и уксусную кислоту), а также CO₂, H₂ и метанол. Недавние исследования выявили так называемый третий способ, которым метан производится из бетаинов сахарной свёклы через триметиламин метилотрофными анаэробными бактериями. В большинстве случаев гидролиз и ацидификация компонентов сточных вод являются необходимым условием для хорошей анаэробной очистки. Это справедливо, независимо от того, отделены ли гидролиз и ацидификация пространственно от метанового этапа (2-этапный процесс) или имеется только один реактор (1-этапный процесс) [7].

Состав и свойства биогаза

Биогаз, образующийся при обработке сточных вод с высоким содержанием органических веществ, представляет собой смесь основных компонентов метана (CH₄), диоксида углерода (CO₂) и незначительных количеств азота (N₂), кислорода (O₂), сероводорода (H₂S) и следов других веществ. В принципе, состав биогаза зависит от состава разложившегося субстрата — в частности, от соотношения жиров, углеводов и белков. Теоретический выход метана на кг разложившегося ХПК составляет прилб. 0,32 м³/кг после вычета ХПК, включённого в выход биомассы; общее количество биогаза на кг разложившегося ХПК затем рассчитывается на основе содержания метана в биогазе. Эмпирические значения удельного выхода биогаза в различных отраслях промышленности представлены в Таблице 3.2.1.1 [7].

Таблица 3.2.2.1: Результаты работы промышленных биогазовых установок (заимствовано из [7])

Происхождение сточных вод (промышленность)	Удельная нагрузка загрязняющих веществ	Снижение ХПК	Выход газа	Концентрация CH ₄ в газе
	кг ХПК/Мг прод.	%	м ³ CH ₄ /кг ХПК _в	% об.
Сахарная промышленность	6 – 8	70 – 90	0,24 – 0,32	65 – 85
Производство крахмала				

Происхождение сточных вод (промышленность)	Удельная нагрузка загрязняющих веществ	Снижение ХПК	Выход газа	Концентрация CH_4 в газе
	кг ХПК/Мг прод.	%	$\text{м}^3 \text{CH}_4/\text{кг ХПК}_в$	% об.
Картофельный крахмал	30 – 40	75 – 85	0,26 – 0,30	75 – 85
Промышленность по переработке мелассы (включая заводы по производству мелассы)	180 – 250	60 – 75	0,21 – 0,26	60 – 70
Пшеничный крахмал	100 – 120	80 – 95	0,28 – 0,33	55 – 65
Кукурузный крахмал	8 – 17	80 – 90	0,28 – 0,32	65 – 75
Экстракция пектина	–	75 – 80	0,26 – 0,28	50 – 60
Картофельные водочные заводы	50 – 70	55 – 65	0,19 – 0,23	65 – 70
Переработка картофеля	15 – 25	70 – 90	0,24 – 0,32	70 – 80
Спиртозаводы, перерабатывающие кукурузу	180 – 200	55 – 65	0,19 – 0,23	65 – 70

Особое внимание следует уделять содержанию сероводорода при переработке; это зависит от соотношения $\text{ХПК}/\text{SO}_4$ и может привести к проблемам во время анаэробной очистки. В любом случае следует проверить, необходима ли десульфуризация биогаза перед его использованием [7].

3.2.3 Управление водооборотным циклом (повторное использование/рециркуляция воды)

В Германии промышленность использует большую часть пресной воды. Ежегодно потребляется почти 19 миллиардов кубометров пресной воды, из которых более 91 % по-прежнему используется однократно. На холодильные установки приходилось почти 89 % от общего объёма используемой воды, в то время как 8–9 % использовались на производственные цели и около 2 % — для орошения и для нужд персонала. На энергоснабжение, доля которого составляет более 62 %, приходится наибольший спрос на воду, а на обрабатывающую промышленность — почти 28 %. Крупными индивидуальными потребителями в Германии являются, например, химическая промышленность, производство стали и производство бумаги и картона [7].

