М.В. ШУВАЛОВ

ДИАЛЕКТИКА СОВОКУПНОСТИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ, МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ И НОРМАТИВНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КАНАЛИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЙ

DIALECTICS OF THE TOTALITY OF THEORETICAL, METHODOLOGICAL AND NORMATIVE PROVISIONS APPLIED FOR THE DESIGN OF THE SETTLEMENTS SEWAGE SYSTEM

На основе системного анализа технической литературы и нормативной документации по канализованию поселений и промпредприятий установлено, что в истории развития санитарной техники за период с середины XIX в. до настоящего времени можно условно выделить пять этапов, отличающихся между собой тем, что на протяжении определенного промежутка времени в развитых странах доминировала определенная система теоретических и нормативных положений по вопросам сбора, удаления и обезвреживания сточных вод. В первой четверти XX в. общепринятой парадигмой становится метод канализования населенных пунктов по централизованной схеме с устройством коммунальных станций очистки бытовых сточных вод биологическим методом. В начале XXI в. происходит смена парадигмы в области сбора, отведения и очистки бытовых сточных вод по причине возобновления поиска ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих сокращение эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду за счет внедрения в практику технологических решений по разделению бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод на отдельные потоки с целью производства из компонентов сточных вод вторичной продукции. Делается вывод, что в ближайшей перспективе после разработки и утверждения нормативных документов, регламентирующих основные санитарные правила и технологические нормы внедрения передовых модифицированных технологий разделения человеческих экскрементов и хозяйственных сточных вод с целью раздельной их обработки с утилизацией компонентов сточных вод, будет осуществляться постепенный переход от централизованной к децентрализованной раздельной системе канализации для хозяйственных и фекальных сточных вод.

Ключевые слова: бытовые сточные воды, хозяйственно-фекальные сточные воды, концепция отведения и переработки компонентов бытовых сточных вод, методы очистки сточных вод, модифицированные технологии очистки, обработка и утилизация человеческих экскрементов, централизованная и децентрализованная схемы канализации

On the base of the system analysis of technical literature and regulatory documentation on the sewerage of settlements and industrial enterprises it is established that in the history of the development of sanitary equipment for the period from the middle of the 19th century onwards up to the present time it is possible to roughly distinguish five stages differing from each other in that for a certain period of time in developed countries a certain system of theoretical and normative provisions on the collection, removal and disposal of sewage water dominated. In the first quarter of the XX century the generally accepted paradigm is the method of sewerage of settlements by a centralized scheme with the installation of communal sewage treatment plants by a biological method. At the beginning of the XXI century there is a paradigm shift in the collection, management and purification of domestic wastewater due to the resumption of search for resource-saving technologies that reduce the emission of pollutants into the environment through the introduction of technological solutions for the separation of domestic (sanitary) wastewater into separate flows for the purpose production from waste water components of secondary products. In the short term, after the development and approval of normative documents regulating the basic sanitary rules and technological norms for the introduction of advanced modified technologies for the separation of human excrement and household wastewater with the purpose of separate treatment with the disposal of sewage components, a gradual transition from a centralized to a decentralized separate sewerage system will be carried out domestic and sanitary sewage.

Keywords: domestic wastewater, sanitary sewage, concept of removal and processing of domestic wastewater components, sewage treatment methods, modified treatment technologies, treatment and utilization of human excrement, centralized and decentralized sewerage schemes

Условия быта древнего мира не требовали отвода домашних нечистот по водосточным каналам, которые строились в те времена исключительно для отведения поверхностных сточных вод с улиц городов. Отведение посредством каналов хозяйственных вод из помещений для приготовления пищи и бань устраивалось только в жилищах богатых людей. «Применение воды в целях удаления нечистот было для древнего мира (за исключением, впрочем, Индии) совершенно неизвестно в течение очень долгого времени, и даже в самую позднюю эпоху, в период Римской империи, представлялось явлением редким и исключительным» [1]. У культурных народов древности было принято собирать человеческие экскременты в сосудах, которые опорожнялись в хлевах и стойлах домашних животных, и все домашние нечистоты вывозились за пределы поселения вместе с навозом. Литературные источники свидетельствуют о том, что в ту эпоху были единичные примеры применения очистки сточных вод в отстойниках и утилизации осадков из отстойников и самих сточных вод в агрономических целях. Употребление технологии сбора экскрементов и других жидких нечистот в «непроницаемых и поглощающих или бездонных выгребях» началось около IX в. Отхожие места в средневековых замках устраивались непосредственно над выгребями.

Римские инженеры накопили большой объем эмпирических знаний и навыков по строительству и эксплуатации водосточных каналов и сооружений на них, а также систем водоснабжения. Эти знания были изложены на рубеже начала нашей эры в книгах римских инженеров-писателей – Марка Витрувия Поллона и Секста Юлия Фронтинна.

В середине XIX в. у специалистов, практикующих в области поиска технологических решений по удалению домашних нечистот, сформировались *основы теоретических положений технической науки «канализация»*. Основной причиной начала интенсивного развития данной науки послужило появление густонаселенных городов и промышленных предприятий в Европе, которое способствовало существенному ухудшению санитарных условий проживания горожан и, как следствие, приводило к росту числа больных горожан инфекционными заболеваниями. Применяемая повсеместно в тот период *вывозная система удаления нечистот* из отхожих мест в домах стала подвергаться критике, и далее формируется **новая парадигма удаления домашних нечистот по сплавной системе** в виде каналов и трубопроводов. Появлению сплавной системы канализации в городах предшествовало развитие трубопроводных сетей водоснабжения, в результате чего появилась возможность использовать ватерклозеты в жилых домах.

Во второй половине XIX столетия были разработаны и практически реализованы все известные способы перекачки сточных вод (насосами, разреженным воздухом и сжатым воздухом), а также все

типы систем канализации и большинство типов схем канализации. Поиск технических решений по сбору, отведению, очистке и утилизации компонентов хозяйственных и фекальных сточных вод в этот период осуществлялся по многим направлениям, было проведено огромное количество экспериментальных и опытно-конструкторских работ; количество книг, отчетов и журнальных статей, опубликованных в 1840–1909 гг. в России, составляет более 400 наименований.

