

EDN: HXBSMI

УДК 628.336.3(08)

**В. Н. ЧЕРНЫШЕВ, А. В. МОГУКАЛО, В. В. РУЧКА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **АЭРОБНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ СМЕСИ СЫРОГО ОСАДКА И НЕУПЛОТНЕННОГО АКТИВНОГО ИЛА С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ИЛОВОЙ ВОДЫ**

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема, связанная с аэробной стабилизацией смеси сырого осадка и избыточного активного ила. Аэробная стабилизация осадков сточных вод характеризуется простотой конструкции и эксплуатации сооружений, отличается лучшими водоотдающими свойствами стабилизированных осадков. Но продолжительность стабилизации значительно увеличивается, когда в смеси с избыточным активным илом минерализуется сырой осадок первичных отстойников. Это приводит к увеличению капитальных и эксплуатационных затрат. Обоснованы причины повышенной продолжительности аэробной стабилизации смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила. Установлена необходимость усреднения расхода сырого осадка перед подачей его в стабилизаторы, определена необходимость соблюдения допустимого соотношения количества сырого осадка и активного ила в смеси. Предложено для сокращения продолжительности стабилизации смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила применять рециркуляцию иловой воды. Разработана технологическая схема аэробной стабилизации с рециркуляцией иловой воды, отделенной от стабилизированной смеси в илоуплотнителе. Обосновано применение денитрификации после смешения рециркулирующей иловой воды с сырым осадком. Сформулированы задачи последующих исследований для определения отдельных параметров технологии стабилизации.

**Ключевые слова:** аэробная стабилизация, сырой осадок, активный ил, продолжительность стабилизации,  $E_h$ ,  $gH_2$ , рециркуляция, иловая вода, денитрификация, стабилизированный осадок.

При очистке городских сточных вод образуется значительное количество органических осадков, требующих обработки. Наиболее важной технологической процедурой обработки является стабилизация. Стабилизация предотвращает загнивание осадков, может производиться как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Аэробная стабилизация имеет ряд преимуществ перед анаэробной. К преимуществам можно отнести простоту конструкции и эксплуатации сооружений, устойчивость к изменению качественного состава осадков, их лучшие водоотдающие свойства после стабилизации [1].

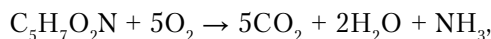
На очистной станции с биологической очисткой сточных вод в аэротенках аэробной стабилизации может подвергаться как избыточный активный ил, так и смесь сырого осадка с неуплотненным или с уплотненным активным илом. При этом продолжительность пребывания осадков в стабилизаторе разная. Так, продолжительность стабилизации избыточного активного ила составляет от 2 до 5 суток, смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила 6–8 суток, а смеси сырого осадка и уплотненного активного ила достигает 8–12 суток. Увеличение продолжительности стабилизации очевидно связано с присутствием в смеси сырого осадка и повышением за счет этого концентрации взвешенных веществ. Сырой осадок не содержит аэробных микроорганизмов, но его органические вещества являются питанием для аэробов активного ила. При аэрации смеси сырой осадок постепенно перерабатывается активным илом, приобретая его хлопьевидную структуру. На это расходуется дополнительное время. Фактически стабилизация смеси начинается только после переработки органических веществ сырого осадка в активный ил. Следует заметить, что увеличенная продолжительность пребывания смеси осадков в стабилизаторе приводит к увеличению его объема и значительному росту капитальных и эксплуатационных затрат при строительстве и эксплуатации сооружений по стабилизации. Поэтому це-

© В. Н. Чернышев, А. В. Могукало, В. В. Ручка, 2022



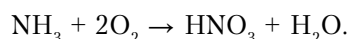
лью исследований является сокращение объема стабилизаторов. Главная задача этих исследований – разработка технологии аэробной стабилизации с рециркуляцией иловой воды стабилизированного ила.

