

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИИ ОСАДКОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Е. С. Дремичева, А. С. Гаврилов*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Россия, *e-mail: lenysha@mail.ru

Поступила в редакцию 26.10.2018 г.

Аннотация – Приведены результаты исследований процесса стабилизации избыточного активного ила, образующегося в большом количестве на городских станциях биологической очистки воды. Определены характеристики исходных проб избыточного активного ила (влажность, зольность, содержание сухого вещества и плотность) и их поведение в процессе уплотнения. Для изучения влагоотдающих свойств данного вида осадков применили оксиды кальция и магния, по результатам исследования в качестве стабилизатора предложено использовать гашеную известь (гидроксид кальция). Оценены изменения зольности проб активного ила, обработанного различным избытком стабилизатора. Получена кривая седиментации (кривая Кинша), благодаря которой можно определить способность частиц к осаждению и применить эти данные при расчете отстойников и корректировки их размеров в случае разбухания осадка. Полученные данные могут быть использованы для разработки технологии обезвоживания осадков биологических очистных сооружений с последующей утилизацией осадков.

Ключевые слова: избыточный активный ил, стабилизация твердых осадков, известь, гашеная известь, влагоотдающие и термические свойства, седиментация.

STUDY OF STABILIZATION PROCESS OF SLUDGE FROM BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES

E. S. Dremicheva and A. S. Gavrilov*

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
Kazan State Power Engineering University, Kazan', Russia, *e-mail: lenysha@mail.ru

Received October 26, 2018

Abstract – The study presents results of investigating stabilization process for excess activated sludge, which is formed in abundance at municipal stations of biological water purification. A series of specific characteristics of initial samples of excess activated sludge (moisture, ash content, solids content, and density values) as well as its behavior in the sludge thickening process have been determined. Calcium and magnesium oxides have been applied for studying moisture-yielding properties of the sludge samples, the results make it possible to recommend using caustic lime (calcium hydroxide) as a sludge stabilizer. Changes in ash content of activated sludge samples treated with varying excess amounts of stabilizers are evaluated. A sedimentation curve (Kinsch curve) has been obtained, which allows to determine the precipitation ability of sludge particles and then to apply the data for calculating sedimentation tanks and adjusting their sizes in case of sediment swelling. The data obtained can be used to develop technology for dewatering sediments of biological treatment facilities with subsequent disposal of sediments.

Keywords: excess activated sewage sludge, sludge stabilizing treatment, lime, caustic lime, moisture-yielding and thermal properties, sedimentation.

ВВЕДЕНИЕ

Негативная сторона очистки сточных вод заключается в образовании значительных объемов сырого осадка и отработанного активного ила. В осадках городских сточных вод содержится большое количество микроорганизмов, в том числе патогенных, а также токсичных соединений, особенно ионов тяжелых металлов, в концентрациях, значительно превышающих ПДК металлов в почве. Осадки, образующиеся в городских биологических очистных сооружениях, практически нигде не используются и исключены из биологического круговорота веществ в земледелии [1].

Сырые осадки характеризуются высокой влажностью (до 99%), являются опасными в санитарном и эпидемическом отношении, так как они способны загнивать, распространять зловонные газы, создавать благоприятные условия для развития патогенных бактерий, в том числе болезнетворных. Поэтому сырые осадки нуждаются в обработке, первым этапом которой является их обезвоживание.

В то же время осадки, выделяемые при биологической очистке сточных вод, по химическому составу относятся к ценным органическим отходам. Основная часть осадков сточных вод – избыточный активный ил. Сухое вещество активного ила содержит порядка 70÷90% органических и 30÷10% неорганических веществ. В сыром виде он представляет собой амфотерную коллоидную систему, имеющую при pH 4÷9 отрицательный заряд [2].

