

Шаманский С.И., канд. техн. наук, **Бойченко С.В.**, докт. техн. наук,
проф., **Матвеева И.В.**, докт. техн. наук

Национальный авиационный университет, Киев

просп. Комарова, 1, 03058 Киев, e-mail: shamanskiy_s_i@ukr.net, chemmology@ukr.net

Технологические основы организации экологически безопасного функционирования системы водоотведения

Современные системы отведения и очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, которые применяют традиционные методы очистки, не всегда могут обеспечивать приемлемое качество очищенных стоков для их безопасного сброса в водные объекты. Кроме того, применяемые способы утилизации осадков, образующихся в процессе очистки, приводят к существенному негативному влиянию на окружающую среду. Возникает необходимость в дополнительной очистке стоков и в совершенствовании способов утилизации осадков. В статье проанализированы достоинства и недостатки современных методов дополнительной очистки стоков и способов утилизации их осадков. Предложена организация системы хозяйственно-бытового водоотведения с дополнительной очисткой в фотобиореакторах стоков с использованием их как среды для культивирования энергетических микроводорослей и производством жидкого биотоплива третьего поколения, а также с обработкой осадков сточных вод в установках анаэробного сбраживания с получением обогащенного метаном биогаза, экологически безопасного органического удобрения и углекислого газа с его использованием в фотобиореакторах для обеспечения процесса фотосинтеза. *Библ. 18, рис. 1.*

Ключевые слова: биотопливо, возобновляемые источники энергии, доочистка сточных вод, система водоотведения, утилизация осадка.

Во время функционирования авиапредприятий образуется несколько типов сточных вод, прежде всего хозяйственно-бытовые, производственные и поверхностные. Применяемые технологии их отведения и очистки зависят от их состава и могут существенно различаться [1–5]. Качество очищенной воды может различаться в зависимости от используемой технологии. Кроме того, во время процесса очистки образуется большое количество осадков, требующих утилизации. Вместе с тем, система водоотведения и очистные сооружения, в частности, являются тем местом, где возможно получать дополнительные нетрадиционные возобновляемые источники энергии [6]. Таким образом, развитие новых технологий, позволяющих не только повышать степень очистки сточных вод, но и получать дополнительные источники энергии, является актуальной задачей.

Цель данной работы — формирование технологических основ организации экологически безопасной и энергетически эффективной системы отведения и очистки хозяйственно-бытовых сточных вод традиционными методами механи-

ческой, биологической и биохимической очистки в сочетании с системой дополнительной очистки сточных вод и обработки их осадков с получением таких возобновляемых источников энергии, как биогаз и биомасса, для производства моторного биотоплива.

Методы дополнительной очистки сточных вод и обработки их осадков

Традиционные очистные сооружения для обработки хозяйственно-бытовых сточных вод обычно состоят из сооружений механической, биологической или биохимической очистки. Практика показывает, что использование этих методов не всегда может обеспечить остаточное качество очищенных стоков для их безопасного сброса в водные объекты. Это особенно проблематично, когда концентрация загрязнений в исходных сточных водах, подлежащих очистке, существенно меняется. В таких случаях возникает необходимость в их дополнительной очистке.

К наиболее распространенным методам дополнительной очистки можно отнести следующие:

– открытые биологические пруды, которые представляют собой искусственно созданные водоемы, процесс очистки в которых происходит за счет естественных процессов самоочищения [1];

– специально оборудованные пруды гидроплато-гидропонного типа, в основе которых также лежат процессы самоочищения. Гидропонный фильтр, состоящий из емкости, наполненной гидропоникой и имеющий дренажную систему для овода фильтрованной воды, использует способность высших водных растений, высаженных непосредственно в гидропонику, поглощать из сточных вод загрязнения в процессе жизнедеятельности [7];

– специальные фильтрующие грунтовые сооружения, на которых высаживаются грунтовые растения. Здесь также используется способность растений поглощать загрязнения из фильтрующей сквозь грунт сточной воды [8].

