

Наведені результати експериментальних досліджень з інтенсифікації роботи флотаційної установки під час очистки стічних вод молокопереробного підприємства шляхом застосування спеціальної конструкції змішувальної вставки (діафрагми) у системі реагентної обробки. Встановлені оптимальні параметри роботи флотаційної установки, за яких досягається необхідна якість очистки стічних вод молокопереробного підприємства для скиду їх у систему водовідведення міста

Ключові слова: інтенсифікація, флотаційна установка, вузол змішування реагенту, діафрагма, фізико-хімічна очистка, молокопереробне підприємство

Приведены результаты экспериментальных исследований по интенсификации работы флоатационной установки при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия путем применения специальной конструкции смесительной вставки (диафрагмы) в системе реагентной обработки. Установлены оптимальные параметры работы флоатационной установки, при которых достигается необходимое качество очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия для сброса их в систему водоотведения города

Ключевые слова: интенсификация, флоатационная установка, узел смешивания реагента, диафрагма, физико-химическая очистка, молокоперерабатывающее предприятие

УДК 628.33

DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60121

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА НАПОРНОЙ ФЛОТАЦИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД МОЛОКОПЕРЕ- РАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. А. Шевченко

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра водоснабжения,

водоотведения и очистки вод

Харьковский национальный университет

городского хозяйства им. А. Н. Бекетова

ул. Революции, 12, г. Харьков, Украина, 61002

E-mail: tamarashevchenko@yandex.ru

А. А. Шевченко

Инженер по научно-технической информации

ООО «Эко-Инвест»

ул. Вокзальная, 26Е, г. Чугуев, Украина, 63503

E-mail: shevchenko950@gmail.com

1. Введение

В Украине около 300 различных молокоперерабатывающих предприятий, и с начала 2000-х годов объемы производства ежегодно увеличиваются на 15–20 %.

Предприятия данной отрасли являются одними из крупных потребителей пресной воды, а сбрасываемые сточные воды, образующиеся в процессе производства, относятся к категории высококонцентрированных.

Объем сточных вод в зависимости от ассортимента выпускаемой продукции и наличия оборотных систем (охлаждение и сбор конденсата) составляет 1–6 л/л перерабатываемого молока.

Главными особенностями сточных вод молокоперерабатывающих предприятий являются:

- высокое содержание органических загрязнений (ХПК, БПК, жиры);
- суточная и сезонная неравномерность поступления сточных вод;
- изменение концентраций загрязняющих веществ.

Для обеспечения установленных нормативов сброса применяются различные методы и схемы очистки

сточных вод, эффективность применяемых решений зависит от ряда факторов, и прежде всего, от достоверности исходных данных, необходимых для проектирования очистных сооружений [1, 2].

Большинство существующих рекомендации и справочных данных для проектирования очистных сооружений разрабатывались в 80-х годах [3–5]. Строящиеся в то время молокозаводы были рассчитаны на выпуск относительно узкого ассортимента продукции и применение актуального на то время оборудования и технологий, не позволяющего экономно расходовать водные ресурсы. Поэтому актуальным становится вопрос разработки эффективной технологической схемы очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

С начала 2000-х годов ассортимент продукции молокоперерабатывающих предприятий расширился.

Также, наряду с натуральными продуктами, в производстве активно используются различные пищевые добавки, эмульгаторы, стабилизаторы, консерванты, красители и прочее [1].

Кроме этого, если во времена Советского Союза сыровотка практически полностью использовалась для сельскохозяйственных нужд, то на сегодняшний день, ее утилизация является серьезной проблемой. Внедрение оборудования для переработки сыровотки (сгущение, сушка и деминерализации) требует значительных капиталовложений и в ряде случаев нерентабельно. В итоге, сыровотку просто сбрасывают в канализацию, что существенно увеличивает концентрации загрязняющих веществ.

В состав сточных вод предприятий молочной промышленности входят органические вещества, минеральные соли, в том числе микроэлементы, молочные сахара, коллоидные суспензии молочного жира и белка (казеина, альбумина, глобулина). Наличие устойчивых коллоидных систем обуславливает сложность очистки и обезвреживания данной категории промышленных сточных вод [2].

Важнейшими показателями качества сточных вод являются следующие: рН, ХПК, БПК, взвешенные вещества, содержание белков и молочного жира. Величина рН сточных вод определяется в значительной степени технологией производства, номенклатурой выпускаемой продукции [6]. При изучении 8 очистных сооружений молочных предприятий Франции авторами [7] было установлено, что рН колеблется в пределах 5,8–7,2. Для предприятий, вырабатывающих творог и кисломолочные продукты, величина рН достаточно низкая – 3–6. Это обусловлено тем, что в результате получения кисломолочной продукции образуется определенное количество сыровотки, сбрасываемой в канализацию, что и приводит к снижению рН. В тех случаях, когда сыровотка совершенно не утилизируется, рН колеблется в пределах 2–4. Согласно данным [8] величина водородного показателя, изученная в пределах рН=3–11, влияет на эффективность снижения БПК сточных вод при их очистке.

Указанные сточные воды характеризуются большим содержанием взвешенных веществ, 90 % которых имеют органическое происхождение. Их концентрация в основном обусловлена потерями сырья и молочной продукции в технологическом процессе и представляют собой кусочки творога, молочную пленку, казеин, а также содержат вещества, полученные при выработке молочных продуктов (белок, молочный сахар) [9].