Из-за высокого спроса на воду и растущей нехватки природных водных ресурсов концепции управления водооборотным циклом в промышленном производстве разрабатываются и внедряются по всему миру. Фактическое наличие воды и её качество в разных местах сильно различаются. Несмотря на то, что по всей стране обеспечена достаточная безопасность снабжения, в Германии имеются также вододефицитные районы с ограниченными ресурсами грунтовых вод или с проникновением солёной воды. Следовательно, управление циклом воды (водоборотом) может иметь различные мотивации:

- охрана участков с ограниченными водными ресурсами или правами на забор воды,
- получение разрешений на расширение мощностей завода или строительство нового завода с учётом требований водосбережения,
- приверженность целям устойчивого развития ООН,
- предотвращение или снижение затрат на добычу пресной воды, её очистку и очистку сточных вод,
- охрана ресурсов и восстановление продуктов из водных стоков производственных предприятий [7].

Водопользование может быть интегрировано в производство, внутри компании, между различными производственными компаниями или даже между различными секторами водной инфраструктуры (промышленными, муниципальными, сельскохозяйственными) [7].

Организационные и правовые аспекты в межфирменных или межотраслевых циклах важны для успеха мер по экономии воды, предпринимаемых юридически независимыми подразделениями в дополнение к соответствующим технологиям очистки [7].

Повторное использование и рециркуляция воды

При многократном использовании воды различают рециркуляцию и повторное использование, которое может происходить напрямую или с промежуточной очисткой [7].

Рециркуляция уже использованной воды основана на возобновлении использования воды в том же процессе или для той же цели. Повторное использование, с другой стороны, преследует цель повторно использовать воду для другой цели или на другом этапе производства [7].

Возможности применения в промышленных замкнутых циклах или многократного использования очень широки:

- системы охлаждения с открытым или закрытым контуром,
- вода для промывки,
- уплотняющая вода,
- технологическая вода для подпитки котлов,
- техническая вода (включая сверхчистую или деминерализованную воду),
- инфраструктурные применения, например, в пожаротушении, при уборке улиц, использование сточных вод и орошение [7].

Требования и области применения промышленного водопользования зависят от отрасли, конкретных производственных процессов, а также от их целевых показателей эффективности. По этой причине невозможно обобщить требования к качеству оборотной воды, используемой в качестве технологической. Рассмотрение потенциальных потребителей и требуемых качеств в каждом конкретном случае часто основывается на обследовании или программе оценки рисков для повторного использования воды, которая дополняется практическими испытаниями [7].

Например, при интегрированной в процесс промывке широкое распространение каскадов означает отсутствие необходимости в промежуточных этапах очистки. В производственных контурах охлаждения многократная рециркуляция обычно осуществляется с дозированием различных вспомогательных агентов, таких как стабилизаторы и биоциды. Когда комплексные технологические и производственные меры исчерпаны, многоступенчатая очистка промышленных сточных вод химреагентами может обеспечить как дальнейшее, так и повторное использование воды. С этой целью, в зависимости от предполагаемого использования,

применяются также ступенчатые технологические цепочки для производства воды «в соответствии с целевым назначением». Для таких сценариев использования необходимо также адаптировать дополнительную водную инфраструктуру, чтобы обеспечить целевое распределение произведённой воды среди потребителей по качеству. Немаловажно учесть связанные с этим затраты [7].

Нулевой сброс жидкости (ZLD)

В некоторых промышленных секторах и в странах с ограниченной доступностью воды нормативные требования приводят к реализации мер по замыканию водооборотных циклов и созданию бессточных производств (нулевой сброс жидкости — ZLD, например, при сухой окраске, в текстильной или бумажной промышленности). Концепции нулевого сброса жидкости также позволяют избежать риска загрязнения окружающей среды сбросами сточных вод и довести до максимума эффективность использования воды в промышленности, тем самым обеспечивая баланс между использованием ресурсов пресной воды и сохранением водной среды. Ввиду конкуренции при водопользовании со стороны других потребителей (сельское хозяйство, муниципалитеты), недостаточно развитой инфраструктуры муниципальных очистных сооружений и мощностей, высоких требований к качеству очищенных сточных вод или отсутствия водоприёмников, нулевой или минимальный сброс жидкости могут стать необходимыми мерами для дальнейшего экономического развития. Однако, как правило, это связано с потреблением энергии и технически сложными процессами с высокими затратами на очистку, которые необходимо оценивать с экономической точки зрения [7].