Общим недостатком всех этих методов является то, что применяемые сооружения требуют больших земельных площадей для их размещения. Кроме того, вокруг них устанавливаются санитарно-защитные зоны больших размеров, которые, в свою очередь, накладывают определенные ограничения на использование земель в их границах. Методы, действительно, позволяют повысить степень очистки стоков, но при этом они не дают возможности получения сколько-нибудь существенных дополнительных источников энергии.

Вместе с тем очищенные сточные воды могут быть непосредственно использованы для выращивания водных культур, способных усваивать имеющиеся в них остаточные загрязнения. Среди известных водных культур наиболее перспективными для использования можно считать микроводоросли. Скорость их роста достаточно высокая, в несколько раз превышающая скорость роста высших водных культур. При этом среди микроводорослей есть виды, способные быть хорошим сырьем для производства биотоплива [9, 10].

Среди известных культур микроводорослей с большим содержанием углеводов можно выделить следующие, % [11]: *Botryococcus brounii* – 25–85; *Neochloris oleoabundans* – 35–54; *Stichococcus sp.* – 40–59; *Nannochloropsis sp.* – 31–68; *Dunaliella tertiolecta* – 36–42; *Dunaliella salina* – 16–44; *Haematococcus pluvialis* – 25–45; *Senedesmus dimorphus* – 16–44; *Prymnesium parvum* – 22–38; *Tetraselmis suecica* – 20–30; *Chlorella sp.* – 28–32; *Chlorella vulgaris* – 14–22; *Isochrysis galban* – 22–38; *Euglena gracilis* – 14–20.

Из этого перечня видно, что наиболее перспективной можно считать культуру *Botryococcus brounii*, состав масла, извлеченного из которой, близок к составу сырой нефти, а содержание углеводов достигает 85 % по сухой массе.

Несмотря на это на практике возникает много проблем с искусственным культивированием таких микроводорослей, прежде всего из-за недостатков, присущих современным технологиям. Процесс культивирования проводят в фотобиореакторах, которые представляют собой сооружения для конверсии солнечной энергии в биомассу. Их конструируют открытого или закрытого типа. Оба типа имеют существенные недостатки.

Сооружения открытого типа [12, 13] представляют собой открытые емкости с культуральной жидкостью, в которую помещают микроводоросли для выращивания. Солнечный свет при этом поглощается микроводорослями через открытую поверхность воды. Главными недостатками этого типа фотобиореакторов является то, что они очень чувствительны к погодным условиям и требуют значительных затрат диоксида углерода, поскольку большая его часть теряется, уходя в атмосферу через свободную водную поверхность.

Реакторы закрытого типа [14, 15] представляют собой закрытые емкости в форме колб или труб (змеевиков) и имеют другие недостатки. Прежде всего это технические сложности при насыщении культуральной жидкости углекислым газом, низкая производительность из-за ограниченной растворимости углекислого газа в воде. Кроме того, организация непрерывного процесса культивирования также сталкивается со сложностями.

При использовании традиционных методов очистки хозяйственно-бытовых сточных вод образуются преимущественно два вида осадков: сырой (осадок первичных отстойников); активный ил (осадок вторичных отстойников). Они содержат значительное количество органических соединений (от 65 до 75 % по сухой массе). Среди наиболее распространенных методов их утилизации можно выделить следующие: сжигание; использование в качестве строительного материала; добавление в качестве кормовой добавки в рацион некоторых животных; использование в качестве органического удобрения на сельскохозяйственных угодьях.

Метод сжигания находит в последнее время распространение в Украине. Например, на Бортнической станции аэрации г. Киева реализуется проект по строительству илосжигательного предприятия.

Сжигание является очень быстрым способом избавления от осадка. Однако экономическая эффективность такого метода вызывает много вопросов. Осадок имеет высокую влажность и требует значительных затрат на испарение влаги перед началом горения.

Количество тепловой энергии, которая выделяется при сжигании 1 кг осадка, можно определить по формуле, МДж/кг:

$$Q_{сж} = q_{орг.ч} m_{орг.ч}, \quad (1)$$

где $q_{орг.ч}$ — нижняя теплота сгорания сухой массы осадка, МДж/кг; $m_{орг.ч}$ — сухая масса органической части в 1 кг влажного осадка, кг/кг.

