УДК 628.339

© О. В. Янцен, старший преподаватель
© В. А. Герасимов, студент
© А. П. Сторожев, студент
(Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет)
E-mail: yantsenov@mgsu.ru, gaw70@mail.ru,
alexsys2012@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-3-134-141

© O. V. Yantsen, senior teacher
© V. A. Gerasimov, student
© A. P. Storozhev, student
(Moscow National Research State University
of Civil Engineering)
E-mail: yantsenov@mgsu.ru, gaw70@mail.ru,
alexsys2012@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПИЩЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

MODERN TECHNOLOGICAL SOLUTIONS AT RECONSTRUCTION OF TREATMENT PLANTS OF FOOD PRODUCTION

Рекомендованы технологические решения по модернизации установки напорно-реагентной флотации. Рассмотрены вопросы разработки, конструирования и устройства комплекса флотационной установки. Предложены различные вариации подачи водо-воздушной смеси с целью выявления лучшей эффективности очистки сточных вод. В течение полугода были проведены исследования сточной воды, образующейся на производстве, выполнены санитарно-химические анализы и было приведено сравнение с ПДК. Данное сравнение позволит использовать установку напорно-реагентной флотации в различных технологических схемах, что даст возможность очищать сточную воду с пищевых производств до критериев сброса как в городскую канализацию, так и в водоемы рыбохозяйственного назначения. Показаны результаты работы флотационной установки в различных режимах. Представлены решения по реконструкции очистных сооружений с помощью данной флотационной установки.

Ключевые слова: очистные сооружения, напорная флотация, промышленные сточные воды, физико-химическая очистка сточных вод, водо-воздушная смесь, очистка сточной воды, биофильтр.

The paper submits recommendations concerning technological solutions for modernization of the pressure-reagent flotation unit. Issues concerning the development, design and arrangement of a complex flotation installation are considered. The authors propose using various ways of the water-air mixture supply in order to identify the best efficiency of wastewater treatment. During six months, studies were carried out in regard of the waste water produced in the production, there were made measurements and sanitary and chemical analyses of wastewater generated in the production, and a comparison with the threshold level values was made. This comparison analysis will make it possible using the pressure-reagent flotation installation in various technological schemes, which will allow purifying waste water from food production to the criteria of discharge both into the municipal sewerage and into the fishery use water bodies. The results of the filtration unit operation in different modes are shown. Solutions for the reconstruction of waste water treatment plants using this flotation installation are proposed.

Keywords: treatment plants, pressure flotation, industrial wastewater, physical and chemical wastewater treatment, water-air mixture, sewage water treatment, trickling filter.

Введение

Основной принцип проектирования — безопасность и максимальное сохранение всех ресурсов: воды, энергии, материалов и человеческих трудозатрат. При проектировании и строительстве канализационных очистных сооружений на промышленных производствах это особенно важно, ведь, согласно Указу

Президента РФ¹, с каждым годом все большее внимание уделяется охране окружающей среды.

На промышленных производствах образуются разнообразные сточные воды [1]. Стоки пищевых предприятий являются одними из самых слож-

¹ Указ Президента РФ от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».

ных по своему составу, что приводит к поиску наиболее рациональных и высокоэффективных методов очистки. Например, уровень pH может измениться в течение короткого времени (молочное, масложировое производства) или может произойти обильное пенообразование (горох, картофель, фасоль, морепродукты), и это нужно учитывать при разработке технологической схемы и выборе очистного оборудования [2].

В соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 24.12.2014 № 2674-р², основной задачей реконструкции пищевого производства стало создание условий, стимулирующих и финансово мотивирующих переход предприятий на наилучшие доступные технологии.

1. Технологические решения реконструкции пищевого производства

Современные установки очистки промышленных стоков должны выполнять очистку сточных вод до необходимого качества, обеспечивать высокую надежность работы при залповых сбросах, быть простыми в обслуживании, компактными, образовывать минимальное количество вторичных отходов, а также позволять экономить ресурсы и энергию.

На локальных очистных сооружениях, которые располагаются на территории пищевого предприятия г. Воронежа, занимающегося производством хлебной продукции, изначально существовал блок очистки, включающий жиросеparator, первичный отстойник, биофильтр, вторичный отстойник (рис. 1). В настоящее время данный блок сооружений находится в нерабочем состоянии и нуждается в реконструкции.

² Распоряжение Правительства РФ от 24 декабря 2014 г. № 2674-р «Об утверждении перечня областей применения наилучших доступных технологий».

Сточная вода проходит через жиросеparator и после сбрасывается в городскую канализацию. Требования по качеству очистки сточных вод для сброса их в городскую канализацию не выполняются.

