



Е.И. Пупырев, доктор техн. наук, профессор, генеральный директор ОАО «МосводоканалНИИпроект»

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Энергоэффективность очистных сооружений – это сложное и комплексное понятие. Институт МосводоканалНИИпроект имеет большой опыт в проектировании очистных сооружений различного назначения: очистные сооружения природной воды для подготовки питьевой воды, а также очистные сооружения для хозяйственно-бытовых и промышленных стоков. До последнего времени энергоэффективности очистных сооружений не уделялось большого внимания, и это, в свою очередь, приводило к тому, что заказчики пытались в основном получить как можно более дешевые сооружения, не обращая внимания на их надежность и эксплуатационные характеристики.

Институтом были выбраны шесть основных критериев для оценки качества принятых проектных решений сооружений для очистки воды.

1. Удельные капитальные затраты на очистку воды, руб./м³.
2. Удельная площадь, занимаемая сооружениями, на единицу производительности, м²/м³.
3. Удельная установленная мощность, кВт · ч/м³.
4. Удельное ресурсо- и энергопотребление, г/м³ (реагенты) и кВт · ч/м³ (энергопотребление).
5. Удельная себестоимость произведенной воды, руб./м³.
6. Удельные эксплуатационные затраты, руб./м³.

Указанные критерии могут частично противоречить друг другу, но энергоэффективность в нашем понимании и, как об этом все чаще говорит заказчик, – это разумное сочетание значений этих критериев. Совсем не обязательно, что сооружения, которые будут потреблять очень мало электроэнергии, не обеспечат требуемого качества очистки воды. И совсем не обязательно, что сооружения, которые будут потреблять много

электроэнергии, будут очень хорошо очищать воду. А проектирование очистных сооружений, особенно по очистке сточной воды, – это, в значительной мере, искусство, потому что жестких правил и методик, регламентирующих вопросы энергоэффективности, нет.

Очистные сооружения природной воды

Рассмотрим традиционную технологию очистки природной воды. Она достаточно проста и хорошо подходит для тех сооружений, которые стоят на берегу относительно чистых водоемов, чистых рек. А те сооружения, которые очищают подземную воду, еще проще, хотя подземные воды сейчас тоже далеко не самые чистые.

Ценовые показатели, дающие представление о стоимости таких сооружений, приведены в табл. 1. Все стоимостные показатели приведены в ценах 2013 г.