Новейшая история разработки норм и правил по сбору, отведению, обработке и утилизации компонентов домашних сточных вод берет свое начало с закона «Town Improvement Clauses Act», принятого в Англии в 1847 г. Согласно этому закону **все жидкие нечистоты надлежало обязательно отводить в водостоки**. Появление такого правила было обусловлено «осознанием крайне неблагоприятной жизни при выгребной системе» [2]. Первым организационным законом считается «Act for promoting the «Public Health» (1848 г.), согласно которому учреждаемое «Высшее санитарное бюро» должно было надзирать за работой системы каналов, отводящих домашние сточные воды [3]. Следует отметить, что в Лондоне до 1815 г. существовало прямое запрещение спускать экскременты в водосточные каналы. Как отмечают современники, *это правило практически нарушалось во всех городах Европы, где были построены водосточные каналы*. Поэтому, наряду с использованием вывозной системы нечистот из выгребов, по мере роста населения в городах и распространения применения в домах ватерклозетов объем жидких нечистот, отводимых по сплавной канализации в реки и другие водные объекты, непрерывно возрастал. В то же время прямой сброс нечистот в реки был запрещен законом.

Во Франции в 1848 г. также был принят декрет об учреждении санитарных советов, которые должны были контролировать работы по ассенизации местности и жилищ [3].

В XIX в. среди специалистов по гигиене и ассенизации городов началась *дискуссия относительно выбора технологии удаления и обезвреживания бытовых сточных вод*.

Первая группа специалистов считала необходимым **продолжать модернизировать повсеместно применяемую вывозную систему жидких нечистот из выгребов**, учитывая то, что строительство городской канализации планировалось осуществлять органами управления большинства поселений только в отдаленной перспективе, из-за того что для этого требовалось колоссальное количество денежных средств.

Вторая группа специалистов считала, что **выпуск сточных вод, отводимых от жилых, общественных и производственных зданий, по сети закрытых водостоков в водные объекты является самым оптимальным решением проблемы**

удаления экскрементов и других видов нечистот. Сторонники применения сплавной системы канализации на начальном этапе развития этой технологии были уверены, что спуск сточных вод без очистки в реки и моря безопасен, так как существует природный процесс самоочищения воды в водных объектах.

Среди приверженцев сплавной системы канализации отдельная группа специалистов, основываясь на историческом опыте, считала необходимым *направлять сточные воды по водосточным каналам на поля орошения*, что позволит наряду с утилизацией компонентов сточных осуществлять их очистку «искусственным почвенным» методом, заключающимся в медленном фильтровании через слой почвы.

Применение вывозной системы жидких нечистот существенно ограничивало возможность оборудования отхожих мест ватерклозетами, так как их использование увеличивало количество жидкости, подлежащей вывозу, в среднем в пять раз. Для разрешения этой проблемы специалистами по ассенизации было предложено несколько типов приспособлений, предназначенных для того, чтобы «твердые части (фекалии) задерживались в приемниках (выгребах), а жидкие части (моча, промывная вода ватерклозетов и др.) переливаются в другие сосуды или, чаще всего, непосредственно в уличные каналы, которыми и отводятся в реку» [4, с. 20].

По данным И.И. Битнера [5], идея устройства дырчатых перегородок в выгребах принадлежит французскому инженеру Goullier, а французские военные инженеры в 1820 г. предложили две системы разделения жидких нечистот от твердых. Отдельным направлением в модернизации выгребов следует считать разработку и внедрение в практику *систем подвижных выгребов*, основным элементом которых являются выносные сосуды с фильтрующей перегородкой для задержания твердых частей экскрементов.

Подвижные выгребы были предложены впервые Жаро и Жерандь в 1786 г. и нашли широкое применение [4, с. 18]. Например, в Манчестере в 1879 г. с числом жителей 368173 человека в городе было 55159 отхожих мест, оборудованных подвижными выгребами, 1300 выгребов стационарных и около 10000 отхожих мест с ватерклозетами [5, с. 127].

Повсеместное применение до середины XIX столетия вывозной системы экскрементов способствовало развитию технологий по переработке и утилизации экскрементов. Первая фабрика по приготовлению пудрета (искусственного удобрения для земледелия) из экскрементов была учреждена в 1787 г. [5]. Наряду с приготовлением из твердой части экскрементов порошкообразного или сиропобразного удобрения, были разработаны и практически внедрены в 1893 г. технологии по производству удобрения кристаллического сернокислого аммиака, выделенного из жидкой фазы экскрементов [4].

Широкое внедрение в практику ватерклозетов и, как следствие, строительство системы сплавной канализации взамен вывозной системы удаления экскрементов в крупных городах Европы привело к закрытию фабрик по приготовлению пудрета из экскрементов.

Особого внимания заслуживают результаты практического применения технологии сбора и удаления экскрементов – *сухая ассенизация*, которая является альтернативой применения сплавной канализации. Применение технологии сухой ассенизации основано на использовании пульверклозета – устройства для сбора экскрементов и перемешивания их с различными специально приготовленными сыпучими материалами (земля, глина, зола, торф (сфагнум) и другие вещества, впитывающие жидкость из экскрементов).

Комбинирование технических решений, применяемых в системах с ватерклозетами и пульверклозетами, было реализовано в изобретении М.П. Надьина – «разделитель нечистот» [5]. Первый прибор М.П. Надьина был установлен в общественном здании в С.-Петербурге в 1888 г. Конструкция этого прибора обеспечивает разделение экскрементов. Твердые части экскрементов собираются в отдельном сосуде с засыпкой торфом, а сточная жидкость из стульчака, к которому могут быть подключены писсуар, раковина умывальника и кухонная мойка, пройдя через разделитель нечистот, отводится в канализационную сеть. Аппараты М.П. Надьина, Дюглерэ и Канье являются первообразом современных санитарных приборов с разделением экскрементов.