Наиболее простым и экономически целесообразным методом является уплотнение осадков под действием гравитационных сил, широкому распространению которого способствует самопроизвольное разделение воды и взвешенных веществ, причем скорость этого разделения определяется формой связи влаги с частицами осадка. Однако при длительном нахождении в бескислородной среде осадки имеют склонность к загниванию. Поэтому, согласно СНиП, осадки из городских очистных сооружений рекомендуется уплотнять более 3 часов и подвергать стабилизации, при которой подавляется жизнедеятельность гнилостных бактерий и происходит разложение органической части до простых соединений или продуктов, имеющих длительный период ассимиляции в окружающей среде. Эффект стабилизации достигается биологическими, химическими, физическими методами, а также их комбинацией. Целесообразность применения того или иного метода определяется рядом условий: вид осадков, их количество, возможность и условия дальнейшего использования, наличие территории для их размещения.

Среди стабилизирующих реагентов наибольшее распространение получила негашеная известь вследствие ее низкой стоимости, ее действие основано на повышении pH и температуры обрабатываемой массы осадков. Известь издавна использовалась для обработки открытых выгребных ям и мест захоронения животных. Эффективность действия извести зависит от того, используется ли она для обработки жидкого или обезвоженного осадка. В настоящее время реагентная стабилизация известью является обязательной стадией обработки осадков. Кроме того, использование извести еще оправдано

тем, что она выступает также в качестве кондиционирующей добавки, ускоряющей последующее механическое обезвоживание [3].

Цель работы состояла в исследовании изменений свойств активного ила при реагентной стабилизации с дальнейшим обоснованием выбора реагента и целесообразной его дозы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На водоотдающую способность осадка большое влияние оказывает состав сточных вод. Водоотдача осадков во многом зависит от размера частиц их твердой фазы. Осаждаемость, уплотнение, хлопьеобразование и водоотдающие свойства активного ила тесно связаны между собой и являются важными параметрами при контроле и оценке процессов биологической очистки сточных вод, обработки и утилизации их осадков [4].

Для определения необходимой дозы стабилизирующих реагентов предварительно были проведены экспериментальные исследования по изучению водоотдающих и термических свойств отобранного избыточного активного ила (ИАИ) с биологических очистных сооружений г. Зеленодольск, предназначенных для очистки бытовых сточных вод. Отбор проб ила осуществлялся в соответствии с методикой [5], хранение осуществлялось не более 24 часов при температуре $3 \pm 4^\circ\text{C}$.

Все экспериментальные исследования проводились с использованием государственных стандартов в лабораторных условиях при температуре 20°C , давлении 100 кПа и относительной влажности воздуха 45%. Процедура стабилизации осадков подробно описана в соответствующем разделе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение характеристики осадков и их поведения в процессе уплотнения

Для выполнения поставленных задач, прежде всего, были определены основные свойства, которые в достаточной мере характеризуют осадок: влажность, зольность, плотность и концентрация сухого вещества (таблица 1).

Таблица 1. Основные свойства ИАИ

Влажность, %	Зольность, %	Сухое вещество, г/м ³	Плотность, кг/м ³
97,45	1,7	92,4	948

На следующем этапе были проведены эксперименты по изучению кинетики разделения ИАИ.

Опыты проводили при комнатной температуре гравиметрическим методом. Объект исследования – суспензия активного ила с вторичных отстойников. Высота слоя суспензии в цилиндрах составляет $H_c = 320$ мм.

Тщательно перемешанная магнитной мешалкой суспензия переливалась в мерный цилиндр, и далее замерялось время и высота слоя надильной воды. Замеры проводили каждые 5–10 минут в течение 1 часа для получения более четкой картины. Объем надильной воды рассчитывался по выражению:

$$W = \frac{\pi d_y^2}{4} h_t,$$

где W – объем надильовой воды, h_t – высота слоя надильовой воды за время t , d_y – диаметр цилиндра.

Результаты исследования показали, что интенсивное разделение ИАИ от воды наблюдается в первые минуты эксперимента, и далее объем надильовой воды не увеличивался. На основании полученных экспериментальных данных был произведен расчет и построена зависимость диаметра осаждаемых частиц от времени (рис. 1). Зависимость имеет вид уравнения $y = 1,779e^{-0,02x}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,761$, подчиняющегося закону Стокса (процессы седиментации и всплытия).