Концепции нулевого сброса жидкости активно применяются в Китае, Индии и США. В Индии в текстильной промышленности требуются установки с нулевым сбросом жидкости при ежесуточном объёмном расходе сточных вод $Q_{\text{сут}} > 25 \text{ м}^3$. Стандартные технологии включают предварительную очистку, биологическую очистку, обратный осмос и многоступенчатое выпаривание. Что касается отрасли углехимии/обогащения угля в Китае, установки с нулевым сбросом жидкости уже смонтированы или находятся на этапе планирования и строительства. Такие технологии охватывают широкий интервал концентраций солей в исходной воде от 2000 до 16 000 мг/л при одновременном значительном объёмном расходе от 110 до 2300 м³/ч. Также были разработаны и внедрены концепции для других вододефицитных регионов, например, в сфере производства солнечных батарей или удобрений [7].

4 Библиография

- [1] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “DWA-Themen: Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen,” DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2016.
- [2] DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., *DWA-Regelwerk: Arbeitsblatt DWA-A 131 Arbeitsblatt DWA-A 131*, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2016.
- [3] Emscher Wassertechnik GmbH, “Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet Abwasser – Validierung an technischen Anlagen (EXPOVAL),” BMBF, 2016.
- [4] M. Stürmer, “Validierung von Bemessungsempfehlungen anhand von Auslegungsdaten großtechnischer Abwasserbehandlungsanlagen (Masterarbeit),” Technische Universität Darmstadt, 2016.
- [5] G. Langergraber, J. Alex, N. Weissenbacher, D. Woerner, M. Ahnert, T. Frehmann, N. Halft, I. Hobus, M. Plattes, V. Spering and S. Winkler, “Generation of diurnal variation for influent data for dynamic simulation,” *Water Science & Technology*, vol. 57, no. 9, pp. 1483-1486, 2007.
- [6] ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., *ATV-DVWK Regelwerk: Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198 Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen*, ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., 2003.
- [7] K.-H. Rosenwinkel, U. Austermann-Haun, S. Köster and M. Beier, *Taschenbuch der Industrieabwasserreinigung*, Vulkan-Verlag GmbH, 2020.
- [8] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. -DWA, *DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 708 - Abwasser aus der Milchverarbeitung*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. -DWA, 2011.
- [9] Deutsches Nationalkomitee im internationalen Milchwirtschaftsverband - IDF, *Neues Faktenblatt des IDF. Salze und die Umwelt.*, IDF, 2012.
- [10] Abwasserverordnung - AbwV, *Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV)*, 2018.
- [11] Abwasserabgabengesetz - AbwAG, *Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG) Anlage (zu § 3)*, 2005.
- [12] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., *DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 115-1 Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers Teil 1: Rechtsgrundlagen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2013.
- [13] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., *DWA Regelwerk: Merkblatt DWA-M 115-2 Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers Teil 2: Anforderungen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2013.
- [14] ATV-DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., *ATV - DVWK - Regelwerk: Merkblatt ATV-DVWK-M 115-3 Indirekteinleitung nicht häuslichen Abwassers Teil 3: Praxis der Indirekteileiterüberwachung*, ATV DVWK Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2004.
- [15] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., “Anthropogene Spurenstoffe in Indirekteinleitungen – Bedeutung und Handlungsbedarf aus der Sicht der Abwasserbeseitigungspflichtigen,” Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., 2013.
- [16] European Commission, *Urban Waste Water Directive*, 1991/1998/2014.



Немецкое общество по международному сотрудничеству (ГИЦ) ГмбХ

Представительство в Москве
Николаянская, д. 50, стр. 1, офис 12
109004, Москва, Россия
Тел.: +7 495 926 15 78
giz-russia@giz.de
www.giz.de

Проект: «Климатически нейтральная хозяйственная деятельность:
внедрение НДТ в Российской Федерации»
www.good-climate.com



Электронная
версия публикации