Массу сухой органической части, которую содержит 1 кг влажного осадка, можно определить, используя формулу, кг/кг:

$$m_{орг.ч} [1 - w/100] (с/100), \quad (2)$$

где w — влажность осадка, определяемая процентным содержанием воды в нем, %; $с$ — содержание органических соединений в сухой части осадка, % (мас.).

Количество тепловой энергии, которое необходимо затратить на испарение влаги, содержащейся в 1 кг влажного осадка, можно определить по формуле, МДж/кг:

$$Q_{исп} = q_{исп} (w/100), \quad (3)$$

где $q_{исп}$ — общее количество тепловой энергии, необходимое для нагревания и испарения 1 кг вод, МДж/кг.

Осадки хозяйственно-бытовых сточных вод обычно имеют удельную теплоту сгорания сухой органической части $q_{орг}$ в пределах 16,8–27,8 МДж. Содержание органических веществ в сухой части осадка может составлять от 65 до 75 % (мас.) [1].

Энергетический баланс при сжигании свежего осадка, выгруженного из отстойников очистных сооружений, может выглядеть следующим образом.

Поскольку влажность осадка w , выгруженного из отстойников и уплотненного в илоуплотнителях, может составлять 96–98 %, масса его сухой органической части, в соответствии с формулой (2), будет составлять $m_{орг(сыр.осад)} = [1 - (96÷98)/100] × [(65÷75)/100] = 0,013÷0,030$ кг/кг.

Количество тепловой энергии, полученное при сжигании 1 кг такого осадка, в соответствии с формулой (1), будет находиться в пределах $Q_{сж(сыр.осад)} = (16,8÷27,8) · (0,013÷0,030) = 0,218÷0,834$, МДж/кг.

Общее количество тепловой энергии, необходимое для нагревания и испарения 1 кг влаги, находящейся в осадке, составляет $q_{исп} = 4,2$ МДж/кг [1]. Таким образом, количество тепловой энергии, необходимое для испарения влаги из 1 кг сырого осадка, в соответствии с формулой (3), составляет $Q_{исп(сыр.осад)} = 4,2 × (96÷98)/100 = 4,032÷4,116$, МДж/кг.

Из изложенного видно, что количество тепловой энергии, необходимое на испарение влаги из сырого осадка, в несколько раз превышает количество тепловой энергии, выделяющейся при сгорании его сухой части. Это делает процесс сжигания энергетически не окупаемым. При сжигании сырых осадков для поддержания устойчивого горения необходимо дополнительное топливо.

После механического обезвоживания влажность осадков хозяйственно-бытовых сточных вод колеблется от 75 до 85 %. При сжигании таких осадков энергетический баланс может выглядеть следующим образом.

Масса сухой органической части осадка, в соответствии с формулой (2), будет находиться в пределах $m_{орг(мех.обезвож.осад)} = [1 - (75÷85)/100] × (65÷75)/100 = 0,098÷0,188$, кг/кг.

Количество тепловой энергии, полученное при сжигании 1 кг обезвоженного осадка, в соответствии с формулой (1), будет находиться в пределах $Q_{сж(мех.обезвож.осад)} = (16,8÷27,8) × (0,098÷0,188) = 1,646÷5,226$, МДж/кг.

Количество тепловой энергии, необходимое для испарения влаги в этом случае, в соответствии с формулой (3), будет находиться в пределах $Q_{исп(мех.обезвож.осад)} = 4,2 · (75÷85)/100 = 3,15÷3,57$, МДж/кг.

Таким образом, положительный энергетический баланс можно получить при сжигании только обезвоженных осадков с более высокой теплотой сгорания его сухой органической части. При этом не учитывались необходимые затраты энергии непосредственно на процесс обезвоживания.

