

Таким образом, вакуум-фильтрация столь же эффективна для обезвоживания аэробно-стабилизированного осадка, как и центрифугирование.

Выполненные экспериментальные исследования по обезвоживанию аэробно-стабилизированных осадков различными методами позволили оценить их влагоотдающие свойства.

Установлено, что вследствие деструкции органической части осадка в ходе аэробной стабилизации осадок приобретает способность флокулировать без обработки его флокулянтами, что позволяет вести эффективное разделение твердой и жидкой фазы.

Следует также отметить, что в последние годы начал широко использоваться метод обезвоживания осадков на пресс-фильтрах, с использованием реагентов иностранного производства, альтернативой чему может стать аэробная стабилизация осадков и последующее обезвоживание на пресс-фильтрах в безреагентном режиме.

УДК 628.353

Яромский В.Н., Головач Т.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВЗВЕСИ В ОТКРЫТЫХ ГИДРОЦИКЛОНАХ

Открытые гидроциклоны применяются для механической очистки производственных сточных вод от взвешенных веществ. Выделение частиц взвеси в открытых гидроциклонах происходит под действием центробежных сил, которые возникают благодаря тому, что жидкость в гидроциклоне находится во вращательном движении, создающемся за счет тангенциального ввода сточных вод. В отечественной практике очистки сточных вод открытые гидроциклоны начали применять с 30-х годов, в настоящее время они нашли применение для очистки сточных вод предприятий отдельных видов производств [1, 2]. Однако они все еще недостаточно изучены и до настоящего времени не нашли широкого применения. Также остается открытым и малоизученным вопрос использования открытых гидроциклонов для механической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жужиков В.А. "Фильтрование". М., Химия, 1971; 8-125.
2. Малиновская Т.А. "Разделение суспензий в промышленности органического синтеза", 7-301.
3. В.И. Калицун, Ю.М. Ласков. Лабораторный практикум по канализации: М., Стройиздат, 1978.-125с.
4. Рекомендации по проектированию сооружений аэробной стабилизации осадков сточных вод. Киев, 1977, с. 5-8.
5. Коган Ю.А., Абрамов А.В. и др. Аэробная стабилизация и обезвоживание осадков сточных вод. Сб. науч. тр. ВНИИВОДГЕО, 1980. – с. 112-121.
6. Яромский В.Н., Сац С.М. Использование аэробной стабилизации осадков сточных вод. Вестник БрГТУ "Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология", № 2 (14), 2002.

Необходимость механической очистки сточных вод молочных предприятий возникает вследствие, во-первых, наличия высоких концентраций нерастворенных минеральных и органических веществ (концентрация взвешенных веществ до 1000 мг/л, жиров до 400 мг/л [3]), во-вторых, обеспечения устойчивых показателей качества воды перед сооружениями биологической очистки, которые наиболее эффективно работают в условиях постоянства качества сточной воды.

Анализ и выбор существующих методов, сооружений и аппаратов, применяемых для механической очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий, а также предварительные исследования показали целесообразность и эффективность использования открытых гидроциклонов для очистки данных сточных вод [4].

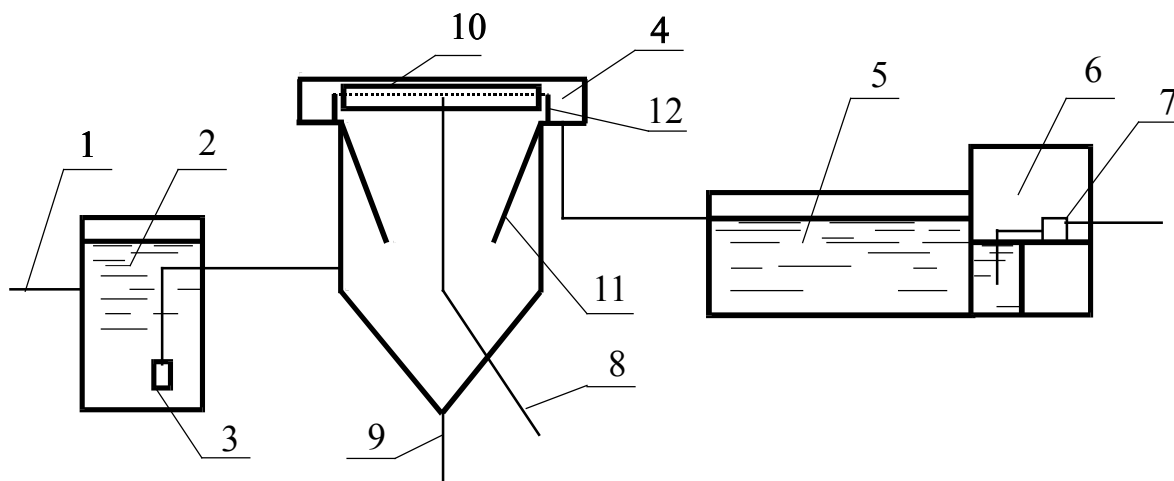


Рис. 1. Технологическая схема механической очистки сточных вод Пружанского молочного комбината.