К примесям минерального происхождения относятся грунт, песок, растворы щелочи, попадающие в канализацию при мойке технологического оборудования, тары, помещений.

Поскольку сточные воды молокозаводов относятся к водам нестабильного состава, то и показатели ХПК и БПК колеблются в широких пределах и составляют в среднем для городских молочных заводов – 1200–1400 мгО₂/л, для производства казеина и сметано-творожных продуктов – 2400 мгО₂/л [9, 10].

Содержание жиров определяется ассортиментом выпускаемой продукции и технологией производства. Образующиеся сточные воды содержат в себе углеводороды, протеины и жиры. Сточные воды содержат жиры в том виде, что и натуральное моло-

ко [11]. В молоке молочный жир представляет собой жировые шарики диаметром 0,5–10 микрон. В 1 мл молока бывает от 2 до 10 млрд. таких шариков. Жировые шарики окружены гидратированной белковой оболочкой, которые крайне медленно всплывают при отстаивании сточных вод. Концентрация жиров в сточных водах, образующихся при производстве высокожирной продукции (сливок, сметаны, масла), составляет 200–400 мг/л.

В работе [12] к основным показателям качества сточных вод помимо указанных выше также отнесен показатель общие растворенные вещества (TDS), включающий коллоидные и растворенные формы загрязнений. При проведении исследований авторами [12] величина этого показателя находилась в пределах 1229–1858 мг/л.

Обобщенные данные состава производственных сточных вод предприятий молочной промышленности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные данные состава производственных жировосодержащих сточных вод предприятий молочной промышленности

Показатели загрязнений	Количественная характеристика сточных вод		Требования к очищенной воде при сбросе в городскую канализацию
	молоко заводов	сыроваренных заводов	
Жиры, мг/л	100	100	20–50
Взвешенные вещества, мг/л	350	350–600	до 100
ХПК, мгО ₂ /л	1300	1800	до 800
БПК _{полн} , мгО ₂ /л	1100	2400	до 500
Азот общий	50–80	60–90	10–50
Азот аммонийный, мг/л	до 60	до 65	10–50
Фосфор общий, мг/л	до 9	до 16	5–20
Фосфор растворенный, мг/л	до 8	до 12	5–20
рН	6,5–8,5	6,2–7,0	6–9
Температура °С	17–25	17–25	до 40

Необходимо принимать во внимание, что каждое предприятие уникально и имеет ряд особенностей (культура водопользования, сырье, оборудование и пр.). В связи с этим возникает необходимость в комплексном обследовании системы водоотведения и химического состава сточных вод молокоперерабатывающих предприятий перед разработкой технологии их очистки.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы было обоснование интенсификации работы флотационной установки путем применения смесительной диафрагмы специальной конструкции при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий.

Для достижения поставленной цели необходимо было решение следующих основных задач:

- разработка экспериментальной установки для исследования процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия на флотационной установке с использованием специальной конструкции смесительной диафрагмы в узле смешения реагента;

- изучение основных факторов, которые влияют на очистку сточной воды молокоперерабатывающего предприятия на флотационной установке при применении специальной конструкции диафрагмы в узле смешения реагента;

- выполнить компьютерное моделирование процесса смешения коагулянта с обрабатываемой сточной водой с применением специальной конструкции смесительной диафрагмы в узле смешения реагента.

4. Материалы и методы исследования интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия

Исследования выполнены в лабораторных условиях на сточной жидкости ЗАО «Молочный комбинат «Авида» (г. Старый Оскол, Белгородская область, Российская Федерация). Лабораторные исследования выполнены с использованием оптических и физико-химических методов.

С помощью компьютерного моделирования построены эпюры скоростей и структуры смешения потока раствора реагента и обрабатываемой воды, которые объясняют механизм интенсификации процессов очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий на флотационной установке с помощью смесительной диафрагмы специальной конструкции.

5. Результаты исследования интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия

Объектом исследования интенсификации процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий было выбрано предприятие ЗАО «Молочный комбинат «Авида» (г. Старый Оскол, Белгородская обл., Российская Федерация). Лабораторные исследования проводились в период второго полугодия 2012 г.

ЗАО «Молочный комбинат «Авида» – ведущее предприятие молочной промышленности Белгородской области. Продукция комбината включает в себя молочные, кисломолочные, творожные и сырные изделия. Расход сточных вод за сутки в среднем составляет приблизительно 550 м^3 ; в среднем за месяц – приблизительно $17\,000 \text{ м}^3$ (по состоянию на октябрь 2012 г.).

Исследование среднесуточного количества переработанного молока за период с декабря 2011 г. по октябрь 2012 г. показывает, что существует небольшая сезонность работы предприятия. Отклонения от среднего за год могут достигать 25 %. Однако это незначительно сказывается на среднемесечном расходе воды (отклонения до 10 %). В среднем, за исследуемый

период времени, комбинат перерабатывал 217,8 тонн молока в сутки. Основными загрязнителями сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» являются: легкоокисляющиеся и нестойкие органические соединения, масла и жиры, минеральные вещества.