Многие осадки сточных вод могут содержать соли тяжелых металлов. Например, осадки, получаемые на Бортнической станции аэрации, такие соли содержат. При сжигании таких осадков возникает вопрос предотвращения выбросов тяжелых металлов в атмосферу вместе с продуктами сгорания. Возникает необходимость применения дорогостоящих систем очистки продуктов сгорания перед их выбросом.

При утилизации осадков посредством их использования в качестве строительных материалов также возникает необходимость зна-

чительных затрат энергии на их предварительную сушку.

Утилизация осадков в качестве пищевой добавки к рациону животных возможна только в отношении активного ила и при отсутствии в нем вредных примесей, способных ухудшить качество продуктов животноводства.

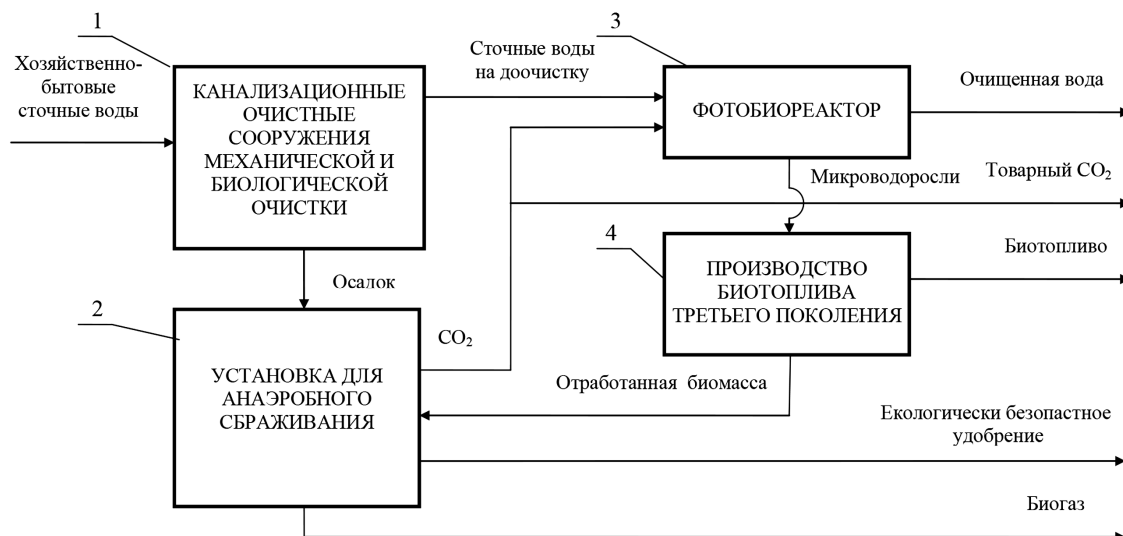
Организация системы водоотведения

Предлагаемая организация системы водоотведения базируется на двух различных принципиальных особенностях.

Первой отличительной особенностью является применение дополнительной очистки хозяйственно-бытовых сточных вод, прошедших традиционные очистные сооружения с механической и биологической очисткой, за счет использования их в качестве культуральной среды для выращивания микроводорослей. При этом предусматривается использование фотобиореактора, предложенного в [16], который представляет собой закрытый фотоблок цилиндрической формы, изготовленный из прозрачного материала. В него подаются очищенная сточная вода и микроводоросли для культивирования. В качестве культивируемых микроводорослей используют *Botryococcus braunii*. Фотоблок имеет возможность подачи внутрь углекислого газа и других необходимых элементов. Для улучшения усвоения углекислого газа микроводорослями фотоблок имеет возможность работы под избыточным давлением, что увеличивает растворимость углекислого газа в воде. Имея герметичные входные и выходные люки, внутреннюю полость, разделенную на отдельные емкости, а также механизм постепенного перемещения сточных вод вместе с культивируемыми микроводорослями из одной

полости в другую по направлению от входного люка к выходному, фотобиореактор обеспечивает непрерывность процесса культивирования. Из фотобиореактора сточные воды после извлечения из них микроводорослей могут сбрасываться в водоем. Часть микроводорослей служит «семенами» для дальнейшего культивирования и направляется назад в начало фотобиореактора, а остальная часть является «урожаем» и поступает на переработку для извлечения масел с последующим производством жидкого биотоплива третьего поколения [17]. Полученное биотопливо может использоваться для собственных нужд предприятия или поставляться на рынок. Оставшаяся после переработки биомасса микроводорослей, которая все еще богата органическими соединениями, направляется на анаэробное сбраживание вместе с осадком сточных вод, полученным на традиционных очистных сооружениях.