1 – подача сточных вод; 2 – приемный резервуар; 3 – погружной насос; 4 – открытый гидроциклон; 5 – резервуар – усреднитель; 6 – насосная станция; 7 – насос подачи сточных вод на биологическую очистку; 8 – трубопровод для удаления всплывающих веществ; 9 – трубопровод для удаления осадка; 10 – полупогружной кольцевой щит; 11 – коническая диафрагма; 12 – периферийный водослив.

Головач Татьяна Ивановна. Ассистент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Результаты расчетов эффекта осветления и количества выпавшего осадка в сточной воде до гидроциклона

Продолжительность отстаивания, t , мин	Концентрация взвешенных веществ, C , мг/л	Эффект осветления, \mathcal{E} , %	Гидравлическая крупность, U_0 , мм/с	Количество выпавшего осадка, m , г	Относительное количество выпавшей взвеси, p
1	2	3	4	5	6
0	525,25	0	-	-	-
5	341,41	35,0	0,81	0,0459	0,35
15	266,57	49,25	0,27	0,0645	0,49
30	242,4	54,85	0,13	0,0705	0,55
60	199,3	62,05	0,07	0,0812	0,62
90	190,4	63,75	0,045	0,0835	0,637
120	183,8	65,0	0,033	0,085	0,65

Таблица 2. Результаты расчетов эффекта осветления и количества выпавшего осадка в сточной воде после гидроциклона

Продолжительность отстаивания, t , мин	Концентрация взвешенных веществ, C , мг/л	Эффект осветления, \mathcal{E} , %	Гидравлическая крупность, U_0 , мм/с	Количество выпавшего осадка, m , г	Относительное количество выпавшей взвеси, p
1	2	3	4	5	6
0	334,0	0	-	-	-
5	312,29	6,5	0,81	0,0054	0,065
15	275,55	17,5	0,27	0,0146	0,175
30	229,9	31,15	0,13	0,026	0,31
60	209,5	37,25	0,07	0,031	0,37
90	207,1	38,5	0,045	0,0317	0,385
120	200,9	39,85	0,033	0,033	0,398

Дальнейшая работа была направлена на исследование процесса разделения взвеси, содержащейся в данных сточных водах, с целью повышения эффективности применения гидроциклонов. Данные исследования проводились на локальных очистных сооружениях Пружанского молочного комбината, где внедрена технологическая схема предварительного осветления сточных вод молочных комбинатов, разработанная кафедрой водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета. Данная технологическая схема представлена на рис. 1. Исследования проводились на реальном стоке, на промышленном образце открытого гидроциклона, конструкция которого представлена на рис. 1. Гидроциклон оборудован периферийным водосливом, полупогружным кольцевым щитом, конической диафрагмой, трубопроводом для удаления всплывающих веществ, трубопроводом для удаления осадка. Диаметр гидроциклона и высота цилиндрической части равны 2000 мм, угол конусности конической части 60° .

Целью исследований процесса разделения взвеси в открытых гидроциклонах является изучение фракционного состава взвеси, содержащейся в сточной воде до и после гидроциклона, и определение ее гидравлической крупности.

Взвешенные вещества органического и минерального происхождения, содержащиеся в сточной жидкости предприятий молочной промышленности, состоят из частиц различной плотности (больше и меньше плотности воды), различного размера, а, соответственно, их гидравлическая крупность изменяется в широких пределах. То есть данная жидкость относится к полидисперсной. Полное представление об осаждении полидисперсных взвешенных веществ дают кривые выпадения взвешенных веществ (кривые кинетики осаждения взвешенных веществ). Кривые получают опытным путем при осветлении сточной воды в состоянии покоя. Одной из стандартных методик получения данных кривых является отстаивание сточной воды с известной начальной концентрацией взвешенных веществ в цилиндрах в течение определенного времени (например, $t = 5, 15, 30, 60, 90, 120$ мин) и по истече-

нии этого времени в сточной воде определяется остаточная концентрация взвешенных веществ.