Анализ технологических решений по модернизации технологии и оборудования, применяемого при вывозной системе канализации, большинство из которых были реализованы в значительных масштабах на практике в XIX столетии, показывает, что эти решения легли в основу *концепции разделения экскрементов на отдельные потоки и выделения хозяйственных сточных вод в отдельный поток*.

Поиск технических решений по снижению затрат на строительство в городах общеславной системы канализации, при строительстве которой требовалось монтировать подземные коллекторы большого диаметра, ряд изобретателей, развивая концепцию *разделения экскрементов на отдельные потоки и выделения хозяйственных сточных вод в отдельный поток*, предложили и внедрили в ряде крупных городов Европы, России, Америки и Индии оригинальные *системы раздельной канализации*. Среди них следует выделить системы авторитетных инженеров: Лирнура (система была предложена в 1867 г.), Булова (1867 г.), Веринга (1870 г.), Берлье (1878 г.), Шона (1880 г.), Грибоедова и систему фирмы Левадлуа-Перрэ (1892 г.).

Эти системы были разработаны не только для снижения затрат на строительство трубопроводной системы удаления экскрементов из городов,

но и с целью создания оптимальных условий для приготовления пудрета или утилизации нечистот в жидком виде в качестве удобрений на агрономических полях. Принцип механического транспортирования фекалий по трубам, успешно реализованный в системе Лирнура, первоначально был предложен французским инженером Дюмоном в 1862 г. [4, с. 24].

На основе анализа опыта эксплуатации раздельных систем канализации в конце XIX в. у большинства специалистов по санитарной технике и гигиене городов сложилось представление, что «разделительная система, основанная на вылавливании густых частей из ватерклозетных стоков, не может иметь ни теоретического, ни практического оправдания» [6, с. 324]. Эти представления оказали негативное влияние на дальнейшее развитие концепции *разделения экскрементов на отдельные потоки и выделения хозяйственных сточных вод в отдельный поток*. Возобновление поиска по интенсивному развитию этой концепции началось практически спустя столетие – в конце XX в.

Наиболее значимым изобретением в области совершенствования конструкции выгребов для сбора нечистот безусловно является выгреб, называемый в строительной практике XIX столетия «самодействующий устранитель нечистот системы аббата Моньо» (в литературе на русском языке, изданной позже 1900 г., фамилия аббата пишется Муанье или Муаньо). Особо следует отметить, что *выгреб системы Моньо является первообразом биологического реактора очистки сточных вод в анаэробных условиях*. В книге И.И. Битнера [5] отмечено, что «самоустранитель нечистот аббата Моньо изобретен им довольно давно и до обращения на него в 1881 г. всеобщего внимания над этим выгребом производились самые тщательные испытания в течение десяти лет». Характерной особенностью выгреба Моньо, отличающей его аппарат от большинства других типов выгребов, является то, что он предлагался автором для эксплуатации в отхожих местах, оборудованных ватерклозетами. Выгреба системы Моньо в нашей стране назывались выгреб Шамбо, по причине того, что техник Шамбо являлся представителем привилегированной системы Моньо в России. В книгах [7, 8] приводится информация о том, что первая конструкция выгреба, герметически закрытого загнивателя, была предложена французским изобретателем Луи Мура (Mouras) в 1860 г. В Англии первый септический био-реактор – «септик-тэнк» был построен инженером Камероном в 1895 г. [8].

Следует отметить, что многочисленные положительные отзывы от достаточно широкого внедрения в практику выгребов системы Моньо *способствовали формированию концепции строительства в поселениях децентрализованной схемы сплавной канализации с локальными очистными сооружениями*.

Несмотря на доминирование концепции устройства сплавной раздельной канализации

в настоящее время *вывозная система по-прежнему применяется во многих странах в неканализованных районах крупных городов и в малых поселениях*.

В книге М.Ю. Белявского [8] отмечается, что в 50-х гг. XIX столетия «*после десятилетней практики сплава в Темзу нечистот города Лондона через посредство уличных дождевых каналов, многочисленными специальными комиссиями был окончательно выяснен величайший вред, наносимый здоровью населения загрязнением реки*». В этот период были проведены натурные исследования и разработаны теоретические основы *процесса самоочищения рек от загрязнений, поступающих со сточными водами*. Уже тогда было отмечено, что значительную роль в процессе самоочищения поверхностных водных объектов выполняют водоросли (альги) и солнечный свет, а бактерии, живущие в сточных и речных водах, и различные микроорганизмы своей жизнедеятельностью выполняют процесс окисления органических загрязнений [8]. В конце 70-х гг. XIX в. французские химики установили, что нитрификация в почве происходит под действием живого фермента.

На основе исследований, выполненных Петтенкофером, Кнауфф и рядом других ученых, было предложено следующее правило: допускается спускать в реку сточные воды, если наибольший секундный расход составляет 1:15–1:50 наименьшего расхода (в межень) реки и скорость течения воды в ней не менее чем у сточных вод, т. е. не менее 0,6 м/с [9]. Для исследования речной воды и влияния на состояние рек сброса в них городских сточных вод в Англии в 1868 г. была создана комиссия Rive pollution commission, которая поставила работу в этой области на научную основу [4, с. 28]. На базе рекомендаций по выбору метода очистки сточных вод, разработанных учеными, входящими в состав комиссии, в Англии был принят «Public Health Act 1875», который *считается первым в Европе законом, направленным на защиту рек от стока в них экскрементов и загрязняющих веществ, содержащихся в производственных сточных водах* [9, с. 32]. Изданный в 1876 г. закон «Rivers Pollution Act» запрещал возможность образования новых источников загрязнения рек, подробно описывал требования к составу сточных вод на выпуске и, самое главное, поручал наблюдать за этими вопросами не местному, а центральному санитарному управлению Англии.

В 1886 г. членами специальной комиссии третьего (строительного) отдела Императорского русского технического общества был опубликован доклад, согласно которому «*все те системы, которые не допускают устройства ватерклозетов, должны остаться неудовлетворительными, если взамен ватерклозетов они не вводят другого устройства*» [6, с. 331]. В 1895 г. специальная секция «Русского общества охранения народного здоровья» приняла общие положения по удалению нечистот из городов, основными из которых являются следующие:

сточные воды из городов необходимо отводить по подземной сети трубопроводов, атмосферные осадки допускается отводить по поверхности улиц; «для предупреждения засорения рек и естественных водоемов не следует спускать в них грязные домовые и фабричные воды, как содержащие, так и не содержащие фекалии, без предварительной очистки их» [6, с. 332].