Второй отличительной особенностью организации системы водоотведения является применение анаэробного сбраживания осадков сточных вод, полученных после механической и биологической очистки, совместно с переработанной биомассой микроводорослей. Процесс брожения предлагается проводить в соответствии с технологией, предложенной в [18]. Она предусматривает организацию процесса брожения в соответствии с результатами последних исследований в области кинетики анаэробных процессов, поэтому процесс состоит из четырех последовательных стадий (гидролиз, кислотогенез, ацетогенез и метаногенез), в течение которых функционируют разные группы анаэробных микроорганизмов. Каждая из этих групп имеет различные оптимальные условия функционирования. В



Технологическая схема организации системы водоотведения хозяйственно-бытовых и близких к ним по составу сточных вод.

некоторых случаях эти условия по некоторым параметрам противоположны. Например, кислотогенные микроорганизмы активизируются при низких значениях pH среды, которые при активизации pH среды еще более уменьшаются. Это ингибирует развитие метаногенных бактерий и приводит к замедлению процесса, уменьшению степени окончательного разложения органических веществ и уменьшению выхода биогаза. И наоборот, метаногенные микроорганизмы активизируются при высоких значениях pH, но такие условия подавляют развитие кислотогенных микроорганизмов, что приводит к недообразованию кислот, которые являются исходным материалом для производства метана на стадии метаногенеза. В результате процесс также замедляется, степень разложения органических веществ уменьшается, и выход метана падает. Результаты исследований показывают, что обеспечение оптимальных условий на всех четырех стадиях анаэробного брожения возможно, если их отделить в пространстве друг от друга [13].

Предлагаемая установка представляет собой четыре последовательно расположенные емкости для независимого осуществления стадий гидролиза, кислотогенеза, ацетогенеза и метаногенеза. Каждая из емкостей оборудована устройствами для создания оптимальных условий на каждой из стадий. Смесь осадка сточных вод с отработанной после производства биотоплива биомассой микроводорослей проходит последовательно через все четыре емкости, осуществляя переход в емкость следующей стадии после полного завершения предыдущей стадии брожения. В емкостях создаются необходимые физические и химические условия для ускорения каждой стадии, а также для активного выделения углекислого газа на стадиях кислотогенеза и ацетогенеза с предотвращением активного выделения метана, а на стадии метаногенеза — условия для активного выделения метана и предотвращения активного выделения углекислого газа. Это позволяет существенно ускорить процесс брожения и получать отдельно углекислый газ с низким содержанием других примесей и отдельно биогаз с высоким содержанием метана, соответственно более высокого качества. Полученный углекислый газ может быть использован в фотобиореакторах для культивирования микроводорослей с одновременной доочисткой сточных вод или поставляться на рынок. Произведенный биогаз может быть использован для собственных нужд предприятия и очистных сооружений, например, в когенерационных установках для получения тепловой и электрической энергии. Сброженный субстрат (смесь осадка с биомассой микроводорослей) является хорошим

органическим удобрением и может направляться для использования в сельском хозяйстве.

На рисунке показано, что хозяйственно-бытовые и близкие к ним по составу сточные воды подаются на канализационные очистные сооружения 1, на которых могут использоваться традиционные установки, осуществляющие механическую и биологическую очистку. Далее сточные воды направляются на доочистку в фотобиореактор 3, в качестве которого используется конструкция, предложенная в [16], а удаленный из сточных вод осадок смешивается с отработанной биомассой микроводорослей и направляется в установку для анаэробного сбраживания 2, которая построена по принципу, предложенному в [18]. В результате процесса брожения, организованного по предложенной технологии, на выходе установки получают экологически безопасное органическое удобрение, обогащенный метаном биогаз и углекислый газ. Часть последнего направляется в фотобиореактор как необходимый элемент для фотосинтеза, а его избыток (при наличии такового) является товарным продуктом. Биомасса микроводорослей (*Botryococcus braunii*) по завершении культивирования направляется в установку для производства жидкого биотоплива третьего поколения 4. Оставшаяся после переработки биомасса смешивается со свежим осадком сточных вод и направляется в установку для анаэробного сбраживания.

