

## Проблемы и методы переработки шламов

**Б.С. Ксенофонов**, профессор, д-р техн. наук,  
**А.С. Козодаев**, доцент, канд. техн. наук,  
**Р.А. Таранов**, старший преподаватель, канд. техн. наук,  
**А.А. Воропаева**, инженер,  
**Е.В. Сенник**, аспирант,  
**М.С. Виноградов**, аспирант.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

e-mail: borisflot@mail.ru

### Ключевые слова:

отходы производства,  
шлам,  
активный ил,  
центрифугирование,  
центрифуга отстойного типа,  
сушка,  
замкнутый контур теплоносителя,  
химические реагенты

В работе отмечается актуальность проблемы обработки осадков и их утилизации. Рассмотрены вопросы обработки шламов и других отходов путем центрифугирования, как с предварительной обработкой, так и без нее. Показано, что обработка происходит более эффективно при нагревании отходов, а также при добавлении реагентов. В результате использования центрифуг на стадии обработки указанных отходов удается достигнуть достаточно высокой степени разделения на жидкую и твердую фазы, которые можно использовать по различным направлениям. Дальнейшее обезвоживание возможно с использованием предложенной схемы сушки с замкнутым контуром теплоносителя. Схема включает узел подготовки теплоносителя, сушильную камеру, устройство для выгрузки готового продукта, систему очистки отработанного сушильного агента, узел доочистки отработанного теплоносителя, двухконтурную систему пневмотранспорта готового продукта. Предложенная схема позволяет исключить попадание токсичных веществ шламов в окружающую среду. Проведены экспериментальные исследования процесса сгущения суспензии активного ила после вторичных отстойников в центрифугах различного типа. Испытания проводились на лабораторной и промышленных прямоточных и противоточных центрифугах. Были выбраны оптимальные параметры, режимы центрифугирования и терморреагентной обработки. Подтверждена эффективность предварительной терморреагентной обработки при заранее определенном оптимальном режиме центрифугирования активного ила. Содержание твердой фазы в концентрате микробной биомассы при нагрузке  $10-13 \text{ м}^3/\text{ч}$  составило 9–10% АСВ. При максимальной производительности использовали одно сопло диаметром 6 мм. Минимальная удельная дозировка флокулянта — около 2 кг на 1 т сухого продукта.

Проблема обработки осадков и их утилизации на протяжении последних десятилетий стала весьма актуальной, пока не просматриваются универсальные пути решения задач в этом направлении [1–6]. По-прежнему многотоннажные отходы в малой степени утилизируются, а их основное количество складировается на полигонах. Поэтому новые технические решения очень актуальны для практических технологий по обработке и утилизации различных отходов [7, 8].

### 1. Способы обработки и утилизации шламов

Одним из самых современных способов обработки и утилизации шламов, например, нефтехимических производств является их предварительное разделение в центрифуге типа ОГШ (отстойная горизонтальная шнековая) на твердую фазу, нефть и воду (рис. 1) [9]. При этом разделение в центрифуге может быть проведено как с добавлением деэмульгаторов, так и без них, а также с предварительным подогрева-

нием шламов. Указанные приемы обработки шламов способствуют их более эффективному разделению на фракции.

После разделения, например, нефтешламов, в центробежном поле получают три фракции. *Первая фракция* имеет состав: нефть — 98 %, вода — 1 %, твердая фаза — 1 %. Эта фракция после центрифугирования может быть повторно направлена на центрифугирование и далее — на нефтеперерабатывающий завод на стадию крекинга в качестве вторичного сырья. *Вторая фракция* состоит примерно на 98 % из воды и ее направляют на биологические очистные сооружения или закачивают в скважины. *Третья фракция*, состоящая на 60 % из жидкой фазы и на 40 % из твердой фазы, может быть использована при прокладке дорог в качестве добавки при создании асфальтовых покрытий. При этом для последней фракции должны быть отдельно определены в каждом случае условия ее использования.

Для утилизации шламов иногда требуется их глубокое обезвоживание с использованием сушки. При этом сушку лучше использовать с замкнутым контуром по теплоносителю с целью исключить попадание токсичных веществ из шлама в окружающую среду. Последнее исключительно важно, так как многие производства по обработке шламов сушат или сжигают их без такой обезвреживающей системы.