Концепция очистки сточных перед выпуском их в поверхностные водные объекты практически появилась одновременно с реализацией первых проектов по строительству перехватывающих общесплавных канализационных коллекторов (для Лондона такой проект был выполнен в 1854 г., строительство осуществлялось с 1859 по 1865 г. [2]). В конце XIX столетия во многих европейских государствах строительство выделительных станций на выпусках сточных вод с применением механических методов очистки для задержания мусора и оседающих веществ стало нормативным требованием административных организаций.

Следующим этапом в повышении качества очистки сточных вод было внедрение в практику технологии обработки сточных вод химическими реагентами в Англии и Германии. Первым исследователем в этой области считается Хайгс (W. Higgs), который в 1846 г. взял патент в Англии на способ очищения сточных вод посредством обработки их известью и хлорным газом [4]. Первая станция очистки химическим методом была введена в эксплуатацию около 1860 г. До этого было произведено большое число экспериментов с применением в качестве реагентов практически всех известных в то время химических соединений и их комбинаций с добавлением в ряде способов порошкообразных веществ (торф, зола, древесный и костяной уголь, асбест, глина и пр.). Только в Англии с 1846 по 1886 г. было выдано 454 патента на способы очистки сточных вод химическим методом. В работе инженера-технолога П.Ф. Горбачева [4] четко сформулирована актуальная и сегодня **концепция** поиска рационального решения по обезвреживанию сточных вод посредством их очистки с выделением загрязнений с целью их утилизации. Им отмечено, что «в первое время все усилия изобретателей были направлены к тому, чтобы наряду с обезвреживанием сточных вод получить ил с наибольшим содержанием удобрительных веществ». В период 1870–1877 гг. в Англии ряд компаний, занимающихся переработкой сточных вод в удобрения, прекратили свое существование из-за нерентабельности производства. Это послужило формированию представления о том, что невозможно получить доходное предприятие по химической очистке сточных вод. При этом следует отметить, что коммерческие предприятия по переработке сточных вод с применением реагентов (фосфорнокислый алюминий, фосфорнокислая известь, фосфорнокислый магний и др.), позволяющих дополнительно повысить ценность производимых удобрений, также оказались нерентабельными.

По данным П.Ф. Горбачева [4], в 1889 г. в Англии химическая очистка сточных вод осуществлялась в 16 городах, в том числе в Лондоне. В Германии аналогичные станции действовали в 10 городах, а во Франции в двух городах. Широкому применению химического метода во многих случаях способствовало отсутствие вблизи с городами земельных участков с почвой, пригодной для устройства полей орошения.

Для оценки фактического положения в области сбора и обезвреживания домовых сточных вод в конце XIX столетия следует принять к сведению следующие статистические данные: во Франции *вывозная система экскрементов* применялась на всей или части территории – 431 из 448 городов; в Германии в 217 городах из 235; в Бельгии, Голландии и Австрии почти во всех городах [4].

Применение химической очистки на практике показало, что у этого метода имеется ряд недостатков, основным из которых является образование большого количества осадка, для которого нет практического применения.

К числу наиболее интересных поисковых работ, выполненных в период 80–90-х гг. XIX столетия, следует отнести: исследования по применению реагентов, обладающих способностью окислять органические загрязнения и дезинфицировать очищенные сточные воды (перманганат калия, гипохлорит кальция и натрия и др.); исследования по электрохимической очистке сточных вод в электролизерах с растворимыми анодами из железа (способ Вебстера 1890 г.); исследования по дезинфекции и очистке сточных вод посредством смешения их с морской водой или раствором хлористого натрия, которые предварительно были подвергнуты обработке в электролизерах с угольными электродами (способ предложен Эрмитом и испытан на промышленной установке в 1892 г.); исследования по «взбалтыванию сточных вод с воздухом» и аэрации их на градирнях с загрузкой из проволоочной решетки; исследования по экстракции бензином или сернистым углеродом жиров из осадков сточных вод и утилизации жиров в качестве смазочных веществ и сырья для производства мыла [4, 8, 9].

Кроме перечисленных выше поисковых работ, следует обратить внимание на исследования по применению огневого метода обезвреживания экскрементов. За период с 1878 по 1883 гг. в Москве и С.-Петербурге было построено несколько крупных жилых и общественных зданий, оборудованных печами для сжигания человеческих экскрементов и хозяйственных вод [5].

По мере распространения в европейских городах практики использования сплавной канализации со сбросом сточных вод в реки, происходило накопление информации, на основе которой были сформулированы основные положения *концепции о необходимости очистки и обеззараживания сточных вод перед выпуском их в водные объекты.*

Параллельно с развитием теории и практики очистки сточных вод механическими и химическими методами происходило совершенствование и внедрение в ряде городов технологий утилизации сточных вод на полях орошения сельскохозяйственных угодий и обезвреживания сточных вод на полях фильтрации. Одним из фундаментальных английских санитарных законов, определившим главное направление в поиске рациональной технологии «оздоровления городов», является «Sewage Utilization Act 1865», в котором приведены указания относительно сельскохозяйственной обработки сточных вод, сплавляемых по каналам на поля орошения за границей города [9].

Первые поля орошения, предназначенные специально для очистки городских сточных вод, были построены по предложению инженера Лейтама в английском городе Кройдон в 1860 г. по причине наложения запрета судом на сброс сточных вод из общесплавной канализации в ручей, протекающий вблизи города [4, с. 57]. К концу XIX столетия в Англии поля орошения эксплуатировались уже в 42 городах. Во Франции первые опыты по применению полей орошения начались в 1869 г. под Парижем, а в Германии первые поля орошения были устроены в 1872 г. в Данциге. В Германии поля орошения получили широкое распространение, а в других странах континентальной Европы (Италия, Испания и Швейцария) имеются только единичные примеры строительства таких сооружений.