Выводы

Применяемые технологии отведения и очистки сточных вод не всегда обеспечивают требуемую степень очистки и не всегда позволяют в достаточной степени снижать негативное влияние осадков сточных вод на окружающую среду. Кроме того, эти технологии не позволяют в достаточной мере получать дополнительные источники возобновляемых энергоносителей на очистных сооружениях. Предложенные технологические основы организации энергоэффективного и экологически безопасного процесса водоотведения, которые основаны на предыдущих разработках, позволяют существенно повысить экологическую безопасность функционирования этих систем, превращая отходы в сырьевую базу.

Осуществление предложенной организации водоотведения позволяет получать на выходе сточные воды с меньшим содержанием загрязняющих веществ, экологически безопасное удобрение, биогаз, жидкое биотопливо и по возможности углекислый газ.

Список літератури

1. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Жуков А.И., Колоба-нов С.К. Канализация. — М. : Стройиздат, 1975. — 632 с.
2. Данилович Д.А. Наилучшие доступные технологии для коммунального водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. — 2012. — № 3. — С. 6–13.
3. ИТС 10-2015. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. — М. : Бюро НДТ, 2015. — 377 с.
4. Данилович Д.А. Энергоресурсный подход к очистке сточных вод и обработке осадков // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. — 2014. — № 4. — С. 36–47.
5. Ванюшина А.Я., Ветт Б., Хелл М. Лучшие примеры эксплуатации очистных сооружений г. Штрасс (Австрия) // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. — 2014. — № 4. — С. 39–50.
6. Akpor O.B. Wastewater Effluent Discharge : Effects and Treatment Processes // 3rd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, IPCBEE. — 2011. — Vol. 20. — P. 85–91.
7. Диренко А.А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // СОК (сантехника, опалення, кондиціонування). — 2006. — № 4. — С. 12–15.
8. Kadam A., Oza G., Nemade P., Dutta S., Shankar H. // Chemosphere. — 2008. — Vol. 71. — P. 975–981.
9. Shamanskyi S.I., Nestorjak D.M. Bioconversion of Solar Energy as a Perspective Direction in Alternative Energy // International Theoretical and Practical Conference «Green Energy», Kiev, 17–19 July 2012. — Kiev, 2012. — P. 371–372.
10. Кравченко І.П. До питання доцільності вирощування і використання мікроводоростей для виробництва моторних біопалив // Міжнарод. наук.-практ. конф. «Green Energy», Київ, 17–19 лип. 2012 р. — Київ, 2012. — С. 55–63.
11. Сорокина К.Н., Яковлев В.А., Пилигаев А.В. и др. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики // Катализ в промышленности. — 2012. — № 2. — С. 63–72.
12. Chen Y., Wang J., Zhang W. et al. Forced Light/Dark Circulation Operation of Open Pond for Microalgae Cultivation // Biomass and Bioenergy. — 2013. — Vol. 56. — P. 464–470.
13. Sierra E., Acian F.G., Fernandez J. M. et al. Characterization of a Flat Plate Photobioreactor for the Production of Microalgae // Chem. Eng. J. — 2008. — Vol. 138, № 1–3. — P. 136–147.
14. Sato T., Usui S., Tsuchiya Y., Kondo Y. Invention of Outdoor Closed Type Photobioreactor for Microalgae // Energy Convers. Manag. — 2006. — Vol. 47, № 6. — P. 791–799.
15. Zlang K.A.I., Kojima E. Effect of Light Intensity on Colony Size of Microalga Botryococcus Braunii in Bubble Column Photobioreactors // J. Ferment. Bioeng. — 1998. — Vol. 86, № 6. — P. 573–576.
16. Шаманський С.Й. Установка для біоконверсії сонячної енергії безперервної дії // Наукові технології. — 2015. — № 2. — С. 115–119.
17. Pruvost J., van Vooren G., Le Gouic B. et al. Systematic Investigation of Biomass and Lipid Productivity by Microalgae in Photobioreactors for Biodiesel Application // Bioresource Technology. — 2011. — Vol. 102, № 1. — P. 150–158.
18. Шаманський С.И., Бойченко С.В. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2015. — № 5/8. — С. 39–45.