На рис. 2 изображена принципиальная схема процесса сушки со 100 %-ным замкнутым циклом по теплоносителю [2]. Установка включает узел подготовки теплоносителя 1 (подогреватель сушильного агента), сушильную камеру 7, содержащую распылительный механизм 6, подводящий 8 и отводящий 9 газоходы сушильного агента, устройство для выгрузки готового продукта, включающее циклон 10 для вывода готового продукта из малого в большой контур системы пневмотранспорта, скруббер Вентури 13 с каплеотделителем 14, конденсатор 16 (схема конденсатора представлена на рис. 4), узел 15 доочистки отработанного теплоносителя, двухконтурную систему пневмотранспорта 23 готового продукта в силосную башню 18, сепарационное устройство в виде крестовины 24 (схема крестовины представлена на рис. 3), газоход 4 возврата сушильного агента в подогреватель и узел подготовки теплоносителя (дымовых газов).

Установка работает следующим образом. Высушиваемую суспензию подают с помощью распылительного механизма 6 в сушильную камеру 7, где происходит обезвоживание распыленной до мельчайших частиц суспензии в течение короткого промежутка времени. Высушенный продукт через разгрузочный циклон 20 и двухконтурную систему пневмотран-

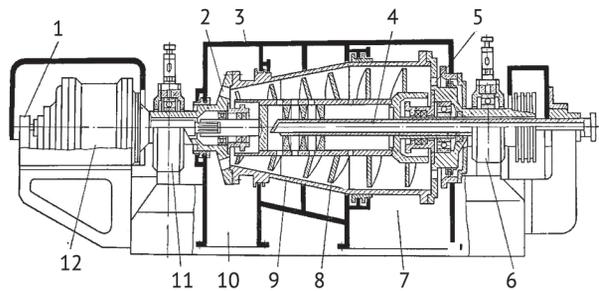


Рис. 1. Центрифуга типа ОГШ [9]

1 — защитное устройство редуктора; 2 — окна выгрузки осадка; 3 — кожух; 4 — питающая труба; 5 — сливные окна; 6, 11 — опоры центрифуги; 7 — штуцер отвода фугата; 8 — шнек; 9 — ротор; 10 — штуцер выгрузки осадка; 12 — планетарный редуктор

спорта 23 поступает в силосную башню 18. Отработанный сушильный агент с температурой 100–120 °С через отводящий газоход 9 проходит очистку в скруббере Вентури 13 с каплеотделителем 14. Далее отработанный сушильный агент с температурой 65–85 °С проходит через конденсатор 16, где его температура снижается до 45–55 °С за счет контакта с расположенными в шахматном порядке трубами, по которым циркулирует охлаждающая жидкость (рис. 4–5).

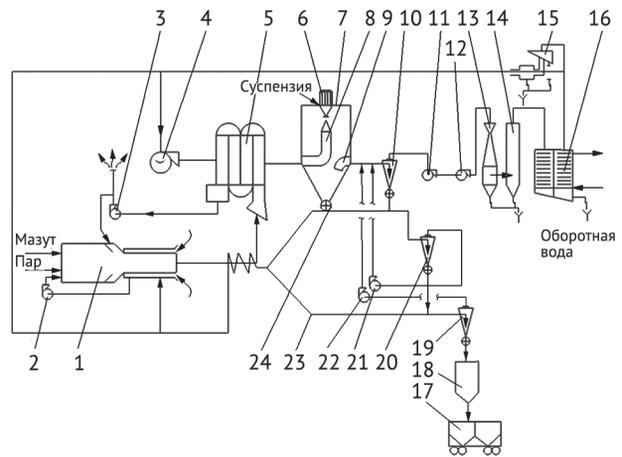


Рис. 2. Принципиальная схема процесса сушки со 100 %-ным замкнутым циклом по теплоносителю

1, 5 — узлы подготовки теплоносителя; 2, 3, 11, 12, 21, 22 — вентиляторы; 4 — газоход возврата сушильного агента в подогреватель и узел подготовки теплоносителя; 6 — распылительный механизм; 7 — сушильная камера; 8 — подводящий газоход сушильного агента; 9 — отводящий газоход сушильного агента; 10 — группа циклонов; 13 — скруббер Вентури; 14 — каплеотделитель; 15 — узел доочистки отработанного теплоносителя; 16 — конденсатор; 17 — сборник продукта; 18 — силосная башня; 19 — циклон доочистки; 20 — разгрузочный циклон; 23 — двухконтурная система пневмотранспорта готового продукта; 24 — сепарационное устройство в виде крестовины

