

**Ю.А. ГАЛКИН**

доктор технических наук, профессор, генеральный директор  
ООО «Научно-проектная фирма «ЭКО-ПРОЕКТ», г. Екатеринбург

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ЛИВНЕВОЙ И ПРОМЫШЛЕННО-ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ КРУПНЫХ ГОРОДОВ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

DEVELOPING THE STORM SEWAGE AND INDUSTRIAL-STORM SEWAGE WASTEWATER PURIFYING SYSTEMS OF LARGE CITIES AND INDUSTRIAL ENTERPRISES

*Излагаются основные подходы к решению вопросов очистки сточных вод ливневой канализации, выработанные автором при создании технологий, оборудования, проектов и внедренные в Екатеринбурге, Тюмени, Красноярске, а также на Уралмашзаводе, Каменск-Уральском металлургическом заводе, Уральском турбинном заводе и на других крупных промышленных предприятиях. Закрытая конструкция очистных сооружений, разработанная в наземном и подземном вариантах, относительная компактность и нормативное воздействие на окружающую среду позволят сооружать их практически в любой части города.*

**Ключевые слова:** ливневая канализация, технологии, оборудование, проекты, конструкции, компоненты сточных вод.

Очистка сточных вод ливневой (чаще всего - промышленно-ливневой) канализации городов и промышленных предприятий является одной из главных экологических и технико-экономических проблем охраны окружающей среды, и ее решению посвящено большое количество работ [1÷3]. В настоящей статье излагаются основные подходы к решению вопросов очистки сточных вод ливневой канализации, выработанные автором при создании технологий, оборудования, проектов и внедрения в Екатеринбурге, Тюмени, Красноярске, а также на Уралмашзаводе, Каменск-Уральском металлургическом заводе, Уральском турбинном заводе и на других крупных промышленных предприятиях.

Сточные воды ливневой канализации формируются атмосферными осадками, водой от мойки территории, притоком грунтовых вод, постоянным и периодическим поступлением производственных и, в некотором количестве, хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу сточных вод. Многообразие сточных вод, режимов поступления и других

*The article outlines the basic principles in solving the problems of storm sewage wastewater purifying worked by the author while developing the technologies, equipment and projects which were introduced in Yekaterinburg, Tyumen, Krasnoyarsk and in other cities as well as at Uralmash Plant, Kaminski-Uralsk Metallurgical Plant, Uralsk Turbine Plant and at other large industrial enterprises. The closed design of sewage treatment facilities developed both in the ground and the underground versions; their relative compactness and normative impact on the environment make it possible to construct them practically in any part of the city.*

**Keywords:** storm sewage, technology, equipment, projects, structures, wastewater components.

факторов приводит к сложному и переменному их составу. Компоненты сточных вод находятся в различных фазово-дисперсных состояниях. Расход воды изменяется в широких пределах от минимального, относительно постоянного, до периодического максимального, который равен пропускной способности коллекторов. Например, по одному из коллекторов Екатеринбурга с водосборной территорией 800 га постоянный сток (промышленный и дренажный) составляет 0,15 м<sup>3</sup>/с, а при периоде повторяемости P = 1 год максимальный дождевой (кратковременный) – 8 м<sup>3</sup>/с.

Сточные воды из выпусков коллекторов ливневой канализации при малом дебите водотоков-приемников могут быть основным источником их питания. Поэтому вариант создания единого городского очистного сооружения ливневой канализации с прокладкой перехватывающих коллекторов может привести к деградации водоприемника. Такой подход также требует строительства чрезвычайно дорогостоящих самотечных коллекторов, мощных насосных станций и других объектов, приводит к

длительным срокам до получения экологических результатов. Увеличивается продолжительность протекания воды по перехватывающему коллектору, что приводит к необходимости очистки значительно увеличенных расходов и объемов сточных вод на едином городском очистном сооружении в сравнении с суммарной производительностью локальных очистных сооружений.