Для разработки новой технологической схемы очистных сооружений были проведены санитарно-химические анализы сточной воды, образующейся на производстве (сточная вода исследовалась в течение шести месяцев) и было приведено сравнение с ПДК по постановлению Администрации Воронежа № 510³ по левому и правому берегам Волги, а также с водными объектами рыбохозяйственного назначения, представленными в табл. 1.

Существующие очистные сооружения не обеспечивают должное качество очистки образующейся сточной воды по причине их неработоспособности, что говорит о необходимости реконструкции станции⁴.

Для обеспечения качественной биологической очистки сточных вод необходимое содержание взвешенных веществ должно быть не более 150 мг/л. В существующей технологической схеме жиросеparator — единственное работающее сооружение, которое вместе с жирами задерживает около 10 % взвешенных веществ, что не удовлетворяет требованиям к качественной биологической очистке. Для эффективного удале-

³ Постановление Администрации городского округа г. Воронеж от 18 июня 2014 г. № 510 «Об утверждении нормативов водоотведения (сброса) по составу сточных вод для абонентов, осуществляющих сброс в централизованную систему водоотведения городского округа г. Воронеж».

⁴ Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

Рис. 1. Технологическая схема очистных сооружений пищевого производства до и после реконструкции

Таблица 1

**Сравнительная характеристика состава образующейся сточной воды и норм сброса
в водоемы**

Показатели	ПДК по постановлению Администрации г. Воронежа № 510 от 18.06.2014 по правому берегу Волги, мг/дм ³	ПДК по постановлению Администрации г. Воронежа № 510 от 18.06.2014 по левому берегу Волги, мг/дм ³	ПДК вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, мг/дм ³	Диапазон загрязнений в поступающей сточной воде, мг/дм ³	Усредненный состав сточной воды, мг/дм ³
Азот аммонийный	29,08	32,12	0,4	5,95–29,5	25,34
АПАВ	0,9	1,1	0,5	0,122–1	0,52
БПК полное	280	221,6	3	919–3086	2024,00
Взвешенные вещества	181,7	178,86	10	189–424	277,25
Железо	0,6	1,0	0,1	1,26–3,2	2,25
Медь	0,0382	0,066	0,001	0,024–0,252	0,11
Нефтепродукты	0,38	0,99	0,05	1,4–8,6	4,45
Азот нитратов	2,26	1,7	9	0,023–0,95	0,54
Азот нитритов	0,02	0,006	0,02	0,02–0,046	0,0046
pH	6,5–8,5	6,5–8,5	7–9	6,07–6,97	6,37
Свинец	0,02	0,187	0,006	0,001–0,005	<0,005
Сульфаты	59,22	100	100	20,2–113	57,13
Сухой остаток	537	1000		882–1984	1207,00
Фенолы	–	0,181	0,001	0,002–0,005	0,006
Фосфат-ион	1,93 (по Р)	2,92(по Р)	0,2	4,7–47,3	20,70
ХПК	–	522,48	30	1217–6140	3191,75
Хлориды	84,52	300	300	108–742	273,75
Хром+3	0,11	–	0,07	–	–
Цинк	0,056	0,048	0,01	0,026–0,171	0,08
Жиры	–	50,0	–	52–150	116

ния жиров, нефтепродуктов, тяжелых металлов и взвешенных веществ жироуловитель заменим на установку напорной флотации, что говорит о необходимости изменения технологической схемы очистных сооружений.

Авторами была разработана технологическая схема реконструкции (см. рис. 1), при которой были максимально задействованы существующие сооружения.

Благодаря модернизированной технологической схеме — устройству зоны денитрификации (на базе существующих первичных отстойников) и зоны нитрификации (на базе биофильтров) — локальные очистные сооружения позволят достигнуть степени очистки сточной воды до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения [3]. На проектируемых очистных сооруже-

ниях предусмотрена возможность в случае изменения стока (аварийный залповый сброс, появление нового производства на предприятии) сбрасывать очищенную сточную воду в городскую канализацию (см. рис. 1).

2. Модернизация установки напорно-реагентной флотации

Ключевым сооружением технологической схемы, определяющим дальнейшие параметры прохождения процессов очистки сточной воды, является флотатор.

После изучения различных способов напорной флотации [4], конструкций различных флотаторов [5], видов образования водо-воздушной смеси и различных видов материалов исполнения была предложена модернизированная модель флотатора для пищевой промышленности,

рассчитанная на небольшую производительность (рис. 2).

Разработанная технологическая схема напорной флотации обеспечивает эффективную и безопасную очистку стока от жиров, нефтепродуктов, тяжелых металлов и взвешенных веществ.