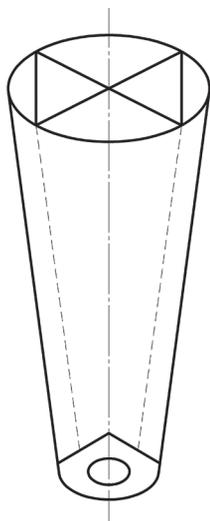


Рис. 3. Вид крестовины

За счет снижения температуры сушильного агента (в конденсаторе 16) происходит частичная конденсация содержащейся в нем влаги, которая выводится из конденсатора в жидком виде. Далее отработанный сушильный агент с температурой 45–55 °С, пройдя узел доочистки отработанного теплоносителя, по газоходу 4 поступает в подогреватель сушильного агента, далее в двухконтурную систему пневмотранспорта продукта и затем в силосную башню 18. При этом отработанный теплоноситель полностью (100%) используется повторно без выброса в атмосферу. Использование конденсатора 16, узла 15 доочистки отработанного теплоносителя позволяет достичь высокой степени очистки отработанного теплоносителя, что позволяет осуществить 100%-ный его возврат на стадию сушки. В результате осуществления

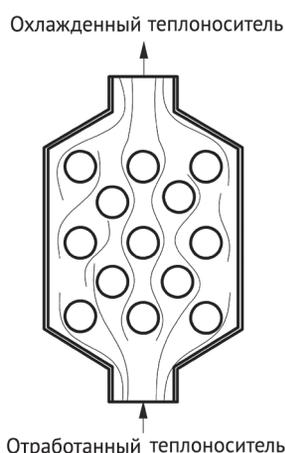


Рис. 4. Схема конденсатора

процесса сушки со 100%-ным замкнутым контуром в устройстве получают продукт с влажностью не более 10%. При этом процесс сушки экологически чистый, без выброса газа в атмосферу, а влага из отработанного теплоносителя выводится в жидком виде. Представленная схема сушки исключает попадание особо опасных веществ из шламов в окружающую среду, что важно при сушке жидких шламов, содержащих токсичные вещества.

## 2. Экспериментальные исследования

Суспензия активного ила относится к трудноосушаемым системам, что объясняется слабой водоотдачей биомассы активного ила, а также присутствием большого количества абразивных примесей. По нашему мнению, при отсутствии этих примесей и использовании свежей биомассы активного ила сгущение активного ила можно осуществить аналогично сгущению большинства суспензий. Нами экспериментально исследован процесс сгущения суспензии активного ила после вторичных отстойников в центрифугах различного типа, выбраны оптимальные параметры, режимы центрифугирования и термореагентной обработки. Для оценки эффективности термореагентной обработки активного ила проводили испытания на лабораторной стаканчиковой центрифуге типа А. Результаты испытаний приведены в табл. 1 и 2.

Приведенные в табл. 1 и 2 данные указывают на эффективность предварительной термореагентной обработки при заранее определенном оптимальном режиме центрифугирования активного ила.

Чтобы исследовать сгущение активного ила после вторичных отстойников, были проведены испытания промышленных центрифуг типа В и С. Также

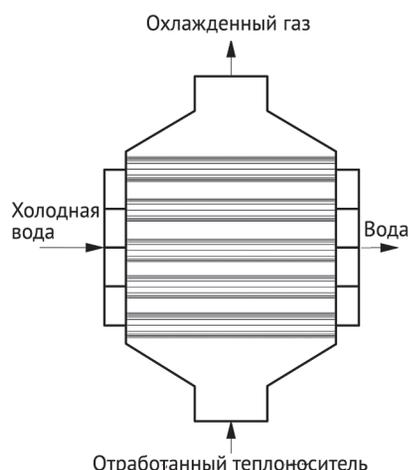


Рис. 5. Схема потоков газа и воды в конденсаторе

Таблица 1  
Зависимость эффективности разделения суспензии активного ила от режима центрифугирования