Поэтому более рациональным в экологическом и технико-экономическом отношении является рассредоточенное размещение локальных очистных сооружений, преимущественно - вблизи устьев наиболее крупных коллекторов. При этом создается система «кустов», состоящих из «центра куста» - локального сооружения для глубокой очистки наиболее загрязненной части сточных вод, и периферийных насосных станций, располагаемых на устьях ближайших меньших коллекторов (рис. 1).

Те и другие должны быть оборудованы решетками, песколовками и регулирующими резервуарами, имеющими полезный объем и конструкцию, которые определяются метеорологическими параметрами, экологическими нормативами и технологией последующей глубокой очистки сточных вод. Поэтому наименее загрязненная часть стока от интенсивных дождей, не проходящая полную (глубокую) очистку в данном «кусте», отводится в водный объект не через водосбросную камеру на коллекторе, как это рекомендуется нормативными документами, а проходит механическую очистку на комбинированной решетке, на тонкослойной песколовке и в регулирующем резервуаре.

Конструкции решетки, песколовки и резервуара разработаны автором с учетом особенностей режимов работы и состава сточных вод ливневой канализации и позволяют минимизировать габариты и капитальные затраты. В сравнении с самотечными коллекторами, напорные трубопроводы в «кустах» от насосных станций к очистному сооружению имеют относительно небольшой диаметр (200÷300 мм) и могут прокладываться, при необходимости, по руслам рек и других водных объектов. Напорная подача воды из регулирующих резервуаров на установку глубокой очистки дает возможность территориально отделить ее от установки для механической очистки, что имеет важное значение для размещения очистных сооружений в условиях плотной городской застройки. Таким образом, строительство объектов городской системы становится возможным в последовательности и очередности, определяемыми эко-

логическими, экономическими и градостроительными условиями.

За основу расчета расходно-объемных параметров очистных сооружений и насосных станций положено введенное В.М. Молоковым понятие «дождя предельной интенсивности». Первоначально оно было предназначено для определения количества наиболее загрязненной части дождевой воды, которую из дождевой сети следовало направлять в общесплавные коллекторы полураздельной системы канализации и далее на очистку совместно с коммунальными сточными водами. При этом оставшее количество дождевой воды должно сбрасываться в водный объект через разделительные камеры без очистки [4-5]<sup>1</sup>. В предлагаемой нами системе понятие и расчетная модель «предельного дождя» использованы для определения расхода и годового количества наиболее загрязненного поверхностного стока, которое намечено отвести на полную (глубокую) очистку на очистные сооружения ливневой системы канализации.

На основе этой методики рассчитаны, например для Екатеринбурга, при нормативном периоде повторяемости  $P = 0,05$  года предельная интенсивность дождя  $q_{20}^{np} = 12,6$  л/(с·га) и отвечающий предельному дождю слой осадков  $h_0^{np} = 5,7$  мм. Формально период повторяемости  $P = 0,05$  года не может распространяться на ливневую канализацию города, поскольку она является, по сути, промышленно-ливневой ввиду поступления в нее промышленных сточных вод. Для таких систем, согласно нормам проектирования, следует принимать  $P = 1$  год, которому соответствуют многократно большие расходы и объемы сточных вод.

Поэтому в целях исключения неоправданно завышенной мощности очистного комплекса исключительно важным является принцип, согласно которому очистка сточных вод фактически промливневой канализации рассматривается как одно из звеньев системы технически и экономически связанных между собой мероприятий единой комплексной программы города и предприятий по охране окружающей среды, направленных на поэтапное превращение промливневой канализации практически в ливневую путем исключения основных промышленных сбросов.

<sup>1</sup> Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие. М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбАСУ, 2000. 352 с.

