

LEVCHUK N.V., NOVOSILTSEVA A.G. Removal of phosphates by the liming method, followed by treatment of precipitation in hydrocyclones

The article describes the method of liming to remove phosphates and suspended solids in the food industry, followed by the treatment of precipitation on hydrocyclones. Schemes of possible processing of sewage with use of cameras of a hlopyeobrazovaniye, hydroclones and use of already purified water for the purpose of dilution of a drain are provided. The optimum dose of the alkalizing reagent is defined.

УДК 628.316.12:663.43

Тур Э. А., Левчук Н. В., Басов С. В.

ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА СТАДИИ ЗАМАЧИВАНИЯ ЗЕРНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА, И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Введение. Объектом исследования являлись сточные воды ОАО «Белосолод» (г. Иваново Брестской области), образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Периодически возникали превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ на выпуске в городскую канализационную сеть в производственных стоках предприятия. Нормативы по данным показателям приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативы, по которым периодически возникали превышения ПДК

№ п/п	Наименование показателя	Норма показателя
1	Водородный показатель (рН)	6,5-8,5
2	Взвешенные вещества, не более, мг/дм ³	450,0
3	ХПК, не более, мг/дм ³	1500,0
4	Фосфаты, не более, мг/дм ³	11,4

Целями исследований являлись:

а) анализ стоков на всех этапах технологического процесса производства солода с определением мест и выявлением причин появления загрязняющих веществ;

б) разработка мероприятий по недопущению превышения ПДК загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод на выпуске в сети коммунальной канализации без строительства локальных очистных сооружений. Решения не должны отрицательно влиять на основной технологический процесс, состояние технологического оборудования.

Система водоснабжения предприятия предусмотрена для обеспечения водой хозяйственно-бытовых, производственных и противопожарных нужд предприятия.

Источником водоснабжения является городской водопровод. Вода, поступающая для производства солода, соответствует действующим СТБ Республики Беларусь.

Сброс сточных вод предприятия производится по наружным сетям канализации диаметром 150–500 мм в резервуар-усреднитель вместимостью 1000 м³. Так как сбросы сточных вод является залповыми, в резервуаре происходит усреднение расходов стоков и концентрации их загрязнения. Для равномерного поступления сточных вод в городскую канализацию стоки подаются собственной канализационной станцией (КНС) производительностью 142 м³/ч, расположенной на промплощадке предприятия, в городскую канализацию по одной из веток Ø200 мм на очистные сооружения. Работа насосов автоматизирована по уровню воды в приемном резервуаре. Установленный лимит сброса сточных вод составляет 250 м³/ч или 1400000 м³/год.

При производстве солода с применением воды происходят процессы проращивания и замачивания ячменя. Замачивание, мойку и дезинфекцию ячменя производят партиями по 350 т через 16 часов одновременно в 8 стальных цилиндрических замочных чанах первых суток, емкостью 85 м³ каждый. Количество чанов всего в замочном отделении – 24 шт. Замочные чаны оборудованы системами подачи и слива воды, шестью воздухоподкалками для подачи сжатого воздуха через внешние кольца. Для более активного вентилирования и качественной мойки ячменя чаны первых суток снабжены эрлифтными трубами, к которым подводится сжатый воздух от воздухоподкалок. Удаление углекислого газа осуществляют индивидуально 24 вентиляторами.

Продолжительность замачивания ячменя с двумя воздушными паузами от 35 до 60 часов. Влажность замоченного ячменя от 37%. Температура в слое зерна – от 12 до 18 °С.

Технологический процесс замачивания ведется в автоматическом режиме с использованием программного управления (для замачивания ячменя с двумя воздушными паузами приведен в таблице 2).

На производство одной партии солода расходуется 350 тонн зерна. Выход солода составляет 280 т с одной партии. Процесс замачивания ячменя является периодическим и происходит в три стадии. В каждой стадии задействованы 8 чанов объемом 85 м³. На первой стадии перед загрузкой ячменя чаны обмываются водой в течение 15 минут из шланга с расходом воды 1,6 м³/час, а после выгрузки ячменя – в течение часа. Таким образом, расход воды на мойку оборудования 1-й стадии составит 16 м³.