Как показали предварительные исследования, переработка сырого осадка избыточным активным илом из вторичных отстойников занимает ориентировочно около двух суток аэрации. Затем происходит самоокисление ила, которое условно может быть описано следующим выражением:



где  $C_5H_7O_2N$  – гипотетическая формула активного ила.

Присутствие кислорода и образование азота аммонийного в результате самоокисления создают условия для нитрификации:



При нитрификации за счет образования азотной кислоты снижается рН жидкой фазы стабилизированной смеси, а скорость нитрификации падает, что может являться еще одной причиной увеличения продолжительности стабилизации. Кроме того, в стабилизируемом иле постепенно снижается концентрация взвешенных веществ, повышается их зольность, а также снижается щелочность иловой воды, в иловой воде растет содержание нитратов.

В процессе аэробной стабилизации смеси сырого осадка и активного ила при эксплуатации возникают и другие проблемы. Эти проблемы могут быть связаны как с неравномерностью поступления сырого осадка на стабилизацию, так и с разными значениями окислительно-восстановительного потенциала (Еh) сырого осадка и активного ила. Неравномерное поступление на стабилизацию сырого осадка вызвано его периодической выгрузкой из первичных отстойников, что приводит к неустойчивой работе стабилизаторов. Кроме того, частицы сырого осадка гидрофильны и окружены гидратными оболочками. Это тормозит диффузию к поверхности частиц кислорода, необходимого для дыхания аэробов активного ила, обеспечивающих окисление органических веществ сырого осадка. Как показали наблюдения за процессом стабилизации, скорость обработки осадка до начала формирования его хлопьевидной структуры зависит от соотношения количеств сухого вещества сырого осадка и активного ила в смеси. Так, при небольшом количестве осадка формирование хлопьевидной структуры смеси наблюдалось значительно быстрее, чем при большом. Следовательно, в последнем случае аэробная стабилизация фактически начиналась позже, когда завершится формирование хлопьевидной структуры смеси.

В некоторых случаях, когда это соотношение достигало определенного, достаточно высокого значения, происходило обволакивание хлопьев активного ила сырым осадком и процесс переработки осадка в активный ил, а также и аэробная стабилизация практически прекращались совсем. Реально такая ситуация может возникнуть при залповой подаче сырого осадка в стабилизатор. Это подтверждено в ходе пусконаладочных работ на производственной установке по стабилизации [3]. Восстановление процесса стабилизации в этом случае было достигнуто только после семи суток аэрации. В это время в стабилизатор подавался только активный ил. Таким образом, для устойчивого процесса аэробной стабилизации смеси сырого осадка и активного ила нельзя допускать залпового поступления в стабилизаторы сырого осадка, чтобы исключить обволакивание им хлопьев активного ила. Так как допустимое соотношение количеств сырого осадка и активного ила может быть заранее неизвестным, это соотношение следует определять экспериментальным путем.

Как было отмечено выше, на процессы аэробной стабилизации смеси сырого осадка и активного ила оказывает влияние величина окислительно-восстановительного потенциала (Еh). Величина Еh характеризует количество в водных растворах веществ, находящихся в окисленной или восстановленной формах, а также может характеризовать содержание окислителей и восстановителей в осадках сточных вод.

В биологических системах для характеристики окислительно-восстановительных условий используется параметр  $rH_2$ . Этот параметр представляет собой отрицательный логарифм давления молекулярного водорода в среде. Его величина может изменяться в пределах 0–41 и свидетельствует о присутствии в осадках как анаэробных, так и аэробных микроорганизмов. Величина параметра  $rH_2$  зависит от Еh и рН и вычисляется по выражению [4, 5]:

$$rH_2 = \frac{Eh}{0,029} + 2pH.$$

Известно, что облигатные анаэробные микроорганизмы могут существовать при  $gH_2$  не выше 0–20, а размножаться при  $gH_2$  3–5. Строгие аэробы существуют при  $gH_2$  12–15, размножаются при  $gH_2$  12–36 [4]. Следует отметить, что сырой осадок характеризуется анаэробной средой, содержит восстановленные формы органических веществ и не содержит растворенного кислорода. Напротив, среда активного ила аэробная, содержащая растворенный кислород и окисленные формы продуктов биологического распада. Таким образом, при аэробной стабилизации сырого осадка и активного ила происходит смешивание анаэробной (восстановительной) и аэробной (окислительной) среды.