Проведенные исследования показали, что загрязнение сточных вод предприятия сывороткой, приводит к значительному ухудшению их качества. Несмотря на это, согласно данным табл. 2, независимо от наличия в сточных водах сыворотки, основными загрязнителями являются взвешенные вещества, фосфаты, жиры, легкоокисляющиеся и нестойкие органические соединения (БПК₅, ХПК). В связи с этим для очистки сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» разработана следующая комплексная двухэтапная система очистки, включающая: механическую и физико-химическую (1 этап), и, дополнительно, биологическую очистку (2 этап). Также, для сокращения объемов осадка предполагается его обезвоживание (рис. 1).

Этап физико-химической очистки реализуется на флотационной установке. Для повышения эффективности очистки сточных вод перед ней также предусматривается дозирование реагентов: коагулянтов и полимерных флокулянтов, применение которых в определенном диапазоне pH будет способствовать формированию легкоудаляемой хлопьевидной структуры загрязнений. Для поддержания оптимальной величины pH сточной воды, предусмотрено использование системы корректировки pH.

Таблица 2

Превышение норм сброса объединенных сточных вод предприятия (усредненные данные за второе полугодие 2012 г.)

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Качество сточных вод	ПДК	Кратность превышения
1	Водородный показатель	ед. pH	10,0	6,5–8,5	–
2	Взвешенные вещества	мг/дм ³	1 580	150	7,5
3	ХПК	мгО ₂ /дм ³	3 897	150	15
4	БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	2 358	66,7	21
5	Сульфаты	мг/дм ³	145	500	норма
6	Хлориды	мг/дм ³	89,8	350	норма
7	Железо общее	мг/дм ³	2,6	1,0	2,7
8	Азот аммонийный	мг/дм ³	18,5	5,0	2,2
9	Нефтепродукты	мг/дм ³	2,1	2,3	норма
10	Жиры	мг/дм ³	274	1,1	229
11	СПАВ	мг/дм ³	0,041	2,5	норма
12	Фосфор фосфатный	мг/дм ³	32,6	1,0	27
13	Сухой остаток	мг/дм ³	2 185	1000	1,8

Лабораторные исследования по изучению интенсификации процесса напорной реагентной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий были проведены с применением флотатора производства ЗАО «НПФ «ЭКОТОН» [13]. Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.



Рис. 1. Общая поэтапная схема очистки сточных вод

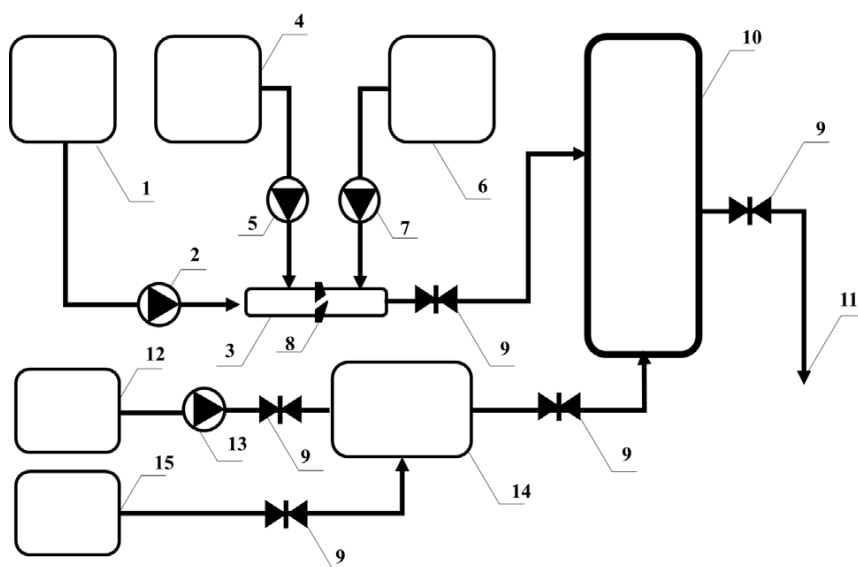


Рис. 2. Схема лабораторной установки флотационной очистки:

- 1 – бак исходных сточных вод; 2 – насос подачи сточных вод;
- 3 – трубный смеситель; 4 – бак с раствором коагулянта; 5 – насос дозирования раствора коагулянта; 6 – бак с раствором флокулянта; 7 – насос дозирования раствора флокулянта; 8 – диафрагма; 9 – запорно-регулирующая арматура;
- 10 – флотатор; 11 – осветленные сточные воды; 12 – расходный бак воды;
- 13 – насос повышения давления; 14 – сатуратор; 15 – компрессор

С целью уменьшения расходов реагентов, используемых в процессе флотационной обработки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, в данной работе представлена специальная усовершенствованная конструкция смесительной вставки (диафрагмы). Эта конструкция разработана и защищена патентом на полезную модель 147132 (Российская Федерация) [14]. Конструкция диафрагмы приведена на рис. 3.

В результате анализа данных табл. 2 было установлено, что основными загрязнениями сточных вод молочного комбината, концентрации которых значительно превышают нормы ПДК, являются: взвешенные вещества, ХПК, БПК₅, жиры и фосфор фосфатов. Поэтому были проведены исследования по влиянию концентраций этих загрязнений на процесс напорной флотации с применением обычной конструкции флотатора (вариант 1) и флотатора с усовершенствованной конструкцией диафрагмы в устройстве коагуляционной обработки (вариант 2).