После мойки чаны заполняются на 1/3 водой с расходом воды 89 л/с в течение 45 минут. Вода подается по технологическому трубопроводу одновременно во все чаны. Расход воды на заполнение чанов на 1/3 составит 240,3 м³.

В чаны с водой высыпается ячмень, который в течение 1 часа промывается водой с расходом 47 л/с. За это время чаны заполняются водой и происходит смыв загрязнений и сплава. Расход воды на смыв сплава 169,2 м³. В результате смыва сплава из ячменя удаляются так называемые «мертвые зерна», количество которых составляет 0,1-0,2% от общей массы ячменя. После смыва сплава вода сливается в канализацию и происходит продувка зерна через эрлифт, после чего чаны снова наполняются водой 45 минут с расходом 89 л/с и затем зерно промывается водой в течение часа с расходом воды 47 л/с. Расход воды на первую промывку составит 169,2 м³. Расход воды на заполнение чанов составляет 240,3 м³. После первой промывки зерно снова продувается воздухом через эрлифт и промывается второй раз водой в течение 30 минут с тем же расходом воды 84,6 м³. После первой промывки вода из чана сливается в канализацию. Чаны с зерном снова заполняются водой в течение 45 минут с расходом воды 89 л/с. Расход воды на заполнение чанов составит 240,3 м³.

После наполнения чанов происходит продувка зерна через эрлифт, после чего зерно промывается водой в течение часа с расходом воды 47 л/с. Расход воды на первую промывку составит 169,2 м³. После третьей промывки вода из чана сливается в канализацию. Чаны с зерном снова заполняются водой в течение 45 минут с расходом воды 89 л/с. Расход воды на заполнение чанов составит 240,3 м³.

После наполнения чанов водой происходит продувка зерна воздухом через форсунки. В начале операции в чаны в течение 4-х минут вносится дезраствор и промывочная вода из линии дезинфекции, которая промывается 3 минуты. Расход воды на внесение дезинфицирующего раствора составит 19,74 м³.

Далее зерно в течение 2-х часов снова продувается воздухом через форсунки с циклами – продувка и пребывание зерна под водой по 20 минут на каждый процесс. Затем вода сливается в канализацию. На первой стадии замачивания влажность зерна увеличивается с 15 до 30%, т. е. тонна зерна поглощает 0,15 тонны воды. Таким образом, посчитать количество поглощенной воды на первой стадии замачивания можно по следующей формуле $350 \times 0,15 = 52,5$ т (м³).

После первой стадии замачивания зерно направляется в следующие 8 чанов на вторую стадию – воздушную паузу. На этой стадии вода используется только для мойки оборудования. Расход воды на мойку чанов такой же как и на первой стадии – 16 м³. После воздушной паузы зерно направляется на третью стадию – водяная пауза с аэрацией. Кроме мойки оборудования (расход воды аналогичен 1-й стадии – 16 м³) вода расходуется на заполнение чанов водой – по 30 м³ на каждый чан. Определим количество воды, необходимое для замачивания зерна на 3-й стадии: $8 \times 30 = 240$ м³.