Описание конструкции. Флотатор напорный для пищевой промышленности представляет собой конструкцию, состоящую из опорной рамы, флотационной емкости, трубного сатуратора, трубного флокулятора, площадки обслуживания и шкафа управления. Вся трубопроводная обвязка и арматура (кроме самого флотационного каркаса) выполнена из ПВХ, плюс которого является его стойкость к агрессивным сточным водам, дешевизна (по сравнению с нержавеющей сталью) и низкая шероховатость [6].

Были апробированы различные способы подачи водо-воздушной смеси во флотатор для

сравнения качества очистки сточной воды пищевого производства и выявления наиболее эффективного способа очистки сточной воды с пищевого предприятия.

Принцип работы

Реагентная обработка. Сточные воды после их усреднения поступают в напорном режиме на реагентную обработку в трубный флокулятор, который представляет собой трубный регистр с расчетным временем обработки сточных вод 40 секунд.

Ввод и смешение растворов щелочи, коагулянта и флокулянта обеспечивают три статических смесителя, расположенных на трубном блоке. Обработанная вода, содержащая скоагулированные загрязнения, подается во флотационную камеру. Для контролирования кислотности поступающего стока устанавливается датчик и контроллер pH (рис. 3).

Рис. 2. Схема (а) и фотография (б) установки напорно-реагентной флотации

Рис. 3. Принципиальная технологическая схема трубного флокулятора

Для уменьшения расхода реагентов, используемых в процессе флотационной обработки сточных вод, используются специальные усовершенствованные конструкции смесительной вставки (диафрагмы) [7, 8].

Процесс флотации. Стоки, обработанные реагентами, поступают во флотационную камеру специальной конусовидной формы. Материалом изготовления флотационной установки является полипропилен, главное свойство которого — устойчивость к агрессивным стокам и его невысокая стоимость. Часть очищенной воды циркуляционным насосом подается в трубный сатуратор (рис. 4). Также в трубный сатуратор подается сжатый воздух от компрессорной установки, им насыщается вода. Образовавшаяся водо-воздушная смесь подается в три точки: перед входом в камеру флотации, во флотационную камеру и на линию сброса осадка. При изменении давления растворенный воздух выделяется из воды в виде микропузырьков, которые прилипают к частицам скоагулированных загрязнений и поднимают их в верхнюю часть камеры флотации (зону флотации), образуя пенный слой.

Сепарация на тонкослойных элементах. Очищаемая вода из зоны флотации поступает в зону сепарации, расположенную в нижней части флотационной камеры и оснащенную полипропиленовыми пластинами, установленными под углом 60° к горизонту, создавая тем самым подобие первичного отстойника. В данной секции происходит окончательное выделение растворенного воздуха. Наличие полипропиленовых пластин ускоряет процесс всплытия микропузырьков, и благодаря малой скорости потока

Рис. 4. Трубный сатуратор

взвешенные частицы, попадая на пластины, скапливаются по ним и опадают на дно флотационной установки. Существенным преимуществом флотации перед отстаиванием, которое происходит в первичных отстойниках биологической очистки, является получение флотационного шлама с более низкой влажностью (90–95 %), чем влажность осадка, образующегося при отстаивании (95–99,8 %). Поэтому шлама образуется в 2–10 раз меньше, чем осадка при отстаивании [9]. Благодаря этому данная модель дает возможность исключить проектирование первичного отстойника при дальнейшей очистке стока на биофильтрах. В существующем первичном отстойнике организуется зона денитрификации.

Удаление флотопены. Удаление флотопены с поверхности воды проводится высокопрочным скребковым механизмом с электроприводом в приемный лоток, из которого шлам отводится самотеком. Особенностью стоков с пищевых предприятий является образование плотной и высокой флотопены. В связи с этим над приемным лотком установлена система орошения очищенной водой, функция которой — осаждение флотопены через форсунки. Валы, цепи, каркас скребков и устройство натяжения цепи изготавливаются из нержавеющей стали. Для равномерного и эффективного удаления пены все скребки выполнены из специального износостойкого полимерного материала.

Предусмотрено удаление флотопены с помощью вытяжной установки (рис. 5, а), которая выкачивает флотопену из флотационной камеры в приемный лоток, двигаясь вдоль установки (рис. 5, б).

Вывод осадка. Образующийся осадок собирается в нижней конусной части флотационной камеры и периодически отводится из установки. В случае засора отводящего трубопровода предусмотрена подача водо-воздушной смеси для создания давления в трубопроводе и удаления засоренности.