При проведении исследований определялась кинетика осаждения взвешенных веществ в сточной воде до гидроциклона и в сточной воде, прошедшей очистку в гидроциклоне. Построение кривых кинетики осаждения взвешенных веществ в сточной воде до и после гидроциклона позволяет определить процентное содержание фракции с различной гидравлической крупностью.

В ходе исследований было получено, что при средней концентрации взвешенных веществ в сточной воде до гидроциклона $C_0 = 525,25$ мг/л (массовая концентрация взвеси в воде до начала осаждения составляла $m_0 = 0,131$ г). Средняя концентрация взвешенных веществ в сточной воде после гидроциклона $C_0 = 334$ мг/л (массовая концентрация взвеси в воде до начала осаждения составляла $m_0 = 0,0835$ г). Результаты расчетов эффекта осветления и количества выпавшего осадка, выпавшего за определенное время, приведены в таблицах 1 и 2.

На основании расчетных данных были построены кривые кинетики осаждения взвешенных веществ в сточной воде до гидроциклона и в сточной воде, прошедшей очистку в гидроциклоне. Данные кривые представлены на рис. 2. Анализируя кривую осаждения взвеси в исходной сточной воде, видно, что начальный участок кривой характеризуется быстрым осаждением частиц с гидравлической крупностью больше 0,27 мм/с в течении 15 минут, следующий участок кривой свидетельствует о постепенном осаждении частиц с гидравлической крупностью от 0,27 до 0,07 мм/с в течение 1 часа. Следующий участок кривой характеризуется медленным осаждением частиц с гидравлической крупностью меньше 0,07 мм/с. На основании этого можно сделать вывод, что взвесь в исходной воде разнообразна по своему составу, в ней содержится большое количество частиц, как с большой, так и с малой гидравлической крупностью. Анализируя кривую осаждения взвеси в воде, прошедшей очистку, видно, что на на-

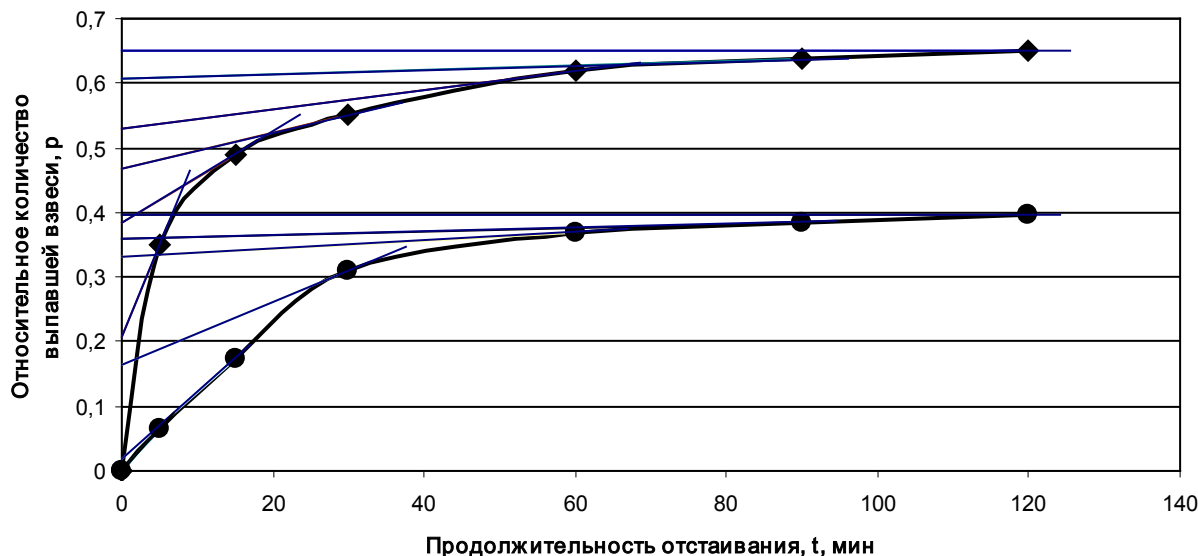


Рис.2 Кривые осаждения взвешенных веществ:

- ◆ исходная сточная вода, концентрация взвешенных веществ $C = 525,25$ мг/л
- сточная вода после гидроциклона, концентрация взвешенных веществ $C = 334$ мг/л

Таблица 3. Эффективность процесса разделения частиц с различной гидравлической крупностью в гидроциклоне