Таблица 2 – Технологические режимы

№ п/п	Наименование операции	Продолжительность операции	Контролируемые параметры
1	Наполнение всех чанов одновременно до 1/3 общего объема водой	45 мин.	
2	Высыпание ячменя из бункеров	1 ч	
3	Продувка зерна через эрлифтные трубы (1 цикл, по 10 минут каждый чан)	40 мин.	
4	Дополнение чанов водой, смыв сплава	1 ч	t воды, °C
5	Промывка одновременно во всех чанах	1 ч	
6	Продувка зерна через эрлифтные трубы (1 цикл, по 10 минут каждый чан)	40 мин.	
7	Промывка	30 мин.	
8	Слив воды до обмывочных труб	5 мин.	
9	Продувка зерна через форсунки одновременно во всех чанах (4 цикла продувки). Цикл: продувка 20 мин.; зерно под водой 40 мин. Внесение раствора KMnO ₄ попарно по 4 минуты (в начале операции). Промывка линии дезинфекции, попарно по 3 минуты	от 1 до 5 часов	t воды, °C
10	Слив воды в канализацию	30 мин.	
11	Воздушные паузы. Цикл: 40 мин. воздушная пауза; 20 мин. удаление CO ₂ из всех чанов одновременно	от 7 до 24 часов	t слоя зерна, °C
12	Наполнение чанов водой (до обмывочной трубы)	1 час	
13	Продувка зерна одновременно во всех чанах через форсунки от 1 до 4 циклов. Цикл: зерно под водой 40 мин.; продувка 20 мин.	от 1 до 4 часов	t воды, °C
14	Промывка	30 мин.	
15	Слив воды в канализацию	30 мин.	
16	Воздушные паузы. Цикл: 40 мин. воздушная пауза; 20 мин. удаление CO ₂ из всех чанов одновременно	от 7 до 24 часов	t слоя зерна, °C
17	Наполнение чанов водой	40 мин.	
18	Продувка зерна одновременно во всех чанах через форсунки 1 цикл. Цикл: зерно под водой 40 мин.; продувка 20 мин.	от 1 до 6 часов	t воды, °C; содержание кислорода
19	Слив воды в канализацию	30 мин.	
20	Выгрузка на солодоращение	до 4 часов	

Продолжительность замачивания ячменя составляет 35-60 часов

Таблица 3 – Расчетное водопотребление на процесс замачивания ячменя

Технологическая стадия	Водопотребление на 1 партию, м ³	Водоотведение на 1 партию, м ³
Первая стадия		
Мойка оборудования 1-й стадии	16	16
Заполнение чанов водой на 1/3	240,3	240,3
Смыв сплава	169,2	169,2
Заполнение чанов	240,3	215,3
Промывка 1	169,2	169,2
Промывка 2	84,6	84,6
Заполнение чанов	240,3	212,8
Дезинфекция	35,28	35,28
ИТОГО	1195,18	1142,68
Вторая стадия		
Мойка оборудования 2-й стадии	16	16
ИТОГО	16	16
Мойка оборудования 3-й стадии	16	16
Заполнение чанов	240	215,5
ИТОГО	256	231,5
ВСЕГО	1467,18	1390,18

На третьей стадии влажность зерна увеличивается с 30 до 37%, т. е. каждая тонна зерна поглощает дополнительно 0,07 тонны воды. Таким образом, количество поглощенной воды на третьей стадии замачивания можно определить следующим расчетом: $350 \times 0,07 = 24,5$ т (м³).

Результаты расчета водопотребления на процесс замачивания ячменя сведены в таблицу 3. При расчете годового водопотребления принято, что каждые сутки выполняются все три стадии и ежедневно ячмень подается на первую стадию.

В ходе реализации проекта по реконструкции ОАО «Белсолод» предусматривалось увеличение мощности по производству солода с

65 000 тонн до 130 000 тонн в год. Реализация проекта предполагает переход на новую продолжительность замачивания зерна (с 3-суточного на 2-суточное) на 24-х замочных чанах, что сокращает длительность производственного процесса.

Сточные воды промышленных предприятий подвергают, как правило очистке различными способами: механической, химической, физико-химической и биохимической. Механическую очистку применяют для удаления из сточных вод взвешенных веществ и частично от загрязнений, находящихся в коллоидном состоянии. Для механической очистки используют решетки, песколовки, отстойники, жиroleвки, нефтеловушки, маслоотделители, гидроциклоны, фильтры и другие

сооружения. Для очистки производственных сточных вод от взвешенных веществ, имеющих большой удельный вес (минеральные загрязнители), могут применяться гидроциклоны. Для очистки производственных сточных вод от мелкодисперсных взвешенных веществ используют тканевые, сетчатые или песчаные фильтры.

Химическая очистка заключается в выделении из сточных вод загрязнений путем проведения реакций между ними и вводимыми в воду реагентами. Такими реакциями являются реакции окисления и восстановления, реакции образования соединений, выпадающих в осадок, и реакции, сопровождающиеся газовыделением. Химическая очистка применяется для очистки только некоторых производственных сточных вод.