Смесительную диафрагму устанавливают в трубу, диафрагма создает перепад давления. Часть потока перед диафрагмой забирается в обводной трубопровод. В этот трубопровод вводится концентрированный раствор коагулянта, далее по нему происходит смешение раствора с частью расхода сточных вод. Отобранная часть потока с коагулянтom возвращается в основной трубопровод сразу за диафрагмой в зону интенсивного вихреобразования.

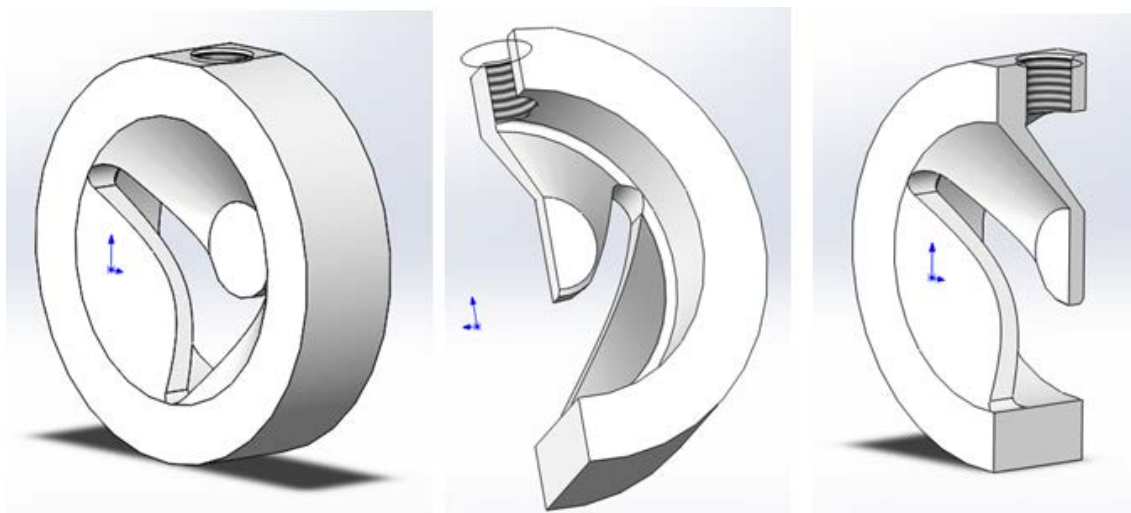


Рис. 3. Конструкция диафрагмы

В табл. 3 приведены результаты очистки сточных вод на лабораторной флотационной установке (рис. 2) по основным показателям качества сточных вод: взвешенные вещества, ХПК, БПК₅, жиры, фосфор фосфатов. Данные получены по двум вариантам узла коагуляционной обработки, указанным выше в работе. В качестве коагулянта был применен сульфат алюминия, дозы которого варьировались в таких пределах – 60–110 мг/дм³ (в расчете на Al₂O₃).

В практике физико-химической очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий широкое распространение получили железосодержащие реагенты (соли железа Fe²⁺ и Fe³⁺). Применение таких реагентов может быть более рациональным с точки зрения осуществления дальнейшей биологической очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия, экологически и экономически выгоднее, чем применение

алиминий содержащих реагентов. Поэтому для сравнения эффективности работы коагулянтов и экономической целесообразности их применения лабораторные исследования по интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия были проведены по варианту 2 (с применением усовершенствованной конструкции диафрагмы в системе подачи реагента) с использованием двух видов коагулянтов: сульфата алюминия Al₂(SO₄)₃ и хлорида железа FeCl₃, дозы которых указаны по тексту далее.

В табл. 4 и на рис. 4–8 приведены данные по эффективности работы лабораторной флотационной установки с применением усовершенствованной конструкции диафрагмы в узле смешения коагулянта с применением двух видов коагулянтов: сульфата алюминия и хлорида железа (III).

Таблица 3

Усредненные значения концентраций основных загрязнений сточных вод молочного комбината после флотационной очистки за период сентябрь–декабрь 2012 г.

№ п/п	Период исследований		Показатель				
			Взвешенные вещества, мг/дм ³	ХПК, мгО ₂ /дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Жиры, мг/дм ³	Фосфор фосфатов, мг/дм ³
1	2		3	4	5	6	7
Доза коагулянта 60 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	157,18	2224,1	1416,0	25,2	13,5
		Вариант 2	102,56	2073,8	1320,3	18,9	12,3
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	134,04	2259,0	1384,4	24,3	13,6
		Вариант 2	106,95	2104,3	1289,6	18,5	12,5
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	120,77	2221,2	1324,5	25,7	13,1
		Вариант 2	82,78	2252,5	1343,2	19,4	11,5
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	146,16	2341,0	1351,6	25,8	12,3
		Вариант 2	77,0	2214,5	1278,6	19,8	12,0
5	Среднее значение	Вариант 1	139,54	2261,3	1369,1	25,2	13,1
		Вариант 2	92,32	2161,3	1307,9	19,1	12,1
Доза коагулянта 70 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	81,25	2043,7	1301,2	21,5	12,6
		Вариант 2	50,62	1893,5	1205,5	14,6	11,4
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	82,71	2197,1	1346,5	21,0	12,5
		Вариант 2	57,04	2011,4	1232,7	14,2	10,7
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	74,64	2158,7	1287,2	22,5	12,4
		Вариант 2	48,85	2002,2	1193,9	13,6	10,9
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	50,90	2087,9	1205,5	22,8	12,9
		Вариант 2	43,07	2024,6	1169,0	13,8	10,8
5	Среднее значение	Вариант 1	72,38	2121,9	1285,1	22,0	12,6
		Вариант 2	49,90	1982,9	1200,3	14,1	11,0
Доза коагулянта 80 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	46,62	1893,5	1205,5	13,8	11,7
		Вариант 2	45,61	1743,2	1109,8	16,2	9,3
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	52,76	2011,4	1232,7	13,2	11,0
		Вариант 2	51,87	1887,6	1156,9	15,4	10,2
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	47,50	2002,2	1193,9	14,7	9,7
		Вариант 2	46,12	1908,4	1138,0	16,0	12,4
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	52,20	2056,3	1187,2	14,9	11,4
		Вариант 2	50,33	1898,1	1095,9	16,3	11,7
5	Среднее значение	Вариант 1	49,77	1990,9	1204,8	14,1	11,0
		Вариант 2	48,48	1859,3	1125,1	16,0	10,9