Гидравлическая крупность частиц, мм/с	>0,81	>0,27	>0,13	>0,07	>0,045	>0,033
Содержание в исходной сточной воде, %	20,6	38,3	46,8	53,0	60,6	65,0
Содержание в воде, прошедшей очистку, %	0	2,0	16,3	33,0	36,0	39,8
Эффект задержания частиц в гидроциклоне, %	100	94,8	65,2	37,7	40,6	38,8

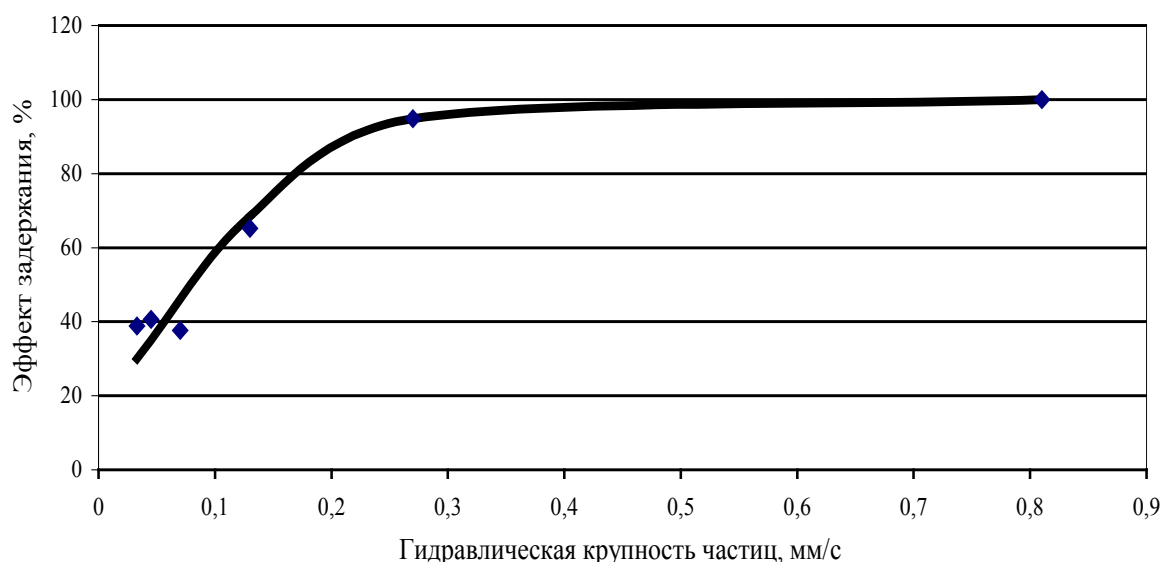


Рис. 3. График зависимости эффекта задержания частиц от их гидравлической крупности.

чальном этапе эта кривая имеет вид прямой, что свидетельствует о том, что в течение 30 минут осаждаются частицы с одинаковой гидравлической крупностью, дальнейший участок кривой характеризуется медленным осаждением в течение двух часов частиц с гидравлической крупностью меньше

0,13 мм/с. На основании этого можно сделать вывод, что в сточной воде, прошедшей очистку, взвесь характеризуется меньшим разнообразием по размеру, преобладают частицы с малой гидравлической крупностью.

При проведении касательных в различных точках кривой выпадения взвешенных веществ можно определить фракционный состав взвеси по интервалам гидравлической крупности частиц. Данные фракционного состава взвеси в исходной воде и в воде, прошедшей очистку, представлены в таблице 3. Полученные данные подтверждают то, что исходная вода характеризуется большим разнообразием частиц взвеси по размерам, а в воде, прошедшей очистку, преобладают частицы взвешенных веществ с малой гидравлической крупностью. Сравнивая данные фракционного состава взвеси, содержащейся в исходной и очищенной воде, можно определить эффект задержания частиц с различной гидравлической крупностью в гидроциклоне. Расчетные данные эффекта задержания частиц в гидроциклоне представлены в таблице 3. На основании полученных данных построен график зависимости эффекта задержания частиц с различной гидравлической крупностью от гидравлической крупности частиц. График представлен на рис. 3.