В исследованиях была поставлена задача по определению значений параметра  $gH_2$  сырого осадка и активного ила действующих очистных сооружений. Установлено, что параметр Eh сырого осадка очистных сооружений находился в пределах  $-100 \div -150$  мВ, рН в пределах 5,2–6,1. Отрицательное значение Eh свидетельствует о восстановительном характере среды сырого осадка. Величина параметра Eh активного ила находилась в пределах  $+150 \div +200$  мВ, рН – в пределах 7,3–7,8. Положительная величина Eh означает, что в своей среде активный ил содержит окисленные формы веществ. Используя вышеприведенное выражение для определения  $gH_2$ , были вычислены значения этих величин для сырого осадка и активного ила. Результаты вычисления приведены в таблице.

**Таблица** – Влияние Eh и рН на величину  $gH_2$

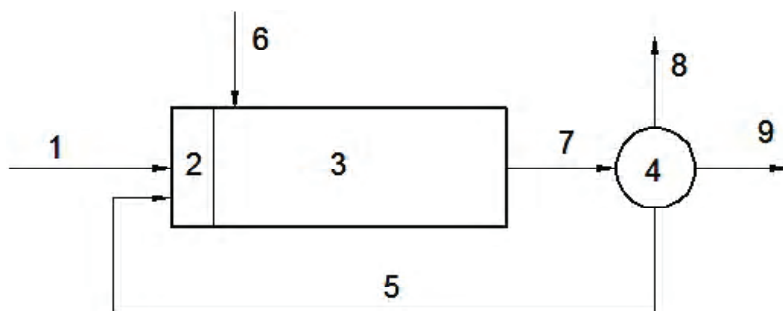
Видосадка	Параметры		
	Eh, в	рН	$gH_2$
Сырой осадок	0,10	6,1	8,75
	0,15	5,2	5,23
Активный ил	+0,15	7,3	19,77
	+0,20	7,8	22,50

Данные таблицы свидетельствуют о том, что среда в сыром осадке действительно восстановительная, а в активном иле окислительная. Это означает, что в сыром осадке обеспечиваются условия для жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов, а в активном иле условия для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. При смешении сырого осадка и активного ила в работающем аэробном стабилизаторе следует ожидать снижения величины  $gH_2$  смеси по сравнению с  $gH_2$  активного ила. Чем больше разница в значениях  $gH_2$ , тем больше будет время от момента смешения сырого осадка с активным илом до формирования хлопьевидной структуры смеси. Это связано с ухудшением условий жизнедеятельности аэробов активного ила. Таким образом, смешение сырого осадка с избыточным активным илом из вторичных отстойников может значительно сдвигать в большую сторону время начала стабилизации.

В ходе изучения литературных источников авторам не удалось получить развернутой информации по методам сокращения продолжительности пребывания осадков в стабилизаторах. Обратили на себя внимание только технологические схемы стабилизации с использованием рециркуляции уплотненного стабилизированного осадка. Рециркуляция в этом случае предназначалась для улучшения водоотдающих свойств стабилизированного осадка [1].

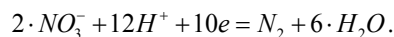
Авторами для сокращения продолжительности пребывания, а следовательно, объема стабилизатора предложена несколько иная схема. Она включает обработку сырого осадка рециркулирующей иловой водой из илоуплотнителя стабилизатора. Предлагаемая технологическая схема аэробной стабилизации с рециркуляцией иловой воды приведена на рисунке.