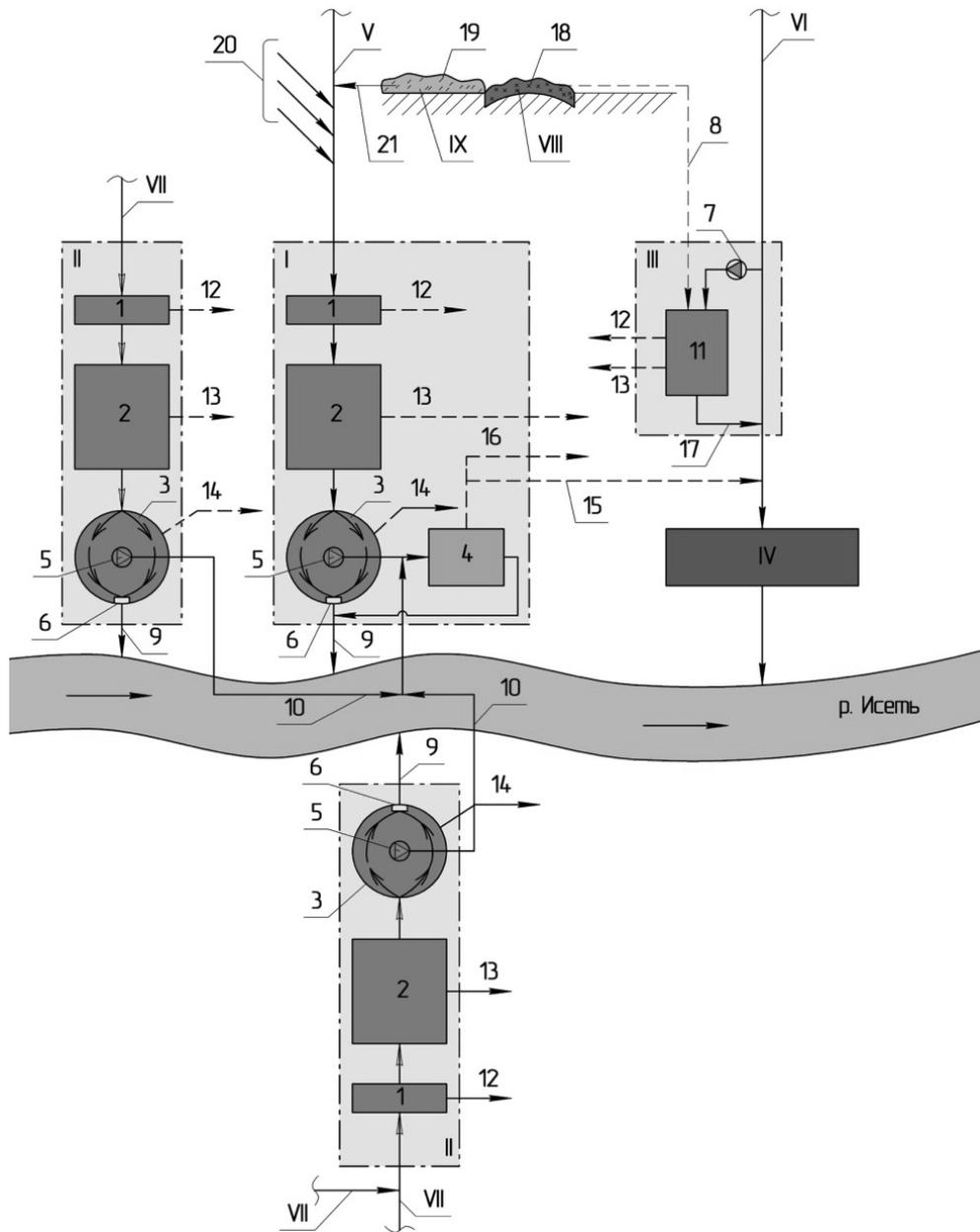


Рис. 1. Принципиальная схема одного из «кустов» системы очистки сточных вод промышленно-ливневой канализации города:

I - локальные очистные сооружения промышленно-ливневой канализации; II - насосные станции; III - снегосплавные пункты; IV - очистные сооружения хозяйственной канализации; V - наиболее крупные коллекторы промышленно-ливневой канализации; VI - крупные коллекторы хозяйственной канализации; VII - меньшие коллекторы промышленно-ливневой канализации; VIII - дороги и другие территории с наиболее загрязненной частью снега; IX - территории и поверхности с наименее загрязненной частью снега;