Центрифугирование		Концентрация биомассы, % АСВ (абсолютно сухое вещество)		
Число оборотов, мин <sup>-1</sup>	Продолжительность разделения, мин	В исходной суспензии	В осадке	В осветленной жидкости
1500	3	0,62	1,50	0,44
2000	3	0,62	1,76	0,38
2500	3	0,62	1,98	0
3000	3	0,62	2,47	0,25
3500	3	0,62	2,66	0,21
1500	6	0,62	2,14	0,30
2000	6	0,62	3,30	0,24
2500	6	0,62	3,97	0,16
3000	6	0,62	4,86	0,15
3500	6	0,62	4,90	0,15

было изучено влияние на качество центрифугирования химических реагентов — флокулянтов. В прямоточной осадительной шнековой центрифуге типа В у сопряжения цилиндрической и конической частей обечайки ротора сделаны два диаметрально противоположных отверстия для установки сменных сопел, через которые выгружают осадок. На корпусе шнека выполнен управляющий диск, в процессе работы центрифуги вращающийся синхронно со шнеком и через определенные промежутки времени перекрывающий выгрузные отверстия. Продолжительность и периодичность открытия выгрузных отверстий для осадка регулируют изменением разности скоростей вращения шнека и ротора.

В противоточной осадительной шнековой центрифуге типа С частоту вращения ротора регулируют преобразователем частоты тока. Это позволяет при постоянном передаточном отношении плавно и быстро устанавливать желаемую частоту его вращения в достаточно широком диапазоне. Разность оборотов шнека и ротора можно изменять без остановки машины посредством бесступенчатой гидравлической системы, что очень удобно при работе с суспензиями, имеющими нестабильные свойства. Зазор между шнеком и стенками ротора составляет не более 1 мм, т. е. подслоя неудаляемого осадка практически отсутствует.

Суспензию подают в ротор в начале его цилиндрической части. Под действием центробежных сил тяжелая фаза перемещается шнеком к периферии вдоль образующей ротора в направлении

Таблица 2  
Влияние предварительной обработки суспензии активного ила на эффективность ее разделения центрифугированием (при  $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$ ,  $\tau = 6 \text{ мин}$ )

Предварительная обработка		Концентрация биомассы, % АСВ			
Концентрация реагентов, % (масс)		Температура термообработки, °С	В исходной суспензии	В осадке	В осветленной жидкости
Серно-кислого железа	Извести				
0,5	—	22	7,6	5,10	0,12
0,8	—	22	7,6	5,14	0,12
0,8	0,5	22	7,6	6,70	0,10
0,8	1,0	22	7,6	6,93	0,10
0,8	1,0	40	7,6	6,96	0,11
0,8	1,0	50	7,6	6,94	0,12
0,8	1,0	60	7,6	7,10	0,14
0,8	1,0	70	7,6	7,30	0,18
0,8	1,0	80	7,6	7,60	0,19

выгрузных отверстий, постепенно обезвоживается и уплотняется. По достижении выгрузных отверстий осадок выбрасывается из ротора. Фугат движется в том же направлении, что и осадок, но на меньшем радиусе, попадает в специальные каналы, выполненные в корпусе шнека, и отводится по ним к сливным окнам. Прямоточность способствует более высокому качеству осветления, особенно для тонкодисперсных легковзмучиваемых суспензий, а также позволяет снизить расход или совсем отказаться от применения флокулянтов. Результаты испытаний центрифуг типа В и С представлены в табл. 3 и 4.

В опытах 1–6 на центрифуге типа В при сгущении активного ила после вторичных отстойников с концентрацией 1,0–1,1 % АСВ осадок выгружали через одно сопло диаметром 5 мм. Производительность по суспензии — от 5 до 13 м<sup>3</sup>/ч. Содержание твердой фазы в концентрате микробной биомассы при нагрузке 10–13 м<sup>3</sup>/ч составило 9–10 % АСВ. При максимальной производительности использовали одно сопло диаметром 6 мм. Фугат — визуально прозрачный. Минимальная удельная дозировка флокулянта — около 2 кг на 1 т сухого продукта. При недогрузке центрифуги по суспензии (5 м<sup>3</sup>/ч) количество АСВ в концентрате не превышало 5,5 %.

В опытах 1–4 на центрифуге типа С при той же исходной суспензии аналогичное сгущение получено лишь при дозировке флокулянта 4–10 кг на 1 т сухого продукта. Осветление фугата было хуже, производительность составила 5–10 м<sup>3</sup>/ч.