Проектировщики сейчас умеют выполнять проекты достаточно экономичных сооружений,

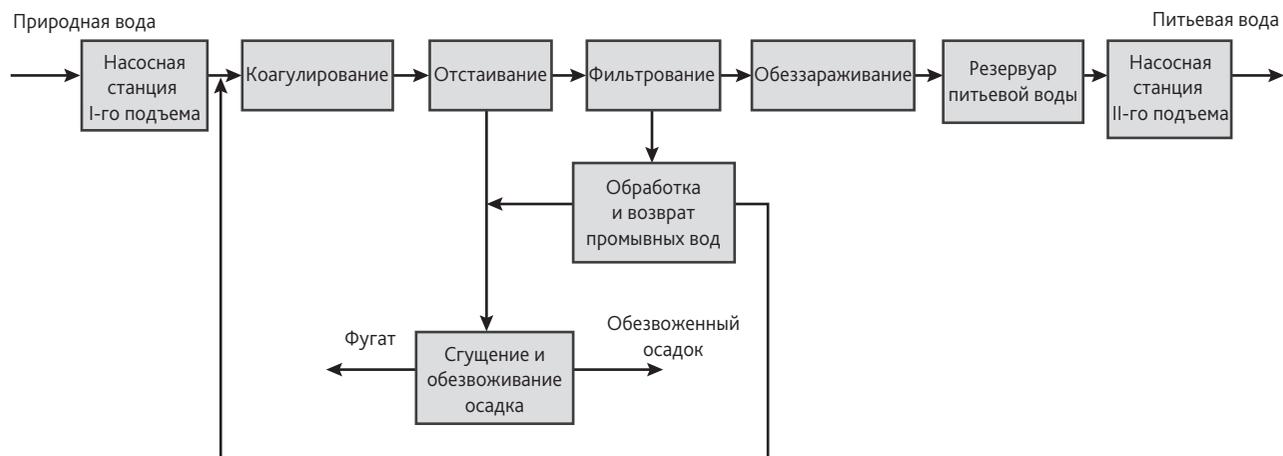


Рис. 1. Традиционная технологическая схема очистки природной воды

но не обязательно, что эти сооружения будут работать нормально с точки зрения потребления электроэнергии и реагентов, потому что по общепринятой практике в Европе на подготовку 1 м³ воды требуется примерно 0,2 кВт · ч, в то время как в России средняя величина потребления электричества на подготовку 1 м³ воды составляет около 0,5 кВт · ч, а в Москве эта цифра составляет 0,45 кВт · ч. Если же речь

идет о более сложных технологиях подготовки питьевой воды (рис. 2), то необходимо учитывать появление дополнительных блоков, например озонаторных, сорбционных.

Стоимость таких сооружений оказывается существенно выше и может быть уже не по силам небольшому городу. Надо понимать, что вопросы строительства эффективных сооружений связаны с уровнем жизни в конкретном регионе, городе.

Таблица 1

Ориентировочные капитальные затраты на строительство систем водоподготовки производительностью 20 и 35 тыс. м³/сут

Наименование	Производительность очистных сооружений					
	20 тыс. м ³ /сут			35 тыс. м ³ /сут		
	СМР*, тыс. руб.	оборуд., тыс. руб.	всего, тыс. руб.	СМР*, тыс. руб.	оборуд., тыс. руб.	всего, тыс. руб.
Водозабор с насосной станцией 1-го подъема	11260	13180	24440	13640	1958	33220
Блок очистных сооружений, включающий: • смесители • тонкослойные отстойники • реагентное хозяйство	56380	25280	81660	93040	39660	132700
Система производства и дозирования гипохлорита натрия	8800	13200	22000	15120	22680	37800
Сооружения оборота промывных вод	9760	3440	13200	16780	6000	22780
Сооружения обезвоживания осадка	4760	7120	11880	8200	12300	20500
Резервуары чистой воды	55820	2760	58580	97700	4820	102520
Насосная станция 2-го подъема	8700	16300	25000	10600	24460	35060
Общеплощадочные работы: подготовка территории и инженерные коммуникации	–	–	39220	–	–	63960
ПИР	–	–	27600	–	–	33640
Итого	155480	81280	303580	255080	129500	482180

* СМР – строительно-монтажные работы.