1 - решетка, 2 - песколовка; 3 - регулирующие резервуары; 4 - установки глубокой очистки наиболее загрязненной части дождевого стока, постоянного стока и воды от таяния наименее загрязненной части снега (1-я ступень - отстойники-флокуляторы и 2-я ступень - осветлительные фильтры); 5 - насосы для перекачки стока на полную (глубокую) очистку; 6 - переделы из регулирующих резервуаров; 7 - насосы для подачи хозяйственных стоков на снеготаяние; 8 - транспортировка наиболее загрязненной части снега на снегосплавные пункты; 9 - выпуски очищенных стоков промышленно-ливневой канализации; 10 - напорные трубопроводы для подачи зарегулированного расхода сточных вод; 11 - снегосплавная камера; 12 - твердые бытовые отходы; 13 - обезвоженный песок; 14 - обезвоженные нефтепродукты; 15 - жидкий осадок из отстойников-флокуляторов; 16 - осадок из отстойников-флокуляторов после механического обезвоживания; 17 - отвод смеси хозяйственных сточных вод и воды от расплавленного снега; 18 - наиболее загрязненная часть снега; 19 - наименее загрязненная часть снега; 20 - поливомоечный, дождевой и постоянный сток; 21 - сток от весеннего снеготаяния

Мероприятием по радикальному снижению требуемой мощности очистных сооружений ливневой канализации является строительство снегосплавных пунктов для приема и растапливания теплоем хозяйственных стоков (или другого теплоносителя) в холодное время года наиболее загрязненной части снега и последующего отвода в хозяйственную канализацию<sup>2</sup>. Это позволит, практически без увеличения нагрузки на коллекторы и очистные сооружения хозяйственной канализации, снизить мощность очистных сооружений ливневой канализации до величины, соответствующей режиму дождевого стока, которая в два-три раза меньше рассчитываемой по талому стоку. Кроме того, существенно снижается загрязненность талого стока, решается задача сохранения пропускной способности улиц города в зимнее время года для автотранспорта, уменьшается загрязнение атмосферы и снега, сокращается количество применяемых антигололедных средств, поступающих в талый сток.

Возможность, целесообразность и последовательность проведения мероприятий по сокращению или прекращению сброса в городскую ливневую канализацию производственных и поверхностных вод предприятий должны быть тщательно проработаны путем анализа водного баланса каждого предприятия с учетом технико-экономических факторов. Это могут быть как относительно малозатратные и быстро осуществляемые мероприятия (циркуляция охлаждающей воды в замкнутом контуре), так и длительно реализуемые сложные дорогостоящие замкнутые системы (химическая обработка металла). Поверхностный сток автостоянок, автомоек и большинства других предприятий I категории может отводиться в городские сети без какой-либо очистки или же после пескоулавливания, поскольку его влияние на общий состав сточных вод незначительно. Только на некоторых крупных предприятиях со значительным производственным водопотреблением создаются или реконструируются собственные очистные сооружения промливневого стока с целью технического использования очищенной воды. Во многих случаях, подтверждаемых расчетами, может быть сохранен, по крайней мере на длительный период, сброс в городскую ливневую канализацию сточных вод, содержащих малотоксичные «природные» компоненты, такие, например, как сульфаты,

хлориды, очистка от которых требует чрезвычайно больших затрат. На выпусках от предприятий в городской коллектор за пределами их территории должны быть установлены пункты для контроля качества и количества сточных вод.