Таблица 3

Экспериментальные данные сгущения активного ила на центрифуге типа В

Условия	Опыт					
	1	2	3	4	5	6
Расход флокулянта, л/ч	300	200	100	200	300	300
Доза флокулянта:						
г/м <sup>3</sup>	60	40	20	20	27,3	23,1
кг/т СВ	5,5	3,6	2,0	1,8	2,57	2,2
Расход суспензии, м <sup>3</sup> /ч	5	5	5	10	11	13
Исходная концентрация суспензии, % АСВ	1,09	1,11	1,00	1,11	1,06	1,06
Содержание, % АСВ:						
твердой фазы в концентрате	5,53	5,7	5,24	9,3	10,08	10,2
твердой фазы в фугате	–	0,16	–	0,2	–	0,3

Таблица 4

Экспериментальные данные сгущения активного ила на центрифуге типа С

Условия	Опыт			
	1	2	3	4
Расход флокулянта, л/ч	400	400	800	600
Доза флокулянта:				
г/м <sup>3</sup>	40	50	100	120
кг/т СВ	4,0	4,42	8,47	10,43
Расход суспензии, м <sup>3</sup> /ч	10	8	8	5
Исходная концентрация суспензии, % АСВ	1,00	1,13	1,18	1,15
Содержание, % АСВ:				
твердой фазы в концентрате	9,78	11,41	11,91	10,92

**Заключение**

Отмечена эффективность предварительной терморегентной обработки при заранее определенном оптимальном режиме центрифугирования активного ила. При этом глубокое обезвоживание различных шламов, в том числе активного ила,

может быть осуществлено путем использования разработанного и испытанного в промышленных условиях способа сушки, позволяющего исключить попадание особо опасных веществ шламов в окружающую среду, что важно при сушке особо токсичных шламов.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Александров А.А., Архаров И.А., Багров В.В., Девянин С.Н., Ксенофонтов Б.С., Лобанов Б.С., Марков В.А., Серeda А.В., Шарин Е.А., Шпак А.В. Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения. М.: НИЦ «Инженер», Онико-М, 2014. 691 с.
2. Ксенофонтов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. М.: Химия, 1992. 144 с.
3. Ксенофонтов Б.С., Козодаев А.С., Таранов Р.А., Сенник Е.В., Виноградов М.С., Воропаева А.А. Интенсификация процесса переработки нефтешламов // Сантехника. 2015. № 2. С. 58–60.
4. Ksenofontov B.S. Water systems flotation treatment. Wastewater and soil flotation treatment. Saarbrücken: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. 189 p.
5. Гронь В.А., Коростовенко В.В., Шахрай С.Г., Капличенко Н.М., Галайко А.В. Проблема образования, перера-

- ботки и утилизации нефтешламов // Успехи современного естествознания. 2013. № 9. С. 159–162.
6. Гвоздев В.Д., Ксенофонтов Б.С. Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. М.: Химия, 1988. 112 с.
7. Ахметов А.Ф., Гайсина А.Р., Мустафин И.А. Технология утилизации нефтяных шламов // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 4. С. 95–97.
8. Мещеряков С.В., Песцов К.К., Шмаль Г.И., Иванова Е.А. О необходимости комплексного подхода к переработке нефтяных отходов // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 3. С. 31–33.
9. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003. Т. 2. 884 с.

**REFERENCES**

1. Aleksandrov A.A., Arkharov I.A., Bagrov V.V., Devyainin S.N., Ksenofontov B.S., Lobanov B.S., Markov V.A., Sereda A.V., Sharin E.A., Shpak A.V. *Neftyanye motornye topliva: ekologicheskie aspekty primeneniya* [Petroleum motor fuels: environmental aspects of the application]. Moscow, NITS «Inzhener» Publ., Oniko-M Publ., 2014. 691 p. (in Russian).
2. Ksenofontov B.S. *Ochistka stochnykh vod: flotatsiya i sgushchenie osadkov* [Wastewater treatment: sludge

- thickening and flotation]. Moscow, Khimiya Publ., 1992. 144 p. (in Russian).
3. Ksenofontov B.S., Kozodaev A.S., Taranov R.A., Senik E.V., Vinogradov M.S., Voropaeva A.A. *Intensifikatsiya protsessy pererabotki nefteshlamov* [The intensification of the process of refining oil sludge]. *Santekhnika* [Plumbing]. 2015, I. 2, pp. 58–60 (in Russian).