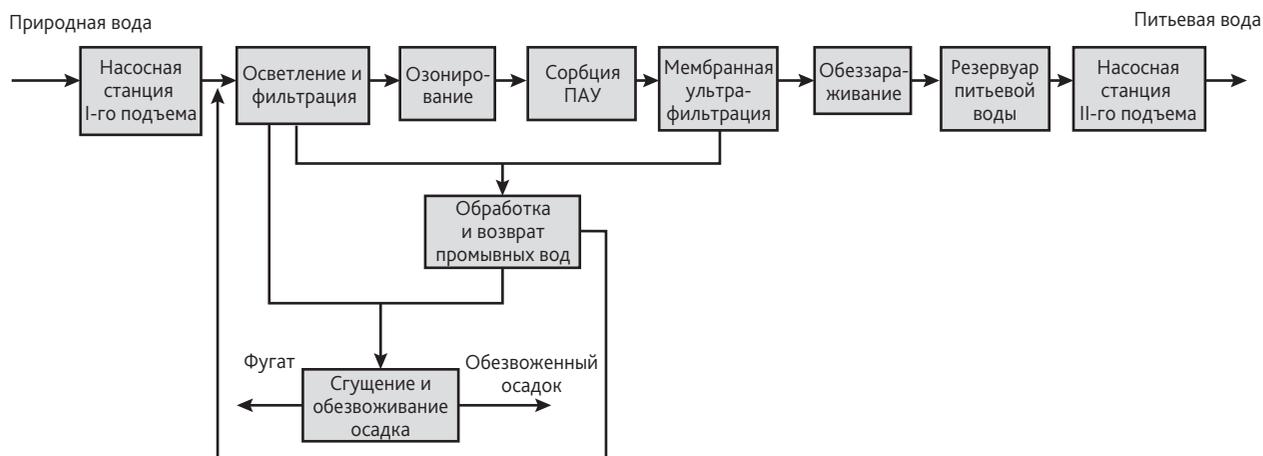


Рис. 2. Современная технологическая схема очистки природной воды

И, естественно, в маленьких городах, где люди получают зарплату в размере 10–12 тыс. руб., строить сооружения с озонсорбцией нецелесообразно: жители не смогут оплачивать тарифы, и эксплуатационные службы будут не очень готовы к этим сложным технологиям.

Стоимостные показатели сооружений станций водоподготовки производительностью 20 тыс. м³/сут (для населения 60–120 тыс. человек) и 35 тыс. м³/сут (для населения 130–200 тыс. человек) приведены в табл. 1.

Канализационные очистные сооружения

Канализационные очистные сооружения еще более сложны для проектирования, поскольку канализационные стоки включают большое разнообразие ингредиентов, от которых необходимо очистить воду перед сбросом в водоем. И если хозяйственно-бытовые стоки более-менее изучены за последние 180 лет, то промышленные стоки зачастую состоят из весьма сложных компонентов и комплексов.

На энергоэффективность очистных сооружений влияет не только состав поступающих стоков, но и неравномерность их поступления. Так, для хозяйственно-бытовых стоков считается приемлемым коэффициент неравномерности 1,4–в этом случае можно построить эффективное сооружение.

В настоящее время в России действуют жесткие нормы качества очищенных сточных вод. Как правило, это нормативы, которые применяются для воды водоемов рыбохозяйственного

назначения, так называемый рыбхоз. Достижение таких нормативов абсолютно не реально для страны с ее сегодняшним экономическим и технологическим состоянием. В то же время еще в Советском Союзе под эгидой харьковского института ВНИИВО разрабатывалось технологическое нормирование, когда нормы на очистку сточной воды привязывались:

- а) к географическому региону;
- б) к размеру поселения по количеству жителей;
- в) к характеристикам водного объекта.

В этих нормах были выделены сельские поселения, малые города и крупные города. Подобное ранжирование поселений для технологического нормирования сейчас являлось бы наиболее правильным для России. Как показывает зарубежная практика (Германия, Дания), такой подход соответствует европейскому тренду.

Значения нормативных показателей качества воды на входе и выходе после очистных сооружений хозяйственно-бытовых стоков для трех видов поселений, которые приведены в табл. 2, являются наиболее приемлемыми. Значения качества воды на входе на очистные сооружения были получены из реальной практики эксплуатации таких сооружений, а качество на выходе – в результате очистки по технологической схеме, представленной на рис. 3. Для сельских поселений и поселков городского типа сооружения имеют производительность 5–10 тыс. м³ сточных вод в сутки. Сооружения меньшей производительности для коттеджных поселков комплектуются в виде блоков. Они представлены на рынке, но обладают достаточно большим энергопотреблением.

Таблица 2

Качество сточных вод в поселениях России

Показатели состава сточных вод, мг/дм ³	Типы поселений					
	сельские		малые города		крупные города	
	на входе в КОС	после очистки	на входе в КОС	после очистки	на входе в КОС	после очистки
Взвешенные вещества	250–300	12–20	200	10–15	250	3–8
БПК _{полн}	250–300	15–20	250	5–15	250	3–7
Азот аммонийный	До 40	5–7	30	1–2	30	0,39
Азот нитритный	–	–	0,1	Ненорм.	До 0,5	0,1
Азот нитратный	До 10	15	5,0	12–15	До 6	9,1
Фосфор (Р)	2–4	1–2	3	1–2	До 15	0,2–1,0
Нефтепродукты	4	1	4–7	0,5	4	0,05–0,50
СПАВ	–	1	4	0,8	4	0,2
Минерализация	–	–	1000	1000	1000	1000
Хлориды	–	–	300	300	300	300
Сульфаты	–	–	100	100	100	100
Хром трехвалентный	–	–	0,5	0,30	0,5	0,3
Никель	–	–	0,25	0,1	0,25	0,10
Медь	–	–	0,1	0,05	0,1	0,05
Цинк	–	–	0,3	0,20	0,3	0,20
Свинец	–	–	0,05	0,03	0,05	0,01