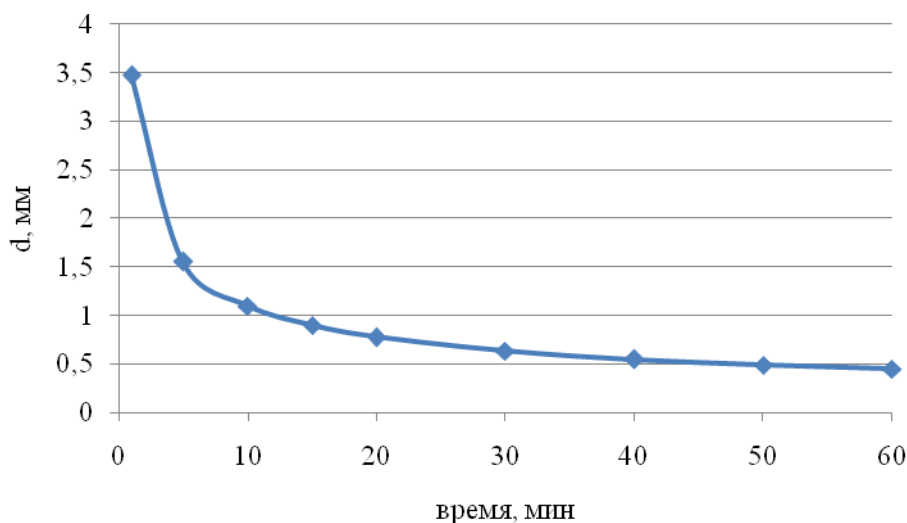


Рис. 1. Зависимость диаметра осаждаемых частиц ИАИ от времени.

Разделение твердых частиц активного ила и надильовой жидкости, т.е. осаждение и уплотнение в лабораторных условиях можно описать с помощью кривых Кинша. Основная идея гипотезы Кинша заключается в том, что скорость оседания конкретной частицы зависит лишь от локальной концентрации этих частиц. Таким образом, чем больше количество частиц в определенном слое воды, тем выше скорость их осаждения до тех пор, пока они не входят в зону сжатия осадка [4, 6].

Для построения кривых Кинша установили влияние высоты слоя исходного осадка на процесс гравитационного сгущения (рис. 2).

По результатам отстаивания строится кривая, по наклону разных участков которой и определяется скорость осаждения.

Наклонный прямолинейный участок ВС соответствует постоянной скорости оседания, которая зависит от исходной концентрации взвешенных веществ и параметров флокуляции суспензии.

При увеличении исходной концентрации скорость осаждения падает. Криволинейный участок CD отвечает постепенному снижению скорости осаждения слоя осадка.

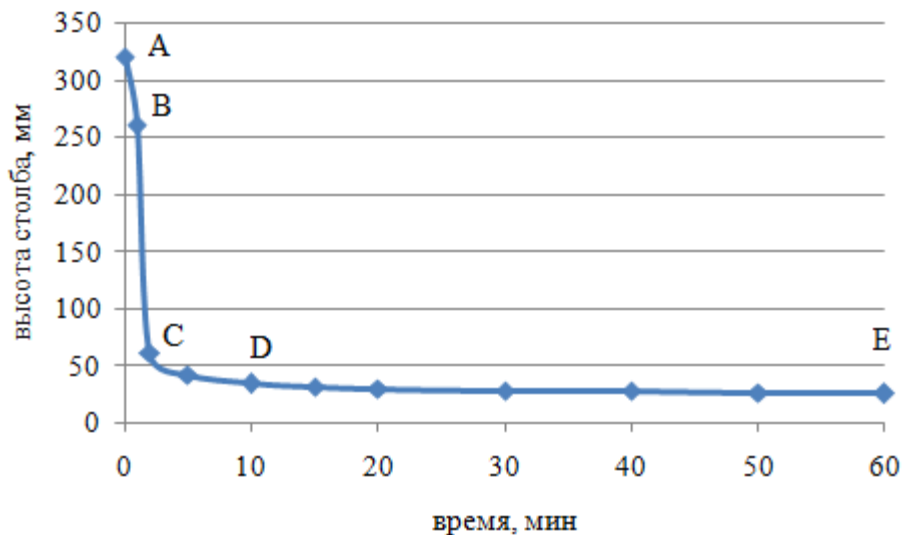


Рис. 2. Кривая осаждения исходной пробы активного ила (кривая Кинша).