На международном гигиеническом конгрессе в Лондоне (1892 г.) способ очистки сточных вод на полях орошения был признан самым лучшим из известных к тому времени способов [8]. Это способствовало тому, что в ряде крупных городов (Лейчестер, Берлин, Париж, Москва, Киев, Одесса и др.) в конце XIX в. были построены канализационные сети, по которым сточные воды отводили на поля орошения. Следует отметить, что в начале XX в. новые станции очистки сточных вод химическим методом уже не строились. Практика строительства и эксплуатации полей орошения показала, что данная технология очистки сточных вод имеет целый ряд ограничений.

Систематические лабораторные и натурные исследования по фильтрованию сточных вод на различных видах почвы, выполненные Эдуардом Франклендом в 1868 г. [4, 8], позволили ему разработать практические рекомендации по эксплуатации полей орошения и предложить технологию перемежающейся (или периодической) фильтрации, которая является первообразом искусственной биологической очистки на биофильтрах с использованием аэробных бактерий. Технология периодической фильтрации нашла широкое практическое применение в штате Массачусетс в Северной Америке благодаря тому, что в 1887 г. там были начаты экспериментальные исследования по совершенствованию этого метода очистки [8, 10].

Важным этапом исследований по очистке сточных вод биологическим методом в анаэробных условиях являются эксперименты, выполненные Скотт Монкриевым и Дибдином в Англии и Шведером в Германии [11, с. 590]. Результаты их исследований кардинально повлияли на поиск высокоэффективного, низкочастотного и универсального, не зависящего от местных (геологических, гидрологических и др.) условий метода очистки сточных вод и практически способствовали формированию нового направления в исследованиях – на сооружениях искусственной биологической очистки.

В начале 80-х гг. XIX в. английский химик Варрингтон на основе экспериментов установил, что процесс окисления органических веществ, содержащихся в сточных водах, в почве происходит при участии микроорганизмов, и обосновал возможность создания искусственной среды с большей окислительной производительностью, чем обладает натуральная почва. Кроме того, были сформулированы научные положения предложенной им ферментативной теории нитрификации [8].

К 1901 г. было построено большое число станций очистки с биофильтрами различных конструкций, например, в городах: Дарлингтон, Спенимур, Молверн, Типтон, Вульвергамтон, Агрингтон, Гарфильд, Аштед, Баргед и др. [12, с. 156]. Значительные результаты по совершенствованию биологического метода очистки были получены профессором Дунбаром на опытной станции в Гамбурге (1901–1902 гг.), профессором Calmette на опытной станции во французском городе Лилле (1904 г.), в России доктором С.К. Державским на опытной станции в Царском селе (1902–1905 гг.) и инженером М.И. Биманом на опытной станции септических танков и биофильтров, расположенной на Московских полях орошения (1903 г.) [13, 14].

Существенное видоизменение в технологии биологической очистки произошло после проведения профессором Дунбаром в Гамбурге экспериментов по интенсификации процесса окисления загрязнений в биореакторе за счет подачи в него воздуха для устранения «гнилостного разложения» [11, с. 591]. Исследования Фуулера, выполненные в 1912–1913 гг. по теоретическому обоснованию очистки сточных вод в свободном объеме жидкости с использованием аэрации, а также эксперименты Ардерна и Локетта, выполненные в 1914 г. по аэрации сточных вод в открытых емкостях с помощью керамических пластин, позволили им разработать классическую схему биологической очистки с рециркуляцией активного ила на комплексе сооружений – аэротенк и вторичный отстойник [15, с. 122].

В 1899 г. на четвертом русском водопроводном съезде по предложению инженера-технолога П.Ф. Горбачева [11, с. 583–591] делегатами была единогласно одобрена концепция сравнения способов очистки – «из искусственных способов очищения *раци-*

ональными являются те, которые при достаточной степени очищения сточных вод обеспечивают также и возможность правильного и удобного удаления грязных осадков, остающихся после очищения».

В первой четверти XX в. бурный рост промышленного производства и, как следствие, резкое увеличение численности городского населения привели к тому, что концепция биологической очистки сточных вод занимает лидирующую позицию по сравнению с технологией утилизации сточных вод на полях орошения. Это превосходство было законодательно закреплено введением в практику нормативных документов в виде норм и правил проектирования таких объектов. В то же время в нормативных документах прямого запрета на применение технологии почвенной очистки сточных вод не было, и сегодня действуют нормативные документы, регламентирующие правила проектирования и эксплуатации объектов с применением такой технологии (СП 32.13330.2012, СанПиН 2.1.7.573-96, DIN EN 12566, рамочная директива ЕС 86/278 EWG и др.).

По мнению авторов монографии [16, с. 394], в Европе в XX столетии при проектировании систем переработки сточных вод не применялось требование по использованию питательных веществ, содержащихся в сточных водах. В техническом справочнике компании «Дегремон» [17, с. 115] отмечается, что в настоящее время основной целью повторного использования сточных вод в сельском хозяйстве является полив растений, а не почвенная очистка или внесение питательных веществ.

В первой четверти XX в. **общепринятой парадигмой** становится метод канализования населенных пунктов по централизованной схеме с устройством коммунальных станций очистки бытовых сточных вод биологическим методом.