4. Ksenofontov B.S. Water systems flotation treatment. Wastewater and soil flotation treatment. Saarbrücken: LAP LAMBERT Acad. Publ., 2011. 189 p.
5. Gron' V.A., Korostovenko V.V., Shakhray S.G., Kaplichenko N.M., Galayko A.V. Problema obrazovaniya, pererabotki i utilizatsii nefteshlamov [The problem of education, treatment and disposal of sludge]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Successes of modern science]. 2013, I. 9, pp. 159–162 (in Russian).
6. Gvozdev V.D., Ksenofontov B.S. *Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod i utilizatsiya osadkov* [Process Wastewater Treatment and disposal of sediments]. Moscow, Khimiya Publ., 1988. 112 p. (in Russian).
7. Akhmetov A.F., Gaysina A.P., Mustafin I.A. Tekhnologiya utilizatsii neftyanykh shlamov [The technology of recycling of oil sludge]. *Neftegazovoe delo* [Oil and gas business]. 2011, V. 9, I. 4, pp. 95–97 (in Russian).
8. Meshcheryakov S.V., Pestsov K.K., Shmal' G.I., Ivanova E.A. O neobkhodimosti kompleksnogo podkhoda k pererabotke neftyanykh otkhodov [On the need for an integrated approach to processing waste oil]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Health and Safety]. 2012, I. 3, pp. 31–33 (in Russian).
9. Timonin A.S. *Inzhenerno-ekologicheskiy spravochnik* [Engineering and Environment directory]. Kaluga, N. Bochkarevoy Publ., 2003, V. 2, 884 p.

## Problems and Methods of Oil Sludge Treatment

**B.S. Ksenofontov**, Doctor of Engineering, Professor

**A.S. Kozodaev**, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**R.A. Taranov**, Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**A.A. Voropaeva**, Engineer, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**E.V. Senik**, Graduate Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**M.S. Vinogradov**, Graduate Student, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

*Urgency of the problem of sludge treatment and disposal in recent times is noted in this paper. Questions related to sludge and other waste treatment by centrifugation both with pre-treatment, and without it, have been considered. It has been demonstrated that the treatment is more effective at heating of above-noted waste, and by reagents adding. As a result of use of centrifuges at a stage of above-noted waste treatment it is possible to reach rather high degree of separation into liquid and firm phases which can be used in various directions. Further dewatering is possible by using a proposed drying scheme with a closed circuit of heat transfer fluid. The scheme includes a unit for heat transfer fluid preparation, a drying chamber, a device for a finished product unloading, a cleaning system for used drying agent, a unit for additional cleaning of heat transfer fluid, dual-circuit system of pneumatic transport for the finished product. The proposed scheme contributes to exclusion of sludge' toxic substances from getting into the environment.*

*Experimental studies of activated sludge suspension thickening process after secondary clarifiers in centrifuges of different types have been carried out. Tests were conducted on laboratory and industrial direct-flow and counter-flow centrifuges. Optimal parameters and modes for centrifugation and thermo-reactant treatment were selected. Effectiveness of preliminary thermo-reactant treatment at a predetermined optimal centrifugation mode for activated sludge has been confirmed. The solids content in the concentrate of microbial biomass at the load 10–13 m<sup>3</sup>/h reached 9–10% DIA. At the maximum capacity was used one nozzle with 6 mm diameter. Minimum specific dosage of flocculent is about 2 kg per 1 ton of dry product.*

**Keywords:** production waste, sludge, activated sludge, centrifugation, settling-type centrifuge, drying, closed circuit of heat transfer fluid, chemical reagents.

### Обновлена классификация видов экономической деятельности по классам профессионального риска

Приказом Минтруда России от 30.12.2016 № 851н утверждена Классификация видов экономической деятельности по классам профессионального риска.

В новом классификаторе коды по ОКВЭД ОК 029–2001 (КДЕС Ред. 1) заменены на коды по ОКВЭД ОК 029–2014 (КПЕС РЕД. 2), утвержденному Приказом Росстандарта от 31.01.2014 N14-ст.

Установление класса профессионального риска осуществляется в целях разделения видов экономической деятельности на группы, используемые при установлении размера страховых тарифов по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.