По этим данным можно рассчитать параметры установки седиментации, где:

- более высокая скорость осаждения определяет процессы осветления в отстойниках со слоем осадка,
- более пологая – в отстойниках, работающих в режиме рециркуляции осадка,
- горизонтальная часть определяет процессы уплотнения осадка [4, 7].
- Благодаря кривой Кинша можно определить способность частиц к осаждению, а затем применить эти данные при расчете отстойников и в дальнейшем скорректировать их размеры в случае разбухания осадка.

Изменение свойств осадков в присутствии стабилизаторов

Далее изучали, как меняются влагоотдающие и термические свойства осадков городских очистных сооружений после добавления к пробе осадка стабилизаторов.

Для стабилизации осадков были рассмотрены варианты использования негашеной извести (оксида кальция), и, по аналогии, оксида магния, с учетом того, что магний также является щелочноземельным металлом и обладает свойствами, схожими со свойствами кальция.

Оксид кальция (негашеная известь) – белое кристаллическое вещество, широко используется как дешевый и эффективный агент для осушения растворителей и жидких веществ. Он очень быстро соединяется с водой, выделяя значительное количество тепла и образуя гашеную известь (гидроксид кальция) [8].

Оксид магния (жженая магнезия) – химическое соединение с формулой MgO , белые кристаллы, малорастворимые в воде, пожаро- и взрывобезопасен, легкий, рыхлый порошок белого цвета, легко впитывает воду [9].

В колбу помещали 10 мл осадка, взвешивали и измеряли температуру (t) в осадке. Затем в колбу с осадком добавляли реагент в количестве 20% от массы осадка без перемешивания и замеряли температуру t_2 . Далее осуществлялось

перемешивание при помощи магнитной мешалки с частотой 1500 об/мин в течение 20 минут. После перемешивания замеряли температуру t_3 в каждой емкости. До перемешивания заметного увеличения температуры не происходит. После перемешивания температура постепенно поднимается. Это может быть объяснено реакцией реагентов со свободной влагой осадка:



Тепловой эффект данных реакций можно посчитать по закону Гесса. В соответствии с канонами физической химии, данные реакции являются экзотермическими, причем количество выделившейся теплоты при взаимодействии оксида кальция больше, что подтверждается результатами эксперимента, приведенными в таблице 2.

Таблица 2. Термические и влагоотдающие свойства осадка до и после введения стабилизаторов

	Температура, °С			Объем надильной воды, см ³
	t	t_2	t_3	
исходный	25	25	25	0,7
CaO	25	27	52	1,1
MgO	25	25,5	38	0,9

Кроме того, было произведено измерение объема надильной воды, чтобы сделать вывод о влагоотдающих свойствах осадка. После 5 минут отстаивания смеси осадка и стабилизаторов в пробах наблюдалось более высокое водоотделение по сравнению с исходным осадком.

Было произведено измерение влажности, которое показало, что при использовании оксида кальция влажность уменьшилась на 3,6%, а оксида магния – на 1,8%.

Таким образом, в качестве стабилизатора ИАИ более оправданным является использование извести.

Далее был проведен эксперимент по стабилизации осадков предварительно приготовленной гашеной известью. Гашеную известь (гидроксид кальция) получали взаимодействием оксида кальция с водой.

Эксперимент проводился с шестью пробами ИАИ (объем 0,5 л), отобранных с очистных сооружений. Показатель pH каждой пробы постепенно увеличивали до 12 путем добавления 10%-ного известкового молока. Первая проба была контрольной. В остальные затем добавляли избыточное, по сравнению с контролем, количество извести. Избыток составил 30, 60, 90, 120 и 150% от массы извести в контрольной пробе.

После этого проводили непрерывное перемешивание проб в течение 6 часов магнитной мешалкой при 1500 об/мин. Далее снимали показание pH, а

затем проводили измерение значения рН через каждые 10 дней в течение 30 дней. Результаты представлены на рисунке 3.

Как видно из рисунка, наблюдается незначительное уменьшение рН в опытных образцах, причем через 30 суток значение рН достигло 10,65 как в исходной пробе, так и в пробах с 30, 60, 90%-ным увеличением дозы извести относительно ее начального уровня. В пробах с увеличением дозы извести в 120 и 150% значение рН составило 10,85 и 10,05, соответственно.