Биологические фильтры. Биофильтр — резервуар специальной формы, в котором располагается загрузочный материал. На загрузке фиксируется биологическая пленка, образованная колониями разных микроорганизмов. Сточные воды очищаются в результате жизнедеятельности этих микроорганизмов.

Рис. 5. Вытяжная установка (а) и удаление флотопены с ее помощью (б)

В связи с особенностями прикрепленной биомассы, в частности, быстрым восстановлением ее рабочих свойств, образуется возможность при необходимости очистки до различных норм сброса вместе с флотационной установкой использовать биофильтры. Биофильтры имеют ряд преимуществ: низкое энергопотребление, крайне устойчивая к различным условиям биопленка [10]. Таким образом, для очистки сточных вод возможно применять блочно-модульную установку [11].

Вариации подачи водо-воздушной смеси. При флотации в жидкости происходит ряд процессов: растворение и выделение воздуха, адсорбция воздушных пузырьков к частицам взвеси и всплывание их на поверхность с образованием флотопены. Условия протекания этих процессов существенно влияют на качество об-

Рис. 6. Варианты подачи водо-воздушной смеси

работки воды. Для изучения данных процессов на установке напорной флотации авторами были проведены испытания с различными видами подачи водо-воздушной смеси (рис. 6), результаты которых представлены в табл. 2.

Выводы

1. Предложенная установка расширяет спектр подачи водо-воздушной смеси в сравнении с классическими вариантами установок, что, в свою очередь, повышает эффективность очистки сточных вод пищевой промышленности.

2. Предложена модульная система очистки воды, легко изменяющаяся в зависимости от заданных параметров.

3. Разработанные решения позволяют существенно экономить ресурсы.

Библиографический список

1. Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды. М.: Химия, 1989. 512 с.
2. Лыкова О. В., Гогина Е. С. Реконструкция очистных сооружений тракторного завода // Вестник МГСУ. 2008. № S1. С. 188–192.
3. Гогина Е. С., Янцен О. В., Ружицкая О. А., Дабровски В., Жилка Р., Борушко Д. Интенсификация процессов удаления соединений азота из сточных вод на биофильтрах // Вода и экология: проблемы и решения. 2016. № 3 (67). С. 35–45.
4. Алексеев Е. В. Основы технологии очистки сточных вод флотацией. М.: АСВ, 2009. 136 с.
5. Еськин А. А., Ткач Н. С., Цыганкова К. В., Захаров Г. А. Способ напорной флотации // Опыт эф-

Таблица 2

Результаты испытаний с различными видами подачи водо-воздушной смеси

Критерии	Виды подачи водо-воздушной смеси		
	Перед флотатором	Во флотатор	Совмещенная подача
Наблюдения	Подача водо-воздушной смеси происходит перед флотационной камерой, после чего сточная вода вместе с водо-воздушной смесью поступает в камеру флотации. Во время данного процесса пузыри воздуха большого размера; не образуется молочкообразная смесь. Процесс флотации направлен лишь в одну точку, когда боковые края флотационной камеры не задействованы	На входе во флотационную камеру, на уровне 25 см от дна по всей ширине флотатора располагается трубопровод с маленькими отверстиями по всей его длине, через которые подается водо-воздушная смесь. В отличие от первого метода, процесс флотации направлен на всю ширину флотационной камеры. Во время данного процесса было замечено, что образуется молочкообразная смесь, но не образовывается флотопена	Водо-воздушная смесь подается в две точки: перед флотационной камерой и в саму флотационную камеру. Во время данного процесса было замечено, что пузыри воздуха имеют необходимый размер для образования молочкообразной смеси, а также вместе с данным процессом образовывается флотопена. Процесс флотации направлен на всю ширину флотационной камеры
Эффективность очистки сточных вод на выходе из очистных сооружений, %*			
Взвешенные вещества	70–80	80–90	95–98
БПКполн	80	90	95–98
ХПК	80	90	95–98
Фосфат-ион	80–90	80–90	93–95
Жиры	80–85	85–93	93–98
Нефтепродукты	85–90	90–93	93–98
Цинк	80–90	80–90	80–90
Железо	80–90	80–90	80–90
Медь	80–90	80–90	80–90
Итоги	Данный метод используется с последующей очисткой на биофильтрах. Также флотационная установка выполняет роль первичного отстойника. Эффективность очистки воды — до норм сброса в городскую канализацию	Данный метод используется без последующей очистки на биофильтрах. Также флотационная установка выполняет роль первичного отстойника. Эффективность очистки воды — до норм сброса в городскую канализацию	Данный метод используется с последующей очисткой на биофильтрах. Также флотационная установка выполняет роль первичного отстойника. Эффективность очистки — до норм сброса в водоем

* При соблюдении требований к реагентной обработке поступающего стока.