Поступила в редакцію 11.04.17

Шаманський С.Й., канд. техн. наук, **Бойченко С.В.**, докт. техн. наук,
проф., **Матвєєва І.В.**, докт. техн. наук
Національний авіаційний університет, Київ
просп. Комарова, 1, 03058 Київ, e-mail: shamanskiy_s_i@ukr.net, chemmology@ukr.net

Технологічні основи організації екологічно безпечного функціонування системи водовідведення

Сучасні систем відведення та очищення господарсько-побутових стічних вод, що використовують традиційні методи очищення, не завжди можуть забезпечувати прийнятну якість очищених стоків для їх безпечного скидання у водні об'єкти. Крім того, існуючі способи утилізації осадів, що утворюються під час очищення, призводять до суттєвого негативного впливу на навколишнє середовище. Виникає необхідність у додатковому очищенні стоків та в удосконаленні способів утилізації осадів. У статті проаналізовано переваги та недоліки сучасних методів очищення стічних вод та способів утилізації їх осадів. Запропоновано організацію системи господарсько-побутового водовідведення з до-

датковим очищенням у фотобіореакторах стоків з використанням їх як середовища для культивування енергетичних мікробіодоростей та з виробництвом рідкого біопалива третього покоління, а також з обробкою осадів стічних вод в установках анаеробного зброджування з отриманням збагаченого метаном біогазу, екологічно безпечного органічного добрива та вуглекислого газу з використанням останнього у фотобіореакторах для забезпечення процесу фотосинтезу. *Бібл. 18, рис. 1.*

Ключові слова: біопаливо, відновлювані джерела енергії, доочищення стічних вод, система водовідведення, утилізація осаду.

***Shamanskyi S.I., Candidate of Technical Sciences,
Boichenko S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Matvyeyeva I.V., Doctor of Technical Sciences***

National Aviation University, Kiev

1, Komarov Ave., 03058 Kiev, Ukraine, e-mail: shamanskiy_s_i@ukr.net, chemmology@ukr.net

Technological Foundations of Environmentally Friendly Organization of a Sewage System

Modern sanitary sewage systems, which apply traditional methods of sewage water treatment, not always can provide acceptable quality of treated waters for their environmentally safe discharge into water bodies. In addition, applied methods of sewage sludge utilization, which are produced during treatment processes, lead to substantial negative influence on environment. All of these things result in appearance of ecological risks, related to functioning of sewage systems. Because of this, there is a necessity for additional sewage water treatment and for improvement sewage sludge utilization methods. Virtues and shortcomings of modern methods of sewage water aftertreatment and sewage sludge utilization are analyzed in this paper. There is proposed a new arrangement of a sanitary sewage system. The system applies sewage water aftertreatment in photobioreactors by using the water as environment for energy microalgae cultivation and producing liquid biofuel of the third generation out of them. It also applies sewage sludge digestion in anaerobic installations with producing methane enriched biogas, environmentally safe organic fertilizer and carbon dioxide. There is also proposed to utilize carbon dioxide in photobioreactors for providing the process of photosynthesis. *Bibl. 18, Fig. 1.*

Key words: biofuel, renewable energy sources, aftertreatment, sewage system, sewage sludge utilization.