Таким образом, полученные результаты доказывают, что применение больших количеств извести для получения избытка экономически нецелесообразно (рН – функция экспоненциальная, для увеличения величины рН до 12 количество ионов OH^- должно быть в 10 раз больше, чем при рН = 11).

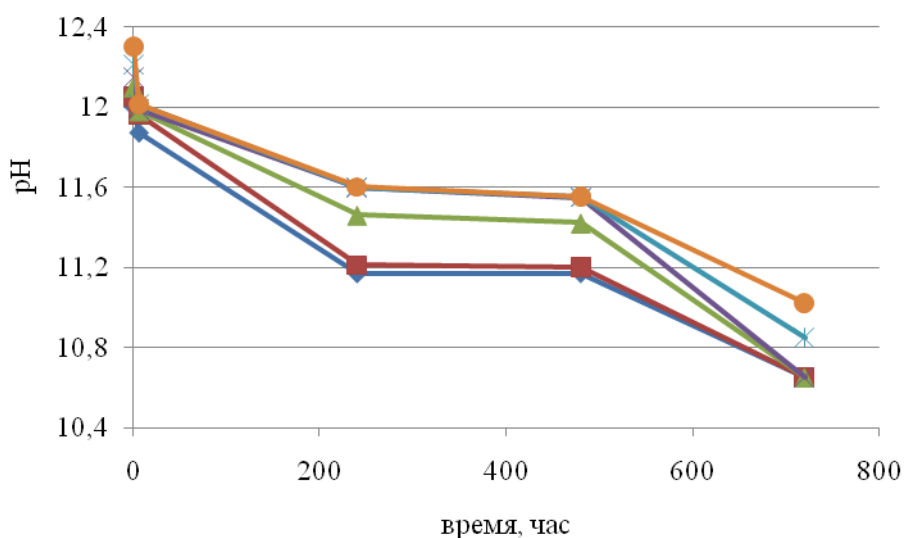


Рис. 3. Зависимость рН от времени: ♦ – контрольная проба, ■ – 30% избыток извести, ▲ – 60% избыток извести, × – 90% избыток извести, Ж – 120% избыток извести, ● – 150% избыток извести.

Кроме того, был проведен анализ изменения зольности осадков сточных вод до стабилизации (1 образец) и после стабилизации их гашеной известью (образцы 2–7 с содержанием $\text{Ca}(\text{OH})_2$, равным нулю (исходная) и при его избытке 30, 60, 90, 120 и 150%, соответственно). Результаты данного эксперимента представлены на рисунке 4.

Как видно из рисунка, при стабилизации осадка известью происходит увеличение его зольности в 1,7 раза, при этом при избытке в 30 и 60% существенного повышения не наблюдается, однако далее происходит резкий скачок в значении зольности в 2–3 раза. Кроме того, повышенная зольность вызывает увеличение абразивности обрабатываемого осадка, что, в свою очередь, может привести к ускорению износа оборудования. Это еще раз доказывает нерациональность применения избыточного количества известкового молока для стабилизации осадков.