эффективного использования энергетических ресурсов Дальнего Востока. М.: Горная книга, 2014. С. 135–140.

6. Вилавский Е. И., Масакбаева С. Р., Баймухамбетова М. Г. Интенсификация процессов флотационной очистки промышленных сточных вод от нефтепродуктов // *Universum: технические науки*. 2016. № 11 (32). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3882>.

7. Оковитая К. О. Совершенствование технологий очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // *Инновационная наука*. 2016. № 5. С. 174–176.

8. Шевченко Т. А., Шевченко А. А. Интенсификация работы флотационной установки при очистке сточных вод предприятий молочной промышленности // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Т. 1, № 6 (79). С. 4–12.

9. П. м. 147134 Российская Федерация, МПК C02F 1/00. Устройство для коагуляционной обработки сточной жидкости / А. А. Шевченко; патентообладатель ЗАО НПФ «ЭкоТОН». Заявл. 10.07.2014; опубл. 27.10.2014.

10. Мацнев А. И. Очистка сточных вод флотацией. Киев: Будівельник, 1976. 132 с.

11. Мазуряк О. Н. Очистка сточных вод молоко-заводов // Современные технологии в строительстве. Пермь: Пермский нац. исслед. политехн. ун-т. 2016. Т. 1. С. 432–440.

References

1. Rodionov A. I., Klushin V. N., Torocheshnikov N. S. *Tekhnika zashchity okruzhayushchey sredy* [Environmental protection engineering]. Moscow, Khimiya Publ., 1989, 512 p.

2. Lykova O. V., Gogina E. S. *Rekonstruktsiya ochistnykh sooruzheniy traktornogo zavoda* [Reconstruction of treatment facilities of tractor plant]. *Vestnik MGSU – Bulletin of MGSU*, 2008, no. 1, pp. 188–192.

3. Gogina E. S., et al. *Intensifikatsiya protsessov udaleniya soedineniy azota iz stochnykh vod na biofil'trakh* [Intensification of the processes of removal of nitrogen compounds from wastewater in bio filters]. *Voda i ehkologiya: problemy i resheniya – Water and ecology: problems and solutions*, 2016, no.3 (67), pp. 35–45.

4. Alekseev E. V. *Osnovy tekhnologii ochistki stochnykh vod flotatsiy* [Basics of technology of sewage treatment by flotation]. Moscow, ASV Publ., 2009, 136 p.

5. Es'kin A. A., Tkach N. S., Tsygankova K. V., Zakharov G. A. *Sposob napornoy flotatsii* [Method of pressure flotation]. *Opyt ehffektivnogo ispol'zovaniya ehnergeticheskikh resursov Dal'nego Vostoka* [Experience of effective use of energy resources of the Far East]. Moscow, Gornaya kniga Publ., 2014, pp. 135–140.

6. Vilavskiy E. I., Masakbaeva S. R., Baymukhambetova M. G. *Intensifikatsiya protsessov flotatsionnoy ochistki promyshlennykh stochnykh vod ot nefteproduktov* [Intensification of flotation treatment of industrial wastewater from petroleum products]. *Universum: tekhnicheskie nauki – Universum: Technical Sciences*, 2016, no. 11 (32). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3882>

7. Okovitaya K. O. *Sovershenstvovanie tekhnologiy ochistki stochnykh vod myasopererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Improvement of technology wastewater treatment at meat processing plants]. *Innovatsionnaya nauka – Innovative science*, 2016, no. 5, pp. 174–176.

8. Shevchenko T. A., Shevchenko A. A. *Intensifikatsiya raboty flotatsionnoy ustanovki pri ochistke stochnykh vod predpriyatiy molochnoy promyshlennosti* [Intensification of the flotation plant performance in wastewater treatment of dairy production industry]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy – East European journal of advanced technologies*, 2016, vol. 1, no. 6 (79), pp. 4–12.

9. Shevchenko A. A. *Ustroystvo dlya koagulyatsionnoy obrabotki stochnoy zhidkosti* [Unit for coagulation treatment of sewage water]. Patent RF, MPK C02F 1/00, 2014.

10. Matsnev A. I. *Ochistka stochnykh vod flotatsiy* [Wastewater treatment by flotation]. Kiev, Budivelnik Publ., 1976, 132 p.

11. Mazuryak O. N. *Ochistka stochnykh vod molokozavodov* [Wastewater treatment at milk plants]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve – Modern technologies in construction*, Perm, Permskiy nats. issled. politekhn. un-t Publ., 2016, no. 1, pp. 432–440.