Известно, что иловая вода после аэробной стабилизации в результате нитрификации содержит значительное количество нитратов. Анализ иловой воды показал, что содержание нитратов в ней может достигать 320...540 мг/дм<sup>3</sup>. Кроме того, иловая вода после илоуплотнителя содержит незначительное количество взвешенных веществ и органических примесей и в ней практически отсутствуют микроорганизмы активного ила. При смешении иловой воды с сырым осадком при дефиците или отсутствии растворенного кислорода в смеси, а также наличии органических веществ сырого осадка в ней создаются условия для денитрификации. Процесс осуществляется денитрифицирующими бактериями, использующими нитрат-ионы в качестве акцептора электронов, а в качестве донора органические вещества сырого осадка [6]. В результате ионы водорода органических веществ и ионы кислорода нитратов, взаимодействуя, образуют воду, а нитраты восстанавливаются до молекулярного азота. Денитрификация сопровождается увеличением щелочности и рН среды, что гарантирует восстановление азота до  $N_2$  [6]. Кроме того, за счет использования денитрификаторами органических



**Рисунок** – Схема аэробной стабилизации смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила с рециркуляцией иловой воды: 1 – подача сырого осадка; 2 – отделение денитрификации; 3 – аэробный стабилизатор; 4 – илоуплотнитель; 5 – рециркулирующая иловая вода; 6 – подача избыточного активного ила из вторичного отстойника; 7 – стабилизированный осадок; 8 – удаление иловой воды в аэротенки; 9 – удаление уплотненного осадка на обезвоживание.

веществ в ассимиляционных и дессимиляционных процессах содержание этих веществ снижается. Таким образом, при денитрификации происходят окислительно-восстановительные процессы, которые можно описать следующим выражением:



В приведенном выражении ион является окислителем, азот в ходе реакции восстанавливается до  $N_2$ . Ионы водорода являются продуктом биологического окисления органических веществ сырого осадка, освобождающиеся при этом электроны участвуют в переводе азота из степени окисления +5 в нулевую степень окисления. Окислительно-восстановительный потенциал приведенной выше системы определяется с помощью уравнения Нернста. При температуре +25 °С и атмосферном давлении это уравнение выглядит следующим образом:

$$Eh = Eh^0 + \frac{0,059}{n} \cdot \lg \frac{[NO_3^-]^2 \cdot [H^+]^{12}}{[N_2] \cdot [H_2O]^6}.$$

Здесь  $Eh^0$  – стандартный электродный потенциал, равный +1,24 в [7];  
 n – количество электронов, получаемых нитрат-ионом.

В уравнении под знаком логарифма в числителе находятся концентрации окислителей, в знаменателе восстановителей. Прибавка воды в ходе окислительно-восстановительной реакции в разбавленном растворе, каким является наша система, на общую ее концентрацию не влияет, поэтому эту прибавку в расчетах не учитывают. Кроме того, концентрация газообразного азота является величиной постоянной, так как входит в величину  $Eh^0$ , и в уравнении Нернста принимается за единицу. В качестве примера по определению окислительно-восстановительного потенциала был принят наиболее распространенный вариант стабилизации смеси сырого осадка и активного ила, когда количество сухого вещества в сыром осадке и активном иле близки друг к другу по значению. При этом условии в смеси сырого осадка и рециркулирующей иловой воды молярная концентрация нитратов принята  $6,85 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>, концентрация ионов водорода  $41 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>. Вычисленное значение окислительно-восстановительного потенциала будет равно:

$$Eh = +1,24 + \frac{0,059}{10} \cdot \lg (6,85 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (41 \cdot 10^{-3})^{12} = +1,116 \text{ в.}$$

Результат вычисления  $Eh$  свидетельствует о том, что при концентрации нитратов в смеси сырого осадка и иловой воды, равной  $6,85 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>, окислительная способность среды снижается относительно стандартных условий на +0,134 в. Но в то же время положительное значение  $Eh$  позволяет аэробным микроорганизмам избыточного активного ила, поступающего из вторичных отстойников, беспрепятственно осуществлять окислительные процессы. С учетом того, что денитрификация обычно осуществляется в течение нескольких часов, а аэробные окислительные процессы не тормозятся в начале стабилизации, возникает возможность в сокращении продолжительности пребывания осадков в стабилизаторе.