Продолжение таблицы 3

1	2		3	4	5	6	7
Доза коагулянта 90 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	58,61	1773,2	1129,0	15,7	12,3
		Вариант 2	67,93	1803,3	1148,1	18,9	13,2
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	68,45	1887,6	1156,9	15,4	11,3
		Вариант 2	72,73	1856,7	1137,9	18,2	11,9
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	65,14	1845,8	1100,6	16,2	11,2
		Вариант 2	73,28	1939,7	1156,6	19,7	12,1
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	63,95	1866,5	1077,6	17,6	11,1
		Вариант 2	70,47	1898,1	1095,9	19,8	11,7
5	Среднее значение	Вариант 1	64,04	1843,3	1116,0	16,2	11,5
		Вариант 2	71,10	1874,4	1134,6	19,1	12,2
Доза коагулянта 100 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	54,61	1833,4	1167,2	18,9	12,3
		Вариант 2	73,26	1893,5	1205,5	21,5	12,6
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	79,86	1887,6	1156,9	19,7	11,9
		Вариант 2	82,71	1980,5	1213,8	20,2	12,2
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	74,64	1908,4	1138,0	20,4	11,8
		Вариант 2	69,21	2002,2	1193,9	21,2	12,4
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	54,81	1993,0	1150,7	21,4	11,4
		Вариант 2	66,56	2056,3	1187,2	22,0	12,3
5	Среднее значение	Вариант 1	65,98	1905,6	1153,2	20,1	11,9
		Вариант 2	72,94	1983,1	1200,1	21,2	12,4
Доза коагулянта 110 мг/дм ³ (в расчете на Al ₂ O ₃)							
1	Сентябрь 2012 г.	Вариант 1	87,91	1953,6	1243,8	22,3	12,3
		Вариант 2	77,26	1983,6	1262,9	21,8	13,5
2	Октябрь 2012 г.	Вариант 1	88,41	1980,5	1213,8	21,8	12,5
		Вариант 2	78,43	1949,5	1194,8	20,2	12,2
3	Ноябрь 2012 г.	Вариант 1	84,13	2064,8	1231,2	21,2	13,1
		Вариант 2	78,71	2002,2	1193,9	21,0	12,1
4	Декабрь 2012 г.	Вариант 1	83,52	2119,5	1223,8	22,8	12,6
		Вариант 2	75,69	2056,3	1187,2	22,3	13,2
5	Среднее значение	Вариант 1	86,00	2029,6	1228,1	22,0	12,6
		Вариант 2	77,52	1997,9	1209,7	21,3	12,8

Таблица 4

Эффективность очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия на лабораторной флотационной установке при применении растворов коагулянтов сульфата алюминия и хлорида железа (III)

Доза коагулянта, мг/дм ³		Эффективность, %									
		по взвешенным веществам		по ХПК		по БПК		по жирам		по фосфатам	
сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)	сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)	сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)	сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)	сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)	сульфат алюминия (в расчете на Al ₂ O ₃)	хлорид железа (в рас- чете на FeCl ₃)
60	100	93,2	88,9	30,2	31,0	29,5	28,0	92,7	88,1	59,5	57,7
70	110	96,3	89,6	36,0	34,0	34,2	31,0	94,6	90,4	63,2	60,2
80	120	96,4	92,2	40,0	37,0	38,6	34,0	93,9	91,7	64,5	63,0
90	130	94,7	96,2	39,5	40,8	37,7	37,0	92,7	93,7	63,3	64,1
100	140	94,6	96,5	36,0	40,6	37,1	37,1	91,9	94,2	64,1	64,3
110	150	94,2	96,7	35,5	39,9	33,2	36,6	91,9	93,8	65,2	65,3

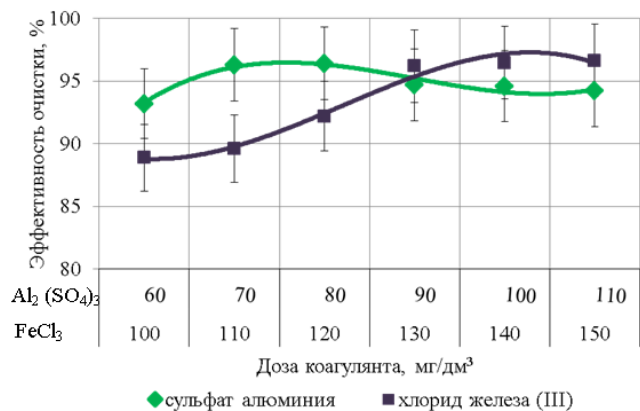


Рис. 4. Сравнительные данные эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия по взвешенным веществам на лабораторной флотационной установке