Прототипом процесса глубокой очистки сточных вод на локальных очистных сооружениях может быть принята сорбционно-седиментационная технология. В соответствии с ней запроектирована установка для глубокой очистки комплекса очистных сооружений промышленно-ливневой канализации Уралмашзавода (сооружения механической (предварительной) очистки и усреднения стока в песколовке и в регулирующем резервуаре традиционных конструкций были построены по проекту генерального проектировщика – института Уралгипротрашмаш). Фактическая производительность установки глубокой очистки по зарегулированному расходу, в зависимости от погодных условий, составляет  $600\div 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ <sup>3-4</sup>. Глубокая очистка сточных вод производится по двухступенчатой схеме: осветление на отстойниках-флокуляторах (рис. 2), с предварительной обработкой воды сорбентом-флокулянт и катионоактивным флокулянт «Праестол», и последующее фильтрование на скорых фильтрах с песчаной загрузкой. Сорбент-флокулянт представляет собой высокодисперсный модифицированный природный алюмосиликат и дозируется в виде суспензии перед отстойниками-флокуляторами.

Как следует из табл. 1, состав сточных вод после 1-й и 2-й ступеней практически соответствует требованиям к их отведению в водные объекты культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования. Глубокое удаление нефтепродуктов производится без доочистки на сорбционных фильтрах, применение которых требуют другие технологии. Благодаря достаточно эффективному удалению комплекса разнохарактерных загрязнений (в т.ч. тяжелых цветных металлов), находящихся в различных фазово-дисперсных состояниях, принятая технология позволяет осуществлять поэтапное сокращение сброса промышленных сточных вод в ливневую канализацию в течение длительного периода без заметного ущерба окружающей среде.

<sup>2</sup> Пупырев Е.И., Корицкий, В.Е. Решение проблемы снегоудаления в Москве // Проекты развития инфраструктуры города. М., 2001. Вып. 1.

<sup>3</sup> Галкин Ю.А. Результаты работы очистных сооружений промышленно-ливневой канализации Уралмашзавода // Экология и здоровье человека. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов: Сб. статей. Харьков: УкрГНТЦ, 2004.

<sup>4</sup> Галкин Ю.А. Современные технологии и оборудование для очистки оборотных и сточных вод предприятий черной металлургии // Сталь. 2006. № 5.



Рис. 2. Отстойник-флокулятор – 1-я ступень глубокой очистки промышленно-ливневых сточных вод

Таблица 1

Результаты очистки сточных вод промышленно-ливневой канализации Уралмашзавода

Показатель	Норматив для сброса в водные объекты		Место отбора проб воды после		
	культурно-бытового водопользования	рыболовнического водопользования	механической очистки	отстойников флокуляторов (1-я ступень)	осветлительных фильтров (2-я ступень)
рН	6,5-8,5	6,5-8,5	7,0-8,0	7,0-8,0	7,0-8,0
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>	-	1000	300-450	300-450	300-450
Взвешенные вещества, мг/дм <sup>3</sup>	10	-	40-60	6-8	1-2
Нефтепродукты, мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,05	8-10	0,1-0,3	0,03-0,08
Fe (общ), мг/дм <sup>3</sup>	0,3	0,1	2-4	0,2-0,3	0,1-0,15
Медь, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	0,001	0,02-0,04	0,005	<0,001
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	1,0	0,01	0,03-0,08	0,03-0,04	<0,001

В результате последующих разработок значительно усовершенствованы описанные процессы и оборудование очистных сооружений. Так, в отличие от других технологий и рекомендаций, где регулирующий резервуар используется для предварительного отстаивания перед осветлительными фильтрами, осадок с помощью вновь разработанной системы гидросмыва постоянно смывается и подается на очистку насосами вместе с водой. Это повышает эффективность работы отстойников-флокуляторов,

особенно при обработке постоянного, относительно чистого по механическим примесям стока, исключает необходимость отдельной системы удаления и обезвоживания осадка из резервуара, улучшает фильтровальные свойства осадка из отстойников-флокуляторов. Разработаны компактные конструкции решеток и песколовок для больших расходов сточных вод ливневых канализаций. Создана конструкция отстойника-флокулятора производительностью порядка 2 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Отходы с решеток и песколовков, а также отстоянные нефтепродукты предполагается утилизировать по традиционным схемам, а осадок реагентной очистки после механического обезвоживания – на цементных заводах, где подобные отходы на Урале давно используются в качестве компонента шихты при производстве клинкера. После некоторых очистных сооружений жидкий осадок установок глубокой очистки может быть отведен в коллекторы хозяйственно-бытовой канализации.