Таким образом, предложенная технология аэробной стабилизации дает возможность сократить объем стабилизаторов за счет использования денитрификации при обработке сырого осадка, а также создания благоприятных условий для аэробных процессов при подаче избыточного активного ила из вторичных отстойников на стабилизацию.

В то же время имеются нерешенные задачи, требующие проведения дополнительных исследований. К ним относятся оценка влияния расхода рециркулирующей иловой воды на скорость денитрификации, на величину Eh, pH и  $\text{rH}_2$  смеси сырого осадка и иловой воды, а также оценка концентраций нитратов, кислорода в иловой воде до и после уплотнения стабилизированного осадка, влияние этих концентраций на продолжительность стабилизации.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что причиной повышенной продолжительности стабилизации смеси сырого осадка и неуплотненного активного ила являются анаэробные свойства сырого осадка, что требует длительной его переработки активным илом. При этом в начальный период смешивания сырого осадка и активного ила аэробные микроорганизмы находятся в неблагоприятных условиях жизнедеятельности, что увеличивает продолжительность стабилизации.

2. Установлена возможность обволакивания хлопьев активного ила сырым осадком при больших его концентрациях в смеси, что приводит к прекращению аэробной стабилизации. Аналогичная ситуация может возникать при неравномерной подаче сырого осадка в стабилизатор.

3. Предложена технологическая схема аэробной стабилизации с рециркуляцией иловой воды, обеспечивающая сокращение продолжительности обработки смеси сырого осадка и активного ила.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обработка осадков городских сточных вод : учебное пособие / Л. Р. Хисамеева, А. С. Селюгин, Р. Н. Абитов [и др.]. – Казань : Изд-во КГАСУ, 2016. – 105 с. – ISBN 978-5-7829-0496-8. – Текст : непосредственный.
2. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – Москва : АКВАРОС, 2003. – 512 с. – ISBN 5-901652-05-3. – Текст : непосредственный.
3. Чернышев, В. Н. Экспериментальные исследования глубокой минерализации осадков в производственных условиях / В. Н. Чернышев, В. И. Нездойминов. – Текст : непосредственный // Науковий вісник будівництва. – 2011. – Випуск 63. – С 498 – 501.
4. Скиба, Е. А. Основы промышленной микробиологии : учебное пособие / Е. А. Скиба, Н. А. Шавыркина, М. Э. Ламберова ; Алтайский государственный технический университет, БТИ. – Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2013. – 110 с. – URL : <http://irbis.bti.secpa.ru> (дата обращения: 02.03.2022). – Текст : электронный.
5. Чурбанова, И. Н. Микробиология : учебник для вузов по специальности «Рациональное использование водных ресурсов и обезвреживание промышленных стоков» / И. Н. Чурбанова. – Москва : Высшая школа, 1987. – 279 с. – Текст : непосредственный.
6. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. – Москва : Стройиздат, 1980. – 200 с. – (Охрана окружающей среды). – Текст : непосредственный.
7. Лурье, Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье ; 6-е изд. перераб. и доп. – Москва : Химия, 1989. – 446 с. – Текст : непосредственный.