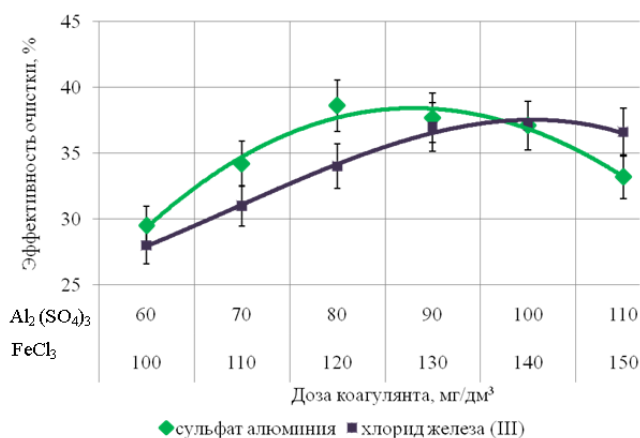


Рис. 5. Сравнительные данные эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия по ХПК на лабораторной флотационной установке

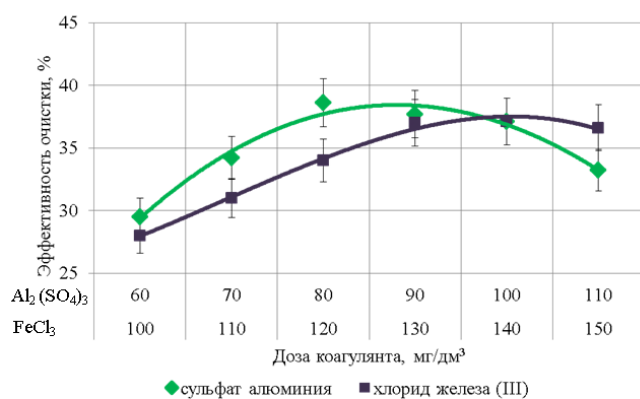


Рис. 6. Сравнительные данные эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия по БПК₅ на лабораторной флотационной установке

Для компьютерного моделирования и построения эпюр распределения скоростей в смесительном устройстве был применен пакет программного обеспечения «SolidWorks Flow Simulation» [15]. Указан-

ный пакет программного обеспечения позволяет моделировать течение жидкости и газа в реальных условиях, запускать сценарии «что если», и эффективно анализировать воздействие потока жидкости, теплообмена и связанные с ними силы на погруженные или окружающие компоненты. Пакет «SolidWorks Flow Simulation» дает возможность сравнить варианты, чтобы сделать более обоснованные решения, и создать продукты с лучшими характеристиками.

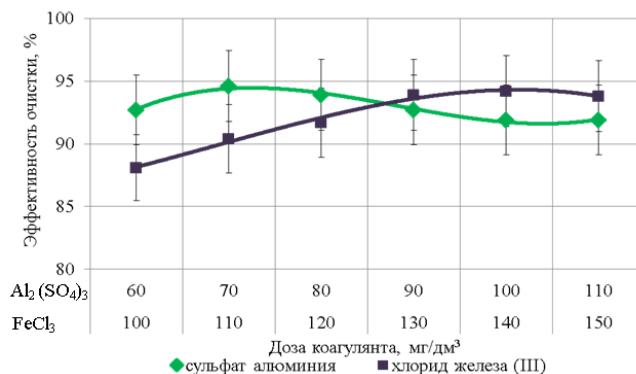


Рис. 7. Сравнительные данные эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия по жирам на лабораторной флотационной установке

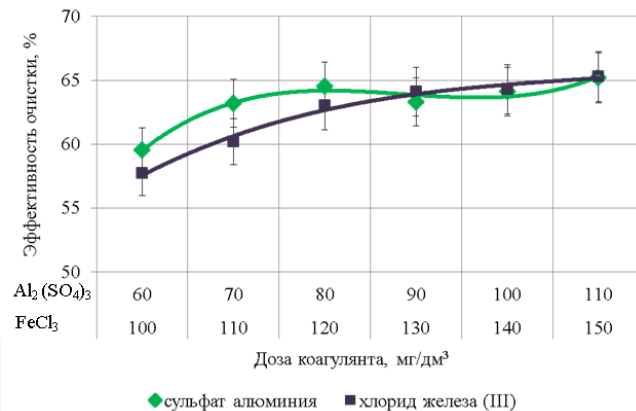


Рис. 8. Сравнительные данные эффективности очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия по фосфору фосфатов на лабораторной флотационной установке

В процессе компьютерного моделирования распределения потока в смесительном устройстве с установленной в нем диафрагмой специальной конструкции с помощью пакета «SolidWorks Flow Simulation» были получены эпюры распределения скоростей (рис. 9) с учетом геометрической формы самой диафрагмы, диаметра трубопровода и изменения градиента скорости.

Рассматривая полученную модель смешанного потока сточных вод и коагулянта, можно заметить, что при прохождении потока через диафрагму значительно увеличивается скорость потока и его турбулизация, что ведет к интенсификации смешения сточной жидкости с раствором вводимого реагента.