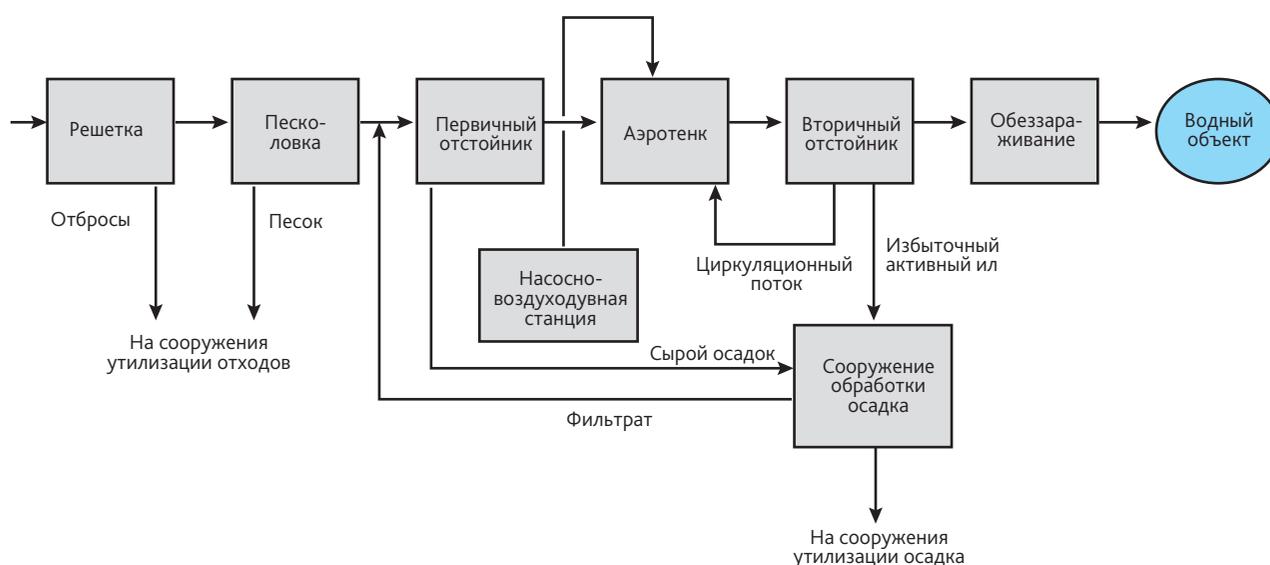


Рис. 3. Технологическая схема очистных сооружений канализации небольших поселений