Получена 10.10.2022

Принята 28.10.2022

### В. М. ЧЕРНИШЕВ, А. В. МОГУКАЛО, В. В. РУЧКА АЕРОБНА СТАБІЛІЗАЦІЯ СУМІШІ СИРОГО ОСАДУ Й НЕУЩІЛЬНЕНОГО АКТИВНОГО МУЛУ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ МУЛОВОЇ ВОДИ ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** У статті розглянута проблема, пов'язана з аеробною стабілізацією суміші сырого осадку й надлишкового активного мулу. Аеробна стабілізація осадків стічних вод характеризується простотою конструкції й експлуатації споруд, відрізняється кращими властивостями видавати воду стабілізованих осадків. Але тривалість стабілізації значно збільшується, коли в суміші з надлишковим активним мулом мінералізується сирий осадок первинних відстійників. Це призводить до збільшення капітальних і експлуатаційних витрат. Обґрунтовані причини підвищеної тривалості аеробної стабілізації суміші сырого осадку й неущільненого активного мулу. Установлено необхідність усереднення витрати сырого осадку перед подачею його в стабілізатори, визначено необхідність дотримання допустимого співвідношення кількості сырого осадку й активного мулу в суміші. Запропоновано для скорочення тривалості стабілізації суміші сырого осадку й неущільненого активного

муду застосовувати рециркуляцію мулової води. Розроблено технологічну схему аеробної стабілізації з рециркуляцією мулової води, відділеної від стабілізованої суміші в мулоущільнювачі. Обґрунтовано застосування денітрифікації після змішання мулової води, яка рециркулює, із сирым осадом. Сформульовано завдання наступних досліджень для визначення окремих параметрів технології стабілізації.

**Ключові слова:** аеробна стабілізація, сирий осад, активний мул, тривалість стабілізації, Eh, rH<sub>2</sub>, рециркуляція, мулова вода, денітрифікація, стабілізований осад.

VALENTIN CHERNYSHEV, ANASTASIA MOGUKALO, VLADISLAV PUCHKA  
AEROBIC STABILIZATION OF A MIXTURE OF CRUDE SLUDGE AND NON-  
COMPACTED ACTIVATED SLUDGE WITH SLUDGE WATER RECIRCULATION  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** The article deals with the problem of aerobic stabilization of a mixture of raw sludge and excess activated sludge. Aerobic stabilization of sewage sludge is characterized by simplicity of construction and operation of structures, characterized by the best water-releasing properties of stabilized precipitation. But the duration of stabilization increases significantly when the raw sediment of primary sedimentation tanks is mineralized in a mixture with excess activated sludge. This leads to an increase in capital and operational costs. The reasons for the increased duration of aerobic stabilization of a mixture of raw sediment and unconsolidated activated sludge are substantiated. The necessity of averaging the consumption of raw sludge before feeding it to the stabilizers is established, the necessity of observing the permissible ratio of the amount of raw sludge and activated sludge in the mixture is determined. It is proposed to use sludge water recirculation to reduce the duration of stabilization of a mixture of raw sludge and unconsolidated activated sludge. A technological scheme of aerobic stabilization with recirculation of sludge water separated from the stabilized mixture in a silt compactor has been developed. The use of denitrification after mixing recirculating sludge water with raw sediment is justified. The tasks of subsequent research to determine individual parameters of the stabilization technology are formulated.

**Key words:** aerobic stabilization, crude sludge, activated sludge, duration of stabilization, Eh, rH<sub>2</sub>, recirculation, sludge water, denitrification, stabilized sludge.

**Чернышев Валентин Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: интенсификация существующих методов и создание новых технологий очистки сточных вод и обработки осадков.

**Могукало Анастасия Вадимовна** – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обработка осадков.

**Ручка Владислав Владиславович** – ассистент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: обработка осадков, инновационные технологии возведения сетей и сооружений водоснабжения с применением современных материалов.

**Чернышев Валентин Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: інтенсифікація існуючих методів та створення нових технологій очищення стічних вод та обробки осадків.

**Могукало Анастасія Вадимівна** – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: обробка осадків.

**Ручка Владислав Владиславович** – асистент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: обробка осадків, інноваційні технології зведення мереж та споруд водопостачання із застосуванням сучасних матеріалів.

**Chernishev Valentin** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: intensification of existing methods and creation of new technologies for wastewater treatment and sludge treatment.

**Mogukalo Anastasia** – assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: sediment treatment.

**Ruchka Vladislav** – assistant, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: rainfall processing, innovative technologies for building a fence and spores of water supply from the stagnation of modern materials.