Анализируя расчетные и графические данные, можно сделать вывод, что при механической очистке сточных вод молокоперерабатывающих предприятий на открытых гидроциклонах частицы с гидравлической крупностью более 0,8 мм/с задерживаются полностью, частицы с гидравлической крупно-

стью 0,3 – 0,8 мм/с задерживаются около 95%, частицы с гидравлической крупностью 0,1 мм/с задерживаются около 50%, частицы с гидравлической крупностью 0,033 – 0,1 мм/с задерживаются около 40%, частицы с меньшей гидравлической крупностью не задерживаются гидроциклоном.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Скирдов И.В., Пономарев В. Г. Очистка сточных вод в гидроциклонах. – М.: Стройиздат, 1975. – 176 с.
2. Пономарев В.Г. Очистка производственных сточных вод от грубодиспергированных примесей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 1993.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий/ Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др. Под ред. В.Н. Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с. – (Справочник проектировщика).
4. Яромский В.Н., Головач Т.И. Выбор методов и сооружений механической очистки сточных вод предприятий молочной промышленности. – «Вестник БГТУ – Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика, экология». № 2. 2001.

УДК 628.356

Урецкий Е.А., Венецианов Е.В.

МОДЕЛЬ КИНЕТИКИ СОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ РАСТВОРОВ ОТ ТОКСИЧНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРОЦЕССЕ СООСАЖДЕНИЯ И ЕЁ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Состояние проблемы. В своё время Республика Беларусь являлась сборочным цехом бывшего СССР. Поэтому здесь было сосредоточено большое количество крупнейших предприятий приборо- и машиностроения. Именно эти предприятия являлись и по настоящее время являются основными загрязнителями окружающей среды тяжёлыми металлами (ТМ). Как известно, согласно шкале стресс-факторов, учитывающей комплексное негативное воздействие на человеческий организм, ТМ (135 баллов) оставляют далеко позади радиоактивные отходы (40 баллов). Даже в условиях малых доз радиации, имеющих место практически на всей территории РБ, онкогенное воздействие химических веществ, в том числе ТМ, увеличивается в 25-250 раз (данные Н.Номура, Япония).

Более 90% предприятий этого профиля в Беларуси и за рубежом используют при очистке стоков наиболее надёжный - реагентный метод. Однако при традиционных подходах этот метод имеет ряд серьёзных недостатков: большой расход реагентов, высокую металло- и энергоёмкость оборудования, значительное содержание осветлённого стока, относительно большие объёмы осадка. Поэтому актуальной является проблема совершенствования реагентного метода очистки, путём интенсификации процессов нейтрализации, сорбции и осветления; нахождения и внедрения оптимальных режимов этих процессов, снижением потребности в товарных реагентах, путём замены их отработанными технологическими растворами (ОТР), не утилизируемыми в основном производстве.

На базовом Брестском электромеханическом заводе (БЭМЗ), начиная с 1972 г. разрабатывалась и внедрялась «рациональная технология» (РТ) очистки стоков. Исходным моментом РТ было накопление и разделение подачи ОТР и промывных стоков с целью использования их нейтрализующих

свойств при обработке стоков. В своё время по разработанным Урецким методикам была исследована кинетика хлопьеобразования и сорбции. Однако выбор условий протекания процессов носил эмпирический характер. Поэтому возникла потребность в разработке математической модели сорбционного извлечения растворённых примесей на гидрозолях и выдаче соответствующих рекомендаций.

2. Физико-химические условия процесса. В результате обработки сточных вод образуются гидроокиси тяжёлых и других металлов (Cu, Ni, Cr, Pb, Fe, Ca и др.) Схема реактора представлена на рис.1. Благодаря интенсивному перемешиванию происходит хлопьеобразование. Частицы гидроокисей, поднимаясь в реакторе, коагулируют. На образовавшихся и постоянно укрупняющихся частицах взвеси происходит сорбция растворённых загрязняющихся компонентов в том числе и органических. Динамика сорбции на частицах взвеси постоянного размера описывается моделью «кинетики в ограниченном объёме» [1]. Однако в литературе отсутствовали теоретические исследования кинетики сорбции в условиях агрегирования частиц.

Кинетика агрегирования и массопереноса в процессе сорбции определяется гидродинамическими условиями и коэффициентом диффузии в жидкой фазе. Величина коэффициента массопереноса, рассчитанная на единицу поверхности сорбента, находящегося во взвешенном состоянии, в условиях развитой турбулентности может быть рассчитана по формуле, предложенной Тёмкиным [2].

$$\beta_n = \left(\frac{\varepsilon D_e^4}{\nu R^2} \right)^{1/6}, \quad (1)$$

Урецкий Евгений Аронович. Член-корреспондент Белорусской Инженерной Технологической Академии, доцент Брестского государственного технического университета.

Венецианов Евгений Викторович. Д.ф.-м.н., зав. лабораторией охраны и качества вод Института водных проблем АН РФ. Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.