По истечении ста лет с начала применения биологической очистки бытовых сточных вод в сознании исследователей и практиков сложилась система научных знаний, из которых следует, что данный метод очистки неизменно остается одним из самых надежных, экономически оправданных и перспективных. В то же время общеизвестно, что биологическая очистка, основанная на использовании микроорганизмов для биохимического окисления загрязнений, имеет существенные недостатки:

- биодеструкция и трансформация органических и минеральных веществ с помощью аэробных бактерий сопровождается выделением колоссального количества углекислого газа в атмосферу и потреблением большого количества кислорода;

- в процессе очистки в аэробных условиях происходит прирост биомассы (0,5–1,5 кг на 1 кг удаляемого БПК [15]), что приводит к существенному увеличению количества сухого вещества в осадке, выделяемого из сточных вод;

- в процессе очистки в анаэробных условиях происходит прирост биомассы в 10 раз меньше, чем

при аэробном процессе, кроме того, применение анаэробных реакторов позволяет получать биогаз, но наличие целого ряда технологических недостатков (например, небольшие скорости реакции процесса) у анаэробного процесса ограничивает его применение в виде самостоятельной стадии и определяет его применение как обязательное дополнение к аэробному процессу очистки сточных вод [15];

- на станциях очистки сточных вод, работающих по традиционной технологии биологической очистки с аэротенками, в настоящее время не задерживаются в надлежащей мере синтетические органические вещества, в числе которых лекарственные препараты, моющие средства, гербициды и другие, широко применяемые в быту и промышленности новые синтетические органические вещества;

- обработка и захоронение осадков, образующихся на станциях биологической очистки сточных вод, является достаточно сложной и энергозатратной технологией.

По данным работы [18] к числу перспективных направлений в области искусственной биологической очистки относятся технологии по культивированию микроводорослей с использованием в качестве субстрата сточных вод. При реализации этой технологии положительным является то, что эмиссия парниковых газов существенно снижается за счет выделения водорослями кислорода в результате фотосинтеза и поглощения водорослями углекислого газа, а также достигается высокий эффект удаления биогенных элементов и ряда тяжелых металлов из сточных вод. Для реализации такого процесса требуются значительные земельные площади, поэтому данную технологию рекомендуется применять только на станциях очистки небольшой производительности в сельской местности. Кроме того, современные исследования показали, что культивирование микроводорослей на сточных водах для производства биотоплива неэффективно, по сравнению процессом культивирования микроводорослей на пресной воде.

Одним из основных направлений по интенсификации работы биореакторов биологической очистки является повышение в них концентрации биоценоза. Поиск технологических решений для достижения этой цели привел к разработке и внедрению в практику большого ряда высокоэффективных комбинированных биореакторов и сооружений. Доза ила в классических аэротенках на практике поддерживается 1,2–3 г/л с целью обеспечения нормальной работы вторичных отстойников [15, 19]. Окислительная мощность по БПК классических капельных биофильтров при полной биологической очистке городских сточных вод составляет 0,1–0,3 кг/(м³·сут) [20], а классических аэротенков – 0,1–1,5 кг/(м³·сут) [15]. В модифицированных аэротенках с погружными или внешними мембранными фильтрами доза ила не должна превышать 12–16 г/л [21]. В современных конструкциях

аэрируемых затопленных биофильтров с загрузкой из гранулированного или порошкообразного активного угля концентрация биоциноза может быть доведена до 15–50 г/л [22], а окислительная мощность по БПК биофильтров с псевдооживленным слоем загрузки – до 10 кг/(м³·сут) [23]. В настоящее время совершенствование технологии обезвреживания бытовых сточных вод, основанной на применении биореакторов для основной биологической очистки в аэробных условиях, очевидно, достигло предельного уровня по окислительной мощности органических и минеральных веществ.

Применение традиционного методологического способа поиска высокоэффективных технологий обработки сточных вод, основанного на приеме комбинирования различных технологических процессов, по-прежнему позволяет исследователям получать новые знания и технологические решения, позволяющие достигать требуемого уровня очистки сточных вод. Это подтверждается материалами литературных обзоров, выполненных В.Я. Кофманом [18, 24–26]. Наряду с выполнением традиционных исследований по интенсификации технологии биохимического окисления посредством комбинирования процессов биологической и физико-химической очистки, селекции штаммов и культур микроорганизмов, способных не только разрушать, но и утилизировать сложные синтетические органические соединения, наблюдается увеличение количества публикаций по результатам исследований аспектов темы – обработка и утилизация компонентов сточных вод, получаемых на основе реализации базового технологического приема – разделения бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод на два или три потока.

На основе обобщения результатов современных исследований можно сделать вывод о том, что биологическая очистка является одним из основных процессов (элементов схемы) при разработке новых модифицированных технологий обработки разделенных потоков бытовых сточных вод. Обработка на станциях очистки более концентрированных бытовых сточных вод за счет выделения из них хозяйственных (серых) сточных вод однозначно повысит энергоэффективность применения аэробных биореакторов и позволит расширить практику применения анаэробных биореакторов.

По данным автора статьи [26] в ряде зарубежных стран по разработке технологий разделения бытовых сточных вод на отдельные виды и их раздельной обработки с конца 1990-х гг. выполняются систематические исследования и производственные испытания, но, самое главное, в Германии уже разработаны нормативы для повторного не питьевого использования серых сточных вод.

Из всего перечня актуализированных отечественных СНиПов, устанавливающих нормы проек-

тирования систем внутренней и наружной канализации различных объектов, только в СП 53.13330.2011 допускается при отведении сточных вод из зданий на территории садоводческих (дачных) объединений граждан выделение хозяйственных сточных вод в отдельный поток для последующей их индивидуальной обработки.

При описании актуальных задач по очистке городских сточных вод составители справочника по наилучшим доступным технологиям ИТС 10-2015 указывают, что в настоящее время «происходит кардинальная смена парадигмы очистки сточных вод централизованных систем водоотведения – с переходом от задачи очистки (уничтожения загрязнений) к задаче рекуперации всех компонентов сточных вод, при сохранении эффективности очистки». Следует обратить внимание на то, что в ИТС 10-2015 ничего не сказано о технологиях разделения бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод на несколько потоков и их раздельной обработки.

В странах ЕС регулирование в области охраны окружающей среды и комплексного предотвращения и контроля загрязнений, посредством внедрения наиболее доступных технологий, осуществляется в соответствии с Директивой ЕС 96/61/ЕС в редакции Директивы 2008/1/ЕС. Ключевые требования в обращении с городскими сточными водами изложены в Директиве 91/271/ЕЕС. Относительно вопроса о повторном использовании компонентов сточных вод в Директиве 91/271/ЕЕС в статьях 12 и 14 написано, что очищенные сточные воды и осадки, выделенные при их очистке, должны привлекаться к повторному использованию, а маршруты их утилизации должны быть разработаны так, чтобы свести к минимуму их отрицательное воздействие на окружающую среду.