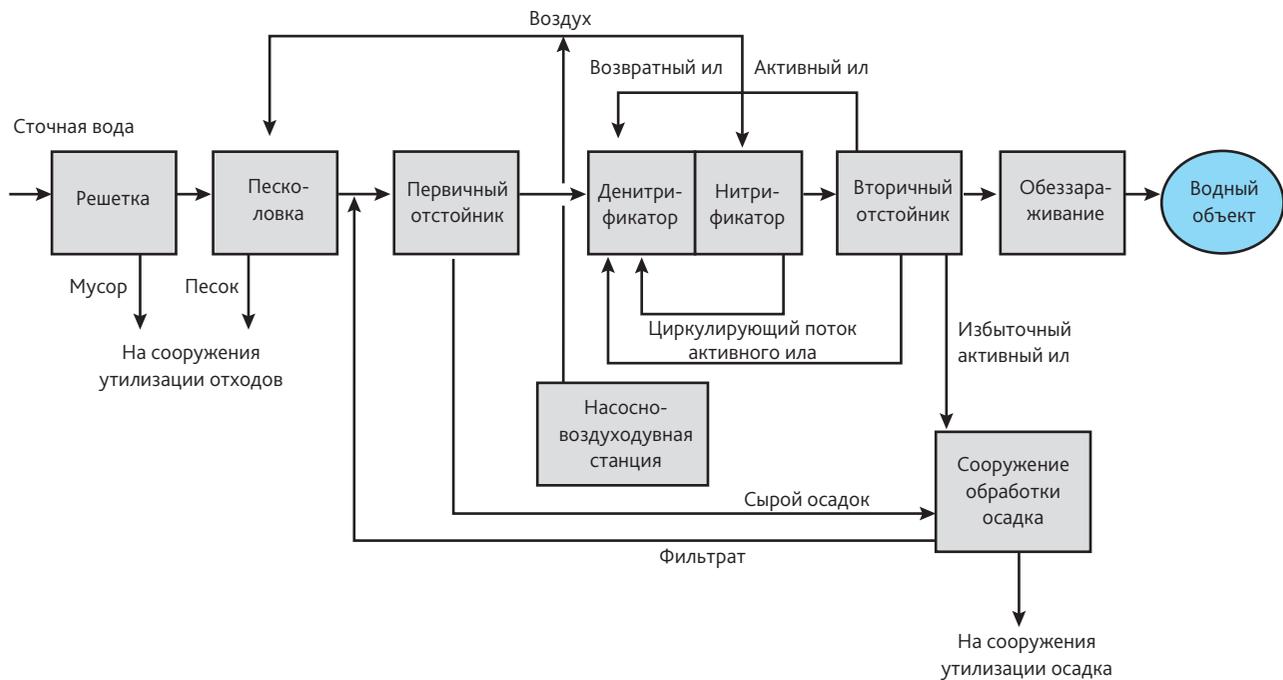


Рис. 4. Технологическая схема очистных сооружений канализации средних городов

Более сложная технология, предполагающая в процессе биологической очистки удаление биогенных элементов (нитрификацию, денитрификацию), показана на рис. 4. Это обуславливает необходимость строительства многокоридорных аэротенков, работа которых требует, соответственно, достаточно большого энергопотребления. Подобные сооружения рассчитаны на 80 тыс. м³/сут. Примером таких сооружений могут служить станции очистки сточных вод в Южном Бутове (рис. 5) и Зеленограде Московского региона. Следует отметить, что в зависимости от исходного качества сточной воды при



Рис. 5. Очистные сооружения Южного Бутова, производительность – 80 тыс. м³/сут

низком содержании углеродосодержащих соединений в технологических схемах очистки сточной воды первичные отстойники могут быть исключены.

Нитрификация, денитрификация, дефосфатация требуют большого расхода электроэнергии, а отладка этих процессов требует соответствующей квалификации. Поэтому немногие организации способны грамотно спроектировать и эксплуатировать такие сооружения, чтобы они действительно эффективно работали.

Самые сложные сооружения предназначены для больших городов (рис. 6). В схеме появляются блоки доочистки – это могут быть шведские дисковые фильтры, песчаные либо мембранные фильтры, мембранные биореакторы (МБР-реакторы). Они достаточно энергоемки. В качестве примера крупных сооружений на рис. 7 и 8 показаны очистные сооружения сточных вод в Москве и Владивостоке.

На базе рассмотренных технологий можно выделить восемь основных типовых комплексов очистных сооружений.

1. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с полным окислением, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).
2. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с полным

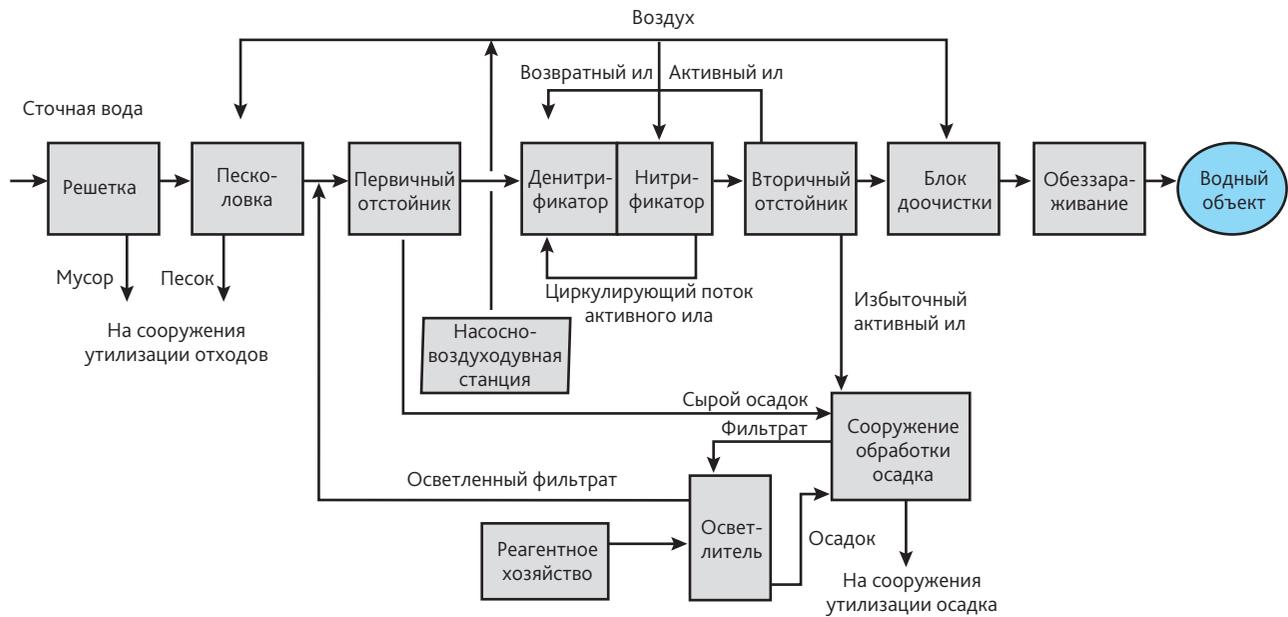


Рис. 6. Технологическая схема очистных сооружений канализации больших городов

окислением, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).

3. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с полным окислением, вторичные радиальные отстойники, доочистка, блок обеззараживания (УФ).

4. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с нитрификацией-денитрификацией (НДФ), вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).

5. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).

6. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, вторичные радиальные отстойники, доочистка, блок обеззараживания (УФ).

7. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с НДФ, мембранный биореактор, блок обеззараживания (УФ).



АРЕНДА, ПРОКАТ, ПРОДАЖА ИНСТРУМЕНТОВ • (495) 662-89-09

ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МОНТАЖА И ОБСЛУЖИВАНИЯ ВСЕХ ТИПОВ ТРУБ



SUPER-EGO



ROTHENBERGER

T-DRILL

HÜRNER
SCHWEISSTECHNIK



ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ МОНТАЖА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



ИНСТРУМЕНТ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПЛАСТИКОВЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

HERZ



ИНСТРУМЕНТ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЛОВ И УКЛАДКИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ



ROMUS

ИНСТРУМЕНТ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ (МАГНИТНЫЕ СВЕРЛИЛЬНЫЕ СТАНКИ И ФАСКОШИМАТЕЛИ)





Рис. 7. Городские очистные сооружения сточных вод во Владивостоке



Рис. 8. Аэротенки Люберецких очистных сооружений в Москве

8. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, мембранный биореактор, блок обеззараживания (УФ).

Примером использования типовых конструкций могут служить четыре комплекса

очистных сооружений, расположенных в крупных городах, данные по которым приведены в табл. 3 и 4.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что по энергопотреблению ($\text{кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$) наиболее неудачным является сооружение в Адлере, а наиболее удачное – ЭБКО (Москва) и сооружения во Владивостоке. При сравнении следует учитывать также сочетание энергозатрат и качества очистки. Так, качество очистки сточных вод на сооружениях, расположенных по правому берегу Иркутска, – одно из самых лучших в России.