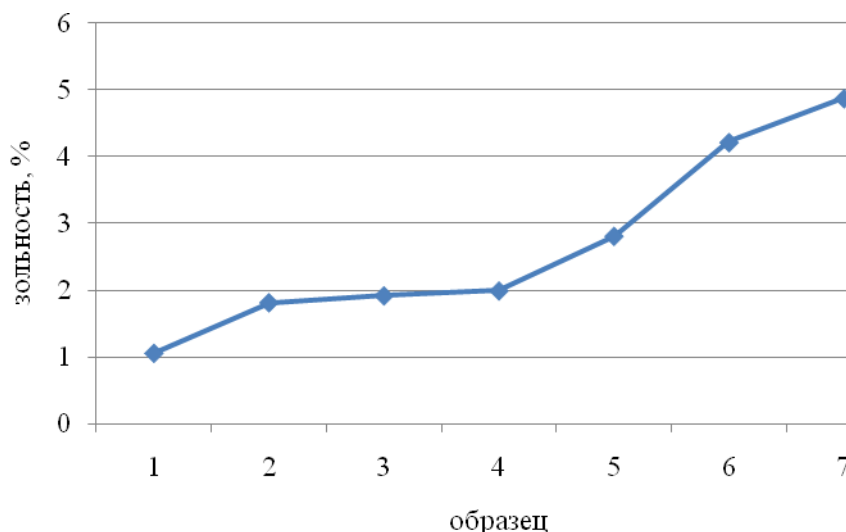


Рис. 4. Зависимость зольности осадка (зольность) от избытка $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Проба 1 – исходная, пробы 2–7 – при избытке стабилизатора 30, 60, 90, 120 и 150%, соответственно.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что для стабилизации ИАИ целесообразно использование гидроксида кальция, в результате чего происходит повышенное водоотделение осадка. Однако доза гидроксида кальция для конкретного типа осадка должна подбираться в ходе опытно-промышленных испытаний с небольшим избытком от стехиометрического соотношения, т.к. перерасход реагента экономически нецелесообразен и вызывает повышенное значение зольности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных экспериментов оценена эффективность процесса стабилизации иловых осадков городских сточных вод с применением в качестве стабилизатора оксидов кальция и магния. Доказано, что более целесообразным является использование извести. Изучено влияние на процесс гравитационного сгущения исследуемого осадка дозы извести, условий обработки проб, а также определена зависимость высоты налива осадка от времени осаждения. Это позволит определить технологические параметры процесса сгущения избыточного активного ила, обеспечивающие его относительно высокую эффективность. Кроме того, экспериментально установлено, что применение больших количеств извести для получения ее избытка экономически нецелесообразно в связи с увеличением зольности обработанного осадка. Данные результаты в дальнейшем позволят разработать технологию обезвоживания осадков биологических очистных сооружений с последующей утилизацией осадков.

Список литературы:

1. Демин Д.В., Севостьянов С.М., Татаркин И.В., Худяков О.И. // Земледелие. 2009. №5. С. 16.

2. Моран Э., Плеханов А.В., Лобанов Ф.И. // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 6. С. 47.
3. Стрекалова Д.О., Савелова Е.А. // Аллея науки. 2018. Т. 2. № 3 (19). С. 385.
4. Гапоненков И.А., Федорова О.А. // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16. № 4. С. 681.
5. ФР 1.31.2008.04397 «Методика выполнения измерений массовой концентрации активного ила». М.: Акварос, 2008.
6. Царев Н.С. Дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург: УрФУ, 2012.
7. Особенности процессов осаждения флокулированных частиц [Электронный ресурс]: https://nomitech.ru/articles-and-blog/osobennosti_protseessov_osazhdeniya_flokkulirovannykh_chastits/ (дата обращения 22.10.2018).
8. ГОСТ 8677-76. Реактивы. Кальция оксид. Технические условия.
9. ГОСТ 4526-75. Реактивы. Магний оксид. Технические условия.

References:

1. Demin D., Sevostyanov S., Tatarkin I., Khudyakov O. // Zemledelie [Arable farming]. 2009. No. 5. P. 16 [in Russian].
2. Moran E., Plekhanov A.V., Lobanov F.I. // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary technique]. 2017. No. 6. P. 47 [in Russian].
3. Strekalova D.O., Savelova E.A. // Alleya Nauki [Alley of Science]. 2018. V. 2. No. 3 (19). P. 385 [in Russian].
4. Gaponenkov I.A., Fedorova O.A. // Vestnik MGTU [Scientific Journal of Murmansk State Technical University]. 2013. V. 16. No. 4. P. 681 [in Russian].
5. Methods for measuring mass concentration of active sludge. FR 1.31.2008.04397. M.: Aquaros, 2008 [in Russian].
6. Tsarev N.S. Ph.D. Thesis (Engineering). Ekaterinburg: UrFU, 2012 [in Russian].
7. https://nomitech.ru/articles-andblog/osobennosti_protseessov_osazhdeniya_flokkulirovannykh_chastits/ (accessed 22.10.2018) [in Russian].
8. GOST [State Standart] 8677-76. Reagents. Calcium oxide. Technical conditions [in Russian].
9. GOST [State Standart] 4526-75. Reagents. Magnesium oxide. Technical conditions [in Russian].