Выводы. 1. Основным методологическим принципом при разработке рациональных технологий по отведению и очистке сточных вод является выбор и обоснование целесообразности применения технологических решений по разделению (или смешению) отдельных категорий и видов сточных вод, отводимых от различных приемников сточных вод (санитарных приборов и других технических устройств). Анализ технической литературы и нормативной документации по канализованию поселений и промпредприятий, опубликованных в период с 1840 г. по настоящее время, показывает, что границы поиска новых технологических приемов по сбору, отведению и очистке сточных вод, а также границы исследований по совершенствованию практически применяемых способов обработки сточных вод непрерывно расширяются.

2. На выбор технологии удаления и обезвреживания хозяйственных и фекальных сточных вод существенное влияние оказывают местные условия. В число основных параметров, влияющих на выбор технологии, входят: расход сточных вод, образу-

щихся в поселении или на объекте канализования; климатические, геологические и гидрологические условия на территории объекта; рельеф местности и, самое главное, наличие и параметры поверхностного водного объекта, который может быть использован в качестве приемника очищенных сточных вод.

3. Формирование и развитие прикладной технической науки «канализация» как составной части отрасли научных знаний «санитарная техника» было обусловлено запросами общественно-исторической практики. Эволюционное развитие санитарной техники, берущей свое начало в накопленных до середины XIX столетия практически-обыденных знаниях о гигиене человека и строительстве водоводов и водостоков, перешло в интенсивное развитие по причине формирования конкретного запроса практики: поиск технологии сбора и удаления человеческих экскрементов из городских домов, обеспечивающей улучшение санитарных условий в жилищах и в поселениях в целом. Экономические затраты на транспортирование нечистот к месту их обезвреживания так же, как и сегодня, входили в число ключевых показателей при сравнении технологий. В 70-х гг. XIX в. были начаты работы по нормированию загрязнений в очищенных сточных водах с целью снижения отрицательного воздействия на окружающую среду. Практическая реализация мероприятия по предотвращению эвтрофикации водных объектов стала осуществляться в ряде стран только в конце XX в., несмотря на то, что отрицательное воздействие биогенных веществ, сбрасываемых со сточными водами, и основы процессов нитрификации и денитрификации были изучены во второй половине XIX в.

4. В истории развития санитарной техники за период с середины XIX столетия до настоящего времени можно условно выделить **пять этапов**, отличающихся между собой тем, что на протяжении определенного промежутка времени в развитых странах доминировала конкретная (определенная) система теоретических и нормативных положений по вопросам сбора, отведения, очистки и утилизации компонентов сточных вод.

На первом этапе доминировала система теоретических и нормативных положений по вопросам сбора и удаления сточных вод, нацеленная на внедрение новых технологий: замены выгребов на ва-терклозеты и сплава экскрементов и хозяйственных сточных вод совместно с поверхностными сточными водами по системе водосточных трубопроводов и каналов в водные объекты без сооружений очистки.

На втором этапе – система общесплавной канализации должна была быть дополнена *сооружениями механической и химической очистки* для выделения загрязнений на выпусках сточных вод в водные объекты.

На третьем этапе – система канализации должна была быть дополнена *сооружениями почвенной*

очистки на сельскохозяйственных полях орошения или полях фильтрации.

На четвертом этапе – в составе централизованной системы канализации для обезвреживания бытовых сточных вод должны были применяться сооружения механической (первичной) и биологической (вторичной) очистки.

На пятом (современном) этапе – в составе централизованной системы канализации для обезвреживания бытовых сточных вод должны применяться коммунальные сооружения механической (первичной) и биологической (вторичной) очистки, а для крупных станций очистки с выпуском сточных вод в чувствительных зонах водных объектов требуется дополнительно применять технологии (третичной) очистки для удаления соединений азота и фосфора.

5. В первой четверти XX в. **общепринятой парадигмой** становится метод канализования населенных пунктов по централизованной схеме с устройством коммунальных станций очистки бытовых сточных вод биологическим методом. В настоящее время совершенствование технологии обезвреживания бытовых сточных вод, основанной на применении биореакторов для искусственной биологической очистки в аэробных условиях, *достигло предельного уровня по окислительной мощности органических и минеральных веществ.*

6. В начале XXI в. **происходит смена парадигмы** в области сбора, отведения и очистки бытовых сточных вод по причине возобновления поиска ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих сокращение эмиссий в окружающую среду, за счет внедрения в практику технологических решений по разделению бытовых (хозяйственно-фекальных) сточных вод на отдельные потоки с целью производства из компонентов сточных вод вторичной продукции.

7. Перспективным направлением по комплексному решению задачи отведения и обезвреживания бытовых сточных вод является дальнейшее развитие концепции разделения их на отдельные потоки с целью достижения гигиенических, природоохранных и других технологических нормативов при осуществлении процессов очистки сточных вод и утилизации компонентов сточных вод. Биологическая очистка наряду с физико-химической очисткой является одним из основных процессов при разработке новых модифицированных технологий обработки разделенных потоков хозяйственных и фекальных сточных вод.

8. В действующей нормативной документации РФ (за исключением норм по проектированию канализации на территории садоводческих (дачных) объединений граждан) нет указаний о рассмотрении возможности разделения хозяйственных и фекальных сточных вод на отдельные потоки.

9. Законодательное и нормативное закрепление *концепции по отведению из многоквартирных жилых*

зданий хозяйственных и фекальных сточных вод в одном потоке на очистные сооружения централизованной системы канализации препятствует внедрению в практику передовых модифицированных технологических решений по сбору, отведению и очистке сточных вод, обеспечивающих возможность производства из компонентов сточных вод вторичной продукции.

10. Ключевым фактором, определяющим объем и уровень экспериментальных исследований и натурных испытаний технологических решений по разделению бытовых сточных вод на несколько потоков с целью осуществления их раздельной очистки и утилизации компонентов сточных вод, является разработка и утверждение нормативных документов, регламентирующих основные санитарные правила и технологические нормы применения таких технологий.