Если рассмотреть стоимость и площади отдельных блоков очистных сооружений – станет понятно, что наибольшее количество электроэнергии потребляют аэротенки. На них приходится 26 % стоимости, 54 % площади застройки и 47 % (по некоторым данным до 80 %) расхода электроэнергии очистных сооружений. Таким образом, на аэротенки необходимо направлять наибольшее внимание как инженеров, так и ученых, потому что здесь находятся основные резервы по энергоэффективности всех очистных сооружений в целом.

Безусловно, необходимо обращать внимание и на объекты инфраструктуры очистных сооружений. И здесь, как показывает опыт, зачастую плохо проектируются генпланы сооружений: многие сооружения занимают большую площадь, поэтому объекты инфраструктуры, внутренние трубопроводы на площадке «съедают» очень много и электроэнергии, и денег. Большое значение имеют степень и уровень автоматизации технологических процессов, позволяющие получить значительную экономию – на треть по персоналу, работающему на станциях.

Другим немаловажным фактором, влияющим на энергоэффективность водоснабжения и водоотведения, является восстановление коммуникаций. Необходимо отметить следующее:

- надежность и экологическая безопасность труб являются одними из основных требований, предъявляемых к водопроводным и канализационным трубопроводам;
- приоритет при выборе метода реконструкции трубопроводов принадлежит бестраншейным технологиям;
- подход, заключающийся в проведении ремонтно-восстановительных работ или реконструкции труб только там, где произошла авария (стратегия «пожарной

Таблица 3

Общие характеристики некоторых канализационных очистных сооружений (КОС)

Место расположения КОС	Производительность, м ³ /сут	Площадь, га	Установленная мощность, кВт	Стоимость СМР, тыс. руб. (2013 г.)
Владивосток	160 000	10	2600	3 463 265
Адлер	100 000	15	4066	4 214 940
ЭБКО Москва	200 000	4	3678	5 328 068
Иркутск, левый берег	255 000	10	5647	5 765 000

Таблица 4

Значение критериев оценки некоторых КОС

Место расположения КОС	Удельные капитальные затраты, руб./м ³	Удельная площадь сооружений, м ² /м ³	Удельная энергонагрузка, кВт × ч/м ³
Владивосток	21645	0,62	0,016
Сочи (Адлер)	42150	1,50	0,04
Иркутск, левый берег	22607	0,39	0,02
ЭБКО (Москва)	26640	0,20	0,018

команды»), приводит к застою в области реконструкции сетей. Необходима научно обоснованная стратегия планирования их восстановления. Такая стратегия разработана ОАО «МосводоканалНИИпроект» и реализована на объектах Мосводоканала с использованием программы «Планирование восстановления труб».

Заключение

В заключение следует отметить, что анализ значений указанных выше шести основных критериев, в зависимости от производительности станций, позволяет выяснить довольно любопытную закономерность: при производительности станций более 80 тыс. м³/сут все характеристики более или менее выравниваются как для сооружений по очистке природной воды, так и для сооружений по очистке сточной воды. В частности, если технологии оказываются более эффективными по качеству очистки

воды, то они занимают большую площадь. Для этого диапазона производительности параметры меняются линейно от производительности станции. Это говорит о том, что все параметры масштабируемы, т. е. можно до начала проектирования выбрать аналог и простым масштабированием оценить, каковы будут в результате проектирования характеристики еще не построенной станции. Это принципиально важный вопрос для проектных организаций.

Что же касается станций малой производительности, то здесь получаются два диапазона: первый – до 10–15 тыс. м³/сут и второй – от 15–20 до 80 тыс. м³/сут. Здесь прямой зависимости не наблюдается, потому что для малых станций характерным являются большая неравномерность поступления объема стоков и их качества в течение суток. Несмотря на установку усреднителей на входе, энергоэффективность сооружений будет зависеть от необходимости включения в схему дополнительного оборудования. ■