References

1. Yakovlev S.V., Karelin Ya.A., Zhukov A.I., Kolobanov S.K. [Sewerage], Moscow : Strojizdat, 1975, 632 p. (Rus.)
2. Danilovich D.A. [The best available technology for municipal sewerage], *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika*, 2012, (3), pp. 6–13. (Rus.)
3. ITS 10–2015. Informational and technical reference book for the best available technologies. Sewage water treatment with centralized sewage systems of towns and town's districts, Moscow : Bjuro NDT, 2015, 377 p. (Rus.)
4. Danilovich D.A. [Energy and resource approach to sewage water treatment and sewage sludge processing], *Nailuchshie dostupnyje tehnologii vodosnabzhenija i vodootvedenija*, 2014, (4), pp. 36–47. (Rus.)
5. Vanjushina A.Ya., Vett B., Hell M. [The best examples of sewage water treatment plants operation: t. Shtrass (Austria)], *Nailuchshie dostupnyje tehnologii vodosnabzhenija i vodootvedenija*, 2014, (4), pp. 39–50. (Rus.)
6. Akpor O.B. Wastewater Effluent Discharge: Effects and Treatment Processes, *3rd International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering, IPCBEE*, 2011, 20, pp. 85–91.
7. Direnko A.A., Kocar E.M. [Applying aquatic plants for treatment of sewage and drainage waters], *SOK (santehnika, opalennja, kondicionuvannja)*, 2006, (4), pp. 12–15. (Rus.)
8. Kadam A., Oza G., Nemade P., Dutta S. and Shankar H., *Chemosphere*, 2008, 71, pp. 975–981.

9. Shamanskyi S.I. and Nestorjak D.M. Bioconversion of Solar Energy as a Perspective Direction in Alternative Energy, *International Theoretical and Practical Conference «Green Energy»*, Kiev, 17–19 July 2012, Kiev, 2012, pp. 371–372.
10. Kravchenko I.P. To the question of reasonability of cultivating and using of microalgae for motor biofuel production, *International Theoretical and Practical Conference «Green Energy»*, Kiev, 17–19 of July 2012, Kiev, 2012, pp. 55–63.
11. Sorokina K.N., Yakovlev V.A., Piligaev A.V., Kukushkin R.G., Pel'tek S.E., Kolchanov N.A., Parmon V.N. Potential of microalgae using as raw material for bioenergetic, *Kataliz v promyshlennosti*, 2012, (2), pp. 63–72. (Rus.)
12. Chen Y., Wang J., Zhang W., Chen L., Gao L., Liu T. Forced Light/Dark Circulation Operation of Open Pond for Microalgae Cultivation, *Biomass and Bioenergy*, 2013, 56, pp. 464–470.
13. Sierra E., Acian F.G., Fernandez J.M., Garcia J.L., Gonzalez C., Molina E. Characterization of a Flat Plate Photobioreactor for the Production of Microalgae, *Chemical Engineering Journal*, 2008, 138 (1–3), pp. 136–147.
14. Sato T., Usui S., Tsuchiya Y., Kondo Y. Invention of Outdoor Closed Type Photobioreactor for Microalgae, *Energy Convers. Manag.*, 2006, 47 (6), pp. 791–799.
15. Zlang K.A.I., Kojima E. Effect of Light Intensity on Colony Size of Microalga *Botryococcus Braunii* in Bubble Column Photobioreactors, *J. Ferment. Bioeng.*, 1998, 86 (6), pp. 573–576.
16. Shamanskyi S.I. Continuously working installation for solar energy bioconversion, *Naukoemni technologii*, 2015, (2), pp. 115–119. (Ukr.)
17. Pruvost J., van Vooren G., Le Gouic B., Couzinet-Mossion A., Legrand J. Systematic Investigation of Biomass and Lipid Productivity by Microalgae in Photobioreactors for Biodiesel Application, *Biore-source Technology*, 2011, 102 (1), pp. 150–158.
18. Shamanskyi S.I., Boichenko S.V. Energy efficient and environmental friendly technology of stabilizing of airline enterprises' wastewater sludges, *Vostochno-Evropeiski zhurnal peredovych technologii*, 2015, № 5/8, pp. 39–45. (Rus.)

Received April 11, 2017