11. В ближайшей перспективе после разработки и внедрения модифицированных технологий разделения экскрементов и хозяйственных сточных вод с целью раздельной их обработки с утилизацией компонентов сточных вод будет осуществляться постепенный переход от централизованной к децентрализованной раздельной системе канализации для хозяйственных и фекальных сточных вод.

12. Принимая во внимание выявленные в современных условиях проблемы с «новыми загрязняющими веществами» (emerging contaminants), обнаруженными в городских сточных водах на выходе с сооружений биологической очистки, вопрос о перспективности применения огневого метода для обезвреживания человеческих экскрементов должен быть исследован на новом уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Николин Я.И.* Исторический очерк развития канализации городов. Отдел 1. Древний мир. Томск: Типо-Литография Сибирского товарищества печатников, 1909. 62 с.
2. *Попов М.* Санитарные мероприятия. Стоки за границую и в России. Отдел первый. Городские и загородные стоки за границую. СПб.: Типография Эдуарда Гоппе, 1875. 221 с.
3. *Галанин М.И.* Санитарная организация в Западно-Европейских государствах. Ч. 1. Англия, Австрия, Германская Империя, Италия, Франция. СПб.: Товарищество паровой скоропечатни Яблонский и Перотт, 1889. 213 с.
4. *Горбачев П.Ф.* Удаление и уничтожение нечистот в Западной Европе. СПб.: Типография Министерства Внутренних Дел, 1898. 137 с.
5. *Битнер И.И.* Разнообразные системы устройства выгребов отхожих мест и приборов, заменяющих выгребы (отдельный оттиск из журнала «Инженерный журнал», 1892, № 10,11 и 12). С.-Петербург: Типография и литография В.А. Тиханова, 1892. 132 с.
6. Труды Русских водопроводных съездов. Съезд третий. 19–25 марта 1897 г. в С.-Петербурге. М.: Типо-литография Т-ва И.Н. Кушнерев и Ко, 1898. 383 с.
7. *Иванов А.Д.* Очистка сточных вод биологическим, механическим и химическим способами. М.: Товарищество типографии А.И. Мамонтова, 1908. 58 с.
8. *Белявский М.Ю.* Канализация городов. Очерк современного состояния канализационной техники в связи с очисткой сточных вод. Симферополь: Паровая типография Тавр. Губерн. Земства, 1909. 282 с.
9. *Галанин М.И.* Санитарная организация в Западно-Европейских государствах. Ч. 1. Англия, Австрия, Германская Империя, Италия, Франция. СПб.: Товарищество паровой скоропечатни Яблонский и Перотт, 1889. 213 с.
10. *Еншь А.* Принципы очистки городских и фабричных сточных вод и спуск их в реки // Зодчий. 1910. №13. С. 135–139, №15. С. 155–159, №18. С. 189–194, №19. С. 205–212, №20. С. 217–225.
11. Труды Русских водопроводных съездов. Съезд четвертый. 4–11 апреля 1899 г. в Одессе. М.: Типо-литография Т-ва И.Н. Кушнерев и Ко, 1901. 641 с.
12. *Платс И.О.* О применении биологического способа к полной очистке клоачных вод // Труды Русских водопроводных съездов. Съезд пятый. 25 марта 1901 г. в Киеве. М.: Типо-литография Т-ва И.Н. Кушнерев и Ко, 1902. С. 144–168.
13. *Иванов В.Ф.* Санитарная техника. Канализация населенных мест. Киев: Типография А.М. Пономарева п. у. И.И. Врублевского, 1911. 460 с.
14. *Биман М.И.* Очистка сточных вод г. Москвы. М.: Городская типография, 1909. 25 с.
15. *Жмур Н.С.* Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
16. *Онищенко Г.Г., Карамзинов Ф.В., Кирилов В.В.* Системный бенчмаркинг канализования, комплексная оценка и обеспечение безопасности водных источников: в 2 т. Т.1. СПб.: Новый журнал, 2011. 528 с.
17. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. Т. 1 / пер. с фр. СПб.: Новый журнал, 2007. 775 с.
18. *Ковман В.Я.* Культивирование микроводорослей для удаления биогенов из сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 6. С. 61–71.
19. *Демидов О.В., Скирдов И.В.* Интенсификация процесса биологической очистки сточных вод / О.В. Демидов, И.В. Скирдов // Водоснабжение и санитарная техника. 1996. № 3. С. 16–18.
20. *Возная Н.Ф.* Химия и микробиология. М.: Высш. школа, 1979. 340 с.
21. *Швецов В.Н., Морозова К.М., Нечаев И.А.* Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 12. С. 25–29.

22. Воронов Ю.В., Саломеев В.П., Ивчатов А.Л. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / под ред. С.В. Яковлева. М.: Стройиздат, 1990. 224 с.

23. Хенце М., Армозс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод / пер.с англ. М.: Мир, 2009. 480 с.

24. Кофман В.Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод. Ч.1 // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 10. С. 68–78.

25. Кофман В.Я. Новые окислительные технологии очистки воды и сточных вод. Ч.2 // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 11. С. 70–80.

26. Кофман В.Я. Повышение эффективности использования водных ресурсов: децентрализованная обработка серых сточных вод: (обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 4. С. 30–41.

Об авторе:

ШУВАЛОВ Михаил Владимирович
кандидат технических наук, директор
Академии строительства и архитектуры,
доцент кафедры водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. (846)242-41-70
E-mail: ekos240@gmail.com

SHUVALOV Mikhail V.
PhD in Engineering Science, Director of the Academy of Civil
Engineering and Architecture, Associate Professor of the Water
Supply and Wastewater Chair
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846)242-41-70
E-mail: ekos240@gmail.com

Для цитирования: Шувалов М.В. Диалектика совокупности теоретических, методологических и нормативных положений, применяемых для проектирования канализации поселений // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №2. С. 35–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.6.

For citation: Shuvalov M. V. Dialectics of the Totality of Theoretical, Methodological and Normative Provisions Applied for the Design of the Settlements Sewage System // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, 2. Pp. 35-45. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.6.