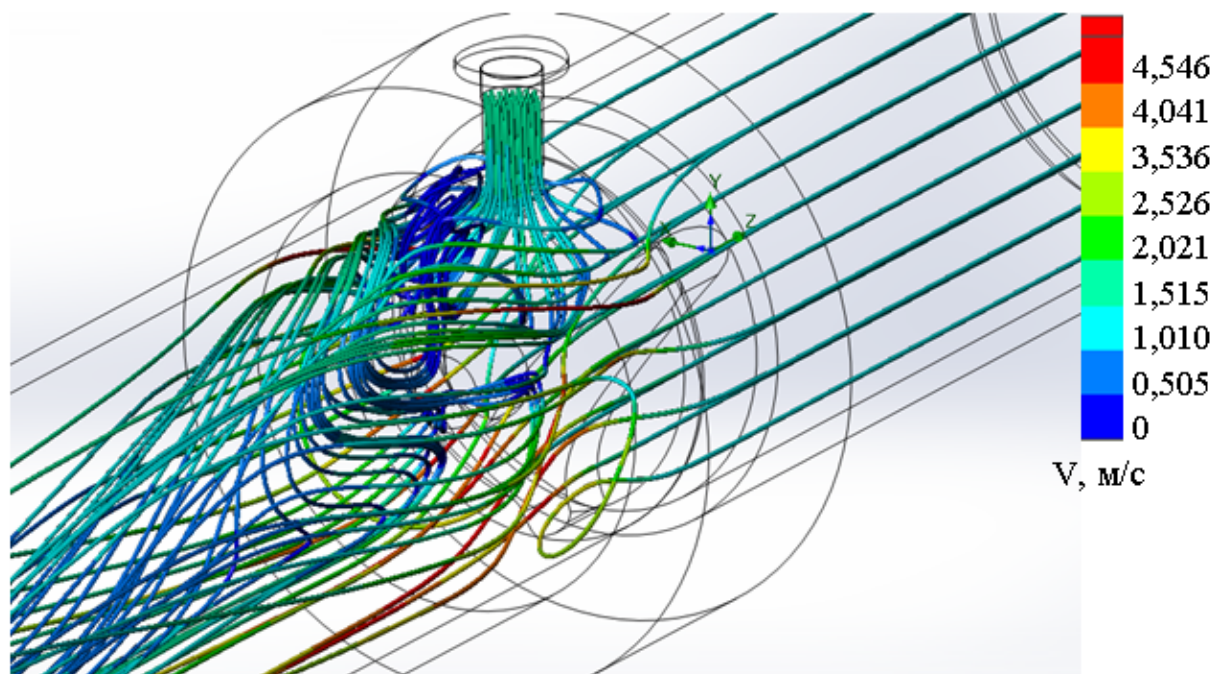


Рис. 9. Моделирование эпюры распределения скоростей в движущемся потоке после диафрагмы (трехмерная модель)

6. Обсуждение результатов исследования интенсификации процесса напорной флотации при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия

В результате анализа полученных данных (табл. 3) можно выделить следующее:

- при работе лабораторной установки по варианту 1 эффективными дозами реагента, при которых наблюдается удаление практически всех видов загрязнений до допустимых концентраций, является доза 82–85 мг/дм³ (в расчете на Al₂O₃);

- при работе лабораторной установки по варианту 2 (с применением усовершенствованной конструкции диафрагмы) эффективными дозами реагента, при которых наблюдается удаление практически всех видов загрязнений до допустимых концентраций, является доза 70–76 мг/дм³ (в расчете на Al₂O₃);

- при указанных дозах коагулянта сульфата алюминия для вариантов 1 и 2 эффективность очистки сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» составляла: по взвешенным веществам – 94,6–96,3 %; по ХПК – 36,1–40,5 %; по БПК₅ – 34,2–39,2 %; по жирам – 91,5–94,5 %; по фосфору фосфатов – 63,1–64,5 %.

Из указанного следует, что при применении усовершенствованной конструкции диафрагмы (вариант 2) доза коагулянта сульфата алюминия (в расчете на Al₂O₃) снижается на 10,6–14,6 %, при этом эффективность очистки сточных вод не изменяется и примерно равна в обоих вариантах.

При сопоставлении данных табл. 4 и рис. 4–8 можно отметить, что эффективность лабораторной флотационной установки с использованием усовершенствованной конструкции смесительной вставки (диафрагмы) при установленных оптимальных дозах коагулянтов сульфата алюминия Al₂(SO₄)₃ и хлорида железа FeCl₃ находится примерно в одинаковых

пределах, но сами оптимальные дозы отличаются. Так, оптимальная доза сульфата алюминия Al₂(SO₄)₃ составила 70–76 мг/дм³ (в расчете на Al₂O₃), а оптимальная доза хлорида железа FeCl₃ – 114–122 мг/дм³. Из указанного следует, что при применении сульфата алюминия Al₂(SO₄)₃ его доза меньше дозы коагулянта хлорида железа FeCl₃ на 37,7–38,6 %, при этом эффективность очистки сточных вод примерно равна в обоих случаях.

В результате анализа полученных данных при компьютерном моделировании движения потока обрабатываемой сточной воды с введенным в нее раствором реагента (рис. 9) можно выделить следующее:

- при прохождении потока через диафрагму значительно увеличивается скорость потока и его турбулизация, что ведет к интенсификации смешения сточной жидкости с раствором вводимого реагента;

- оптимальной скоростью введения реагента является 1,5–2,0 м/с, при этом достигается оптимальная скорость и турбулизация общего потока (сточной жидкости с раствором реагента), значения которых достигают 2,5–3,5 м/с и 333–444 сек⁻¹ соответственно.