Важным аспектом концепции является выбор стратегии строительства большой и дорогостоящей системы очистки сточных вод дождевой канализации, что обусловлено экологической целесообразностью при ограниченности финансовых ресурсов. Наибольшая скорость снижения по времени сброса массы загрязняющих веществ в водные объекты города при равных затратах достигается при строительстве системы очистки в три этапа.

**На первом этапе** намечено возведение на устьях коллекторов насосных станций и очистных сооружений в объеме механической очистки - решетки, песколовки, регулирующие резервуары в качестве отстойников, т.е. без оборудования насосами. Соответственно водоводы для перекачки сточных вод на очистные сооружения не строятся, а весь поступивший сток, пройдя механическую очистку, отводится в водный объект.

Одновременно начинается реализация других мероприятий комплексной экологической программы города и промышленных предприятий, направленных на уменьшение степени загрязнения и количества сточных вод, отводимых в городскую ливневую канализацию.

**На втором этапе** на кустовых очистных сооружениях ведется строительство первых ступеней глубокой очистки сточных вод, обеспечивающих их качество в соответствии с ПДК водных объектов культурно-бытового (рекреационного) водопользования (ПДК<sub>р</sub>), а также установка насосов в регулирующих резервуарах и сооружение водоводов для перекачки наиболее загрязненных вод на локальные очистные сооружения данного «куста».

Только после завершения этих работ должно начинаться строительство объектов **третьего этапа** – вторых ступеней установок глубокой очистки (т.е. доочистки) для достижения в очищенных на них стоках ПДК водных объектов рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>р-х</sub>), хотя целесообразность реализации третьего этапа должна быть критиче-

ски осмыслена ввиду его чрезвычайно малой эффективности.

Стратегия поэтапного строительства системы локальных «кустов» имеет большие преимущества, поскольку темпы снижения поступления загрязнений в водные объекты и эффективность использования финансовых средств несопоставимо выше, чем при последовательном строительстве каждого из локальных сооружений «по полной программе». Препятствием для реализации оптимальной стратегии путем поэтапного строительства с учетом ограниченных финансовых средств является формальная позиция контролирующих и согласующих органов, поскольку взвешенная и реалистичная природоохранная политика ими в России не проводится. Известно, что их требования заключаются в разработке проектов и строительстве по каждому очистному сооружению большой городской системы с обеспечением качества очистки сразу до требований рыбохозяйственных водных объектов.

Следует отметить, что, согласно нормативным документам, необходимо разделение общего объема поверхностного стока на наиболее загрязненный, подлежащий глубокой очистке, и относительно чистый в соотношении не менее 0,7:0,3, что обеспечивает экономически и экологически приемлемую основу очистки поверхностного стока. Однако расчеты показывают, что это положение в принципе не позволяет достигать культурно бытовых и рыбохозяйственных нормативов (ПДК<sub>р</sub> и ПДК<sub>р-х</sub>) в смеси двух частей стока, прошедшего глубокую и механическую (т.е. частичную) очистку. Так, принимая на основании опытных данных содержание нефтепродуктов после механической очистки на уровне 5 мг/л, получим усредненное по году их содержание в общем сбросе системы очистки сточных вод дождевой канализации соответственно:

$$C_{см}^1 = (0,3 \cdot 0,7 + 5 \cdot 0,3) / 1 = 1,71 \text{ мг/л};$$

$$C_{см}^2 = (0,05 \cdot 0,7 + 5 \cdot 0,3) / 1 = 1,54 \text{ мг/л}.$$

При этом значение  $C_{см}$  будет приближаться к 5 мг/л при редких дождях большой интенсивности и продолжительности, когда основная часть стока проходит только механическую очистку. Из этого вытекают приоритетная эколого-экономическая роль повышения эффективности механической очистки, важная роль 1-й ступени глубокой очистки и ничтожное влияние на состояние водных объектов 2-й, весьма дорогостоящей ступени глубокой очистки. Добавление 2-й ступени очистки позволяет формально выполнить требования нормативных до-