7. Выводы

Проведенные научные исследования по интенсификации работы флотационной установки при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании данных о качественном и количественном составе сточных вод ЗАО «Молочный комбинат «Авида» (г. Старый Оскол, Белгородская обл., Российская Федерация) разработана экспериментальная установка для исследования интенсификации процесса очистки сточных вод молокоперерабатывающего предприятия на флотационной установке с использо-

ванием специальной конструкции смесительной диафрагмы в узле смешения реагента.

2. На основании анализа полученных экспериментальных данных выявлены основные факторы, которые влияют на очистку сточной воды молокоперерабатывающего предприятия на флотационной установке при применении специальной конструкции диафрагмы в узле смешения реагента. К таким факторам относятся: интенсивность перемешивания, вид и доза вводимого коагулянта, концентрации исходных загрязнений в сточных водах (взвешенные вещества, жиры, БПК₅, ХПК и фосфаты).

3. С помощью пакета программного обеспечения «SolidWorks Flow Simulation» получена виртуальная модель потока в смесительном устройстве с установленной в нем диафрагмой специальной конструкции, наглядно показаны и смоделированы эпюры распределения скоростей в поперечном сечении смесительного устройства, что приводит к активному и более полному перемешиванию раствора реагента и обрабатываемой воды. Последнее, в свою очередь, позволяет сделать вывод об интенсификации процесса коагуляции при очистке сточных вод молокоперерабатывающего предприятия методом напорной флотации.

Литература

1. Шевченко, А. А. Разработка технических решений по очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий [Текст]: матер. межд. науч.-техн. Интернет-конф. / А. А. Шевченко // Ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий. – Харьков: ХНАГХ, 2013. – С. 88–90.
2. Чеботаева, М. В. Очистные сооружения BIOMAR® в индустрии напитков в России [Текст] / М. В. Чеботаева // Отраслевой научно-практический журнал «Пиво и Напитки». – 2008. – № 4 – С. 44–45.
3. Храмцов, А. Г. Промышленная переработка вторичного молочного сырья [Текст] / А. Г. Храмцов, К. К. Полянский, С. В. Василисин, П. Г. Нестеренко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1986. – С. 3–7, 8–15, 31–45.
4. Лернер, И. Г. Использование отходов молочной промышленности [Текст] / И. Г. Лернер. – М., 1964. – С. 3–16.
5. Храмцов, А. Г. Молочный сахар [Текст] / А. Г. Храмцов. – М.: «Пищевая промышленность». – 1972. – 192 с.
6. Шустер, К. Анаэробная обработка высококонцентрированных стоков молочных предприятий [Текст] / К. Шустер, И. Нойберт // Научно-технический сборник «Экология производства». – 2009. – № 11. – С. 50–52.
7. Vourch, M. Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse [Text] / M. Vourch, B. Balanec, B. Chaufer, G. Dorange // Desalination. – 2008. – Vol. 219, Issues 1-3. – P. 190–202. doi: 10.1016/j.desal.2007.05.013
8. Sharma, D. Treatment of dairy waste water by electro coagulation using aluminum electrodes and settling, filtration studies [Text] / D. Sharma // Int. J. ChemTech Res. – 2014. – Vol. 6, Issue 1. – P. 591–599.
9. Ковальчук, В. А. Біотехнологія очистки стічних вод підприємств харчової промисловості [Текст]: наук.-техн. зб. / В. А. Ковальчук, О. В. Ковальчук, В. І. Самелюк // Комунальне господарство міст. – К.: Техніка, 2010. – Вип. 93. – С. 182–187.
10. Горбань, Н. С. Технология очистки сточных вод молокозаводов [Текст]: зб. наук. пр. / Н. С. Горбань, С. С. Фомин, Н. Ю. Ревякина, С.М. Эпоян // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та екологічної безпеки, 2010. – С. 200–205.
11. Prashant, A. K. Treatment of dairy wastewater using rotating biological contactors [Text] / A. K. Prashant et al. // Euro. J. Exp. Bio. – 2013. – Vol. 3, Issue 4. – P. 257–260.
12. Pratiksinh, Ch. Performance evaluation of Effluent Treatment Plant of Dairy Industry [Text] / Ch. Pratiksinh, R. Apurva // Pratiksinh Chavda Int. Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 4, Issue 9. – P. 37–40.
13. ФЛОТАТОР ФТ – 10 с установкой реагентной обработки 10КФ. Руководство по эксплуатации (ФТ 0000.0000 РЭ) [Текст]. – Белгород, ЗАО «НПФ «ЭкоТОН», 2012. – 27 с.
14. Патент на полезную модель № 147134 Устройство для коагуляционной обработки сточной жидкости [Текст] / Шевченко А. А. и др. / Федеральная служба по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ) – Патентообладатель ЗАО НПФ «ЭкоТОН». – Заявка 10.07.2014 г. – Опубликовано 26.09.2014 г.
15. SolidWorks Flow Simulation 2009 tutorial + примеры [Текст]: уч. пос. – Изд-во: Dassault Systems SolidWorks Corporation, 2009. – 244 с.