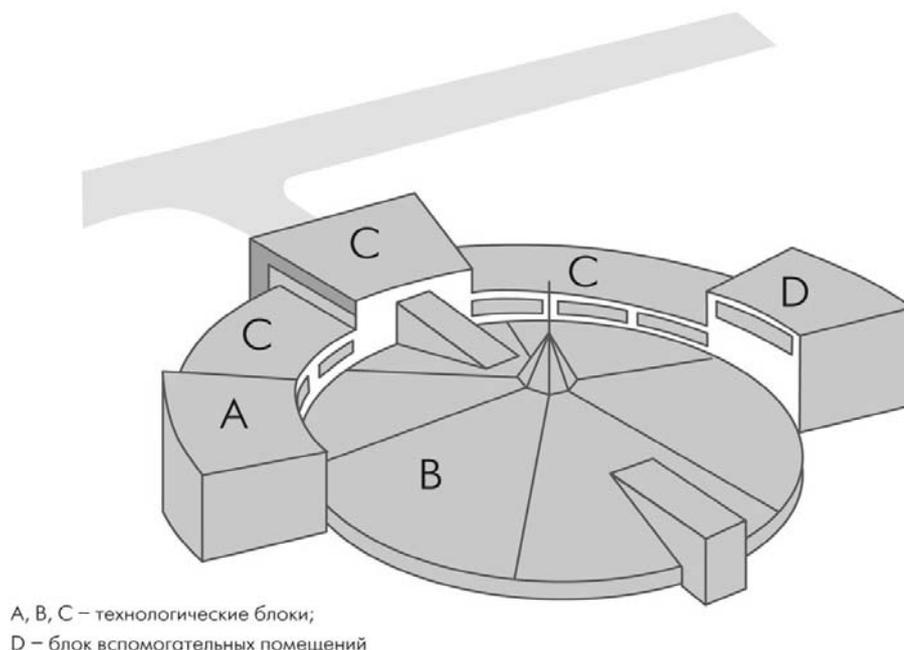


Рис. 3. Вариант компоновки очистных сооружений промышленно-ливневой канализации

кументов к сбросу сточных вод в рыбохозяйственные объекты, однако практически не приводит к получению экологического эффекта и является, по сути, бесполезной тратой больших средств.

Принятое в настоящей концепции в ряде случаев увеличенное соотношение наиболее загрязненного стока и относительно чистого в отношении 0,9:0,1 обеспечивает значительно лучшее значение  $C_{см}$  для второго этапа строительства:

$$C_{см}^1 = (0,3 \cdot 0,9 + 5 \cdot 0,1) / 1 = 0,77 \text{ мг/л.}$$

Связанное с этим удорожание существенно меньше, чем стоимость строительства вторых ступеней глубокой очистки, а экологическая эффективность значительно выше как на первом, так и на втором этапах строительства.

Закрытая конструкция очистных сооружений, разработанная в наземном (рис. 3) и подземном вариантах, относительная компактность и нормативное воздействие на окружающую среду позволят сооружать их практически в любой части города. Так, локальные очистные сооружения Малаховского коллектора ливневой канализации Екатеринбурга намечено построить под новой городской площадью в центре города.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Печников, В.Г. Основные направления разработки Генеральной схемы отвода поверхностного стока с территории г. Москвы [Текст] / В.Г. Печников и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2000. – №5.
2. Пупырев, Е.И. Организация отвода и очистка территориального стока в Москве [Текст] / Е.И. Пупырев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – №5.
3. Шевцов, В.Н. Особенности расчета производительности очистных сооружений поверхностных сточных вод [Текст] / В.Н. Шевцов и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – №2.
4. Молоков, М.В. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок [Текст] / М.В. Молоков, В.Н. Шифрин. – М.: Стройиздат, 1977.
5. Дикаревский, В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод [Текст] / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л.: Стройиздат, 1990.

© Галкин Ю.А., 2012