Механохимическую очистку применяют для выделения из сточных вод нерастворенных загрязнений. Сущность ее состоит в том, что в воду добавляют коагулянты, которые способствуют удалению из нее загрязнений в процессе ее механической очистки. К физико-химическим методам очистки сточных вод относятся сорбция, экстракция, коагуляция, флотация, электролиз, ионный обмен, кристаллизация и др. Биохимическая (биологическая) очистка заключается в окислении остающихся в воде после механической очистки органических загрязнений с помощью микроорганизмов, способных в процессе своей жизнедеятельности осуществлять минерализацию органических веществ.

Очистка сточных вод на полях орошения и полях фильтрации происходит довольно медленно. Значительно интенсивнее осуществляется она на биологических фильтрах и в аэротенках. Для обеззараживания (дезинфекции) сточных вод их подвергают обработке хлорной известью или хлором [2].

Методика эксперимента. В процессе работы были исследованы сточные воды на различных стадиях технологического процесса на величину pH, содержание фосфат-ионов, ХПК и взвешенных веществ, а также в лабораторных условиях продублирован технологический процесс замачивания зерна и исследован ячмень различных поставщиков (Беларусь, Украина, Дания). Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах до нормативных. Разработаны технологические рекомендации и технологические схемы, позволяющие проводить локальную очистку стоков на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений. Исследования проводили стандартными методами [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Таблица 4 – Пробы сточных вод

№ пробы	Наименование пробы
1	Слив замочки на 3-е сутки (ячмень пр-во Дания)
2	Слив замочки на 1-е сутки
3	Сточная вода из резервуара-усреднителя (смешанная проба слива замочки после 1 и 3 суток)
4	Сточная вода из контрольного колодца на выпуске в сеть городской канализации (смешанная с бытовыми стоками предприятия)
5	Слив замочки на 1-е сутки (ячмень пр-во Дания)
6	Слив замочки на 1-е сутки (ячмень пр-во Дания)
7	Сточная вода из резервуара-усреднителя (смешанная проба слива замочки после 1 и 3 суток)

Результаты исследования pH, содержания взвешенных веществ и содержания фосфат-ионов (в пересчете на P) отобранных проб сточных вод приведены в таблицах 5, 6, 7.

Таблица 5 – Определение pH

№ пробы	Величина pH (фактическая)	Нормативное значение pH
1 (3-е сутки)	6,21	6,5-8,5
2 (1-е сутки)	5,65	
3 (усреднитель)	5,98	
4 (выпускной колодец)	6,07	
5 (1-е сутки, второй отбор проб)	5,85	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	6,92	
7 (усреднитель)	5,65	

Таблица 6 – Содержание взвешенных веществ

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм ³	Нормативное значение, мг/дм ³
1 (3-е сутки)	317	не более 450,0
2 (1-е сутки)	410	
3 (усреднитель)	379	
4 (выпускной колодец)	347	
5 (1-е сутки, второй отбор)	354	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	364	
7 (усреднитель)	224	

Таблица 7 – Содержание фосфат-ионов (в пересчете на P)

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм ³	Нормативное значение, мг/дм ³
1 (3-е сутки)	10,4	не более 11,4
2 (1-е сутки)	13,4	
3 (усреднитель)	12,4	
4 (выпускной колодец)	11,6	
5 (1-е сутки, новый отбор)	20,5	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	14,7	
7 (усреднитель)	17,9	

Согласно проведенным исследованиям, наиболее кислыми являются сточные воды, образующиеся после 1-й замочки ячменя. В выпускном колодце разбавление бытовыми сточными водами положительно влияет на pH стока.

В исследованных пробах не обнаружено превышения содержания взвешенных веществ.

Ранними исследованиями было определено, что превышения по содержанию взвешенных частиц наблюдается при использовании ячменя, поставляемого из Украины.

Превышение содержания фосфат-ионов имеют сточные воды, образующиеся после первой замочки (1-е сутки) ячменя. После 2-й замочки (3-е сутки) содержание фосфат-ионов находится в пределах допустимого значения. В усреднителе после смешения стоков имеется небольшое превышение, а в выпускном колодце после разбавления промышленных сточных вод бытовыми превышения практически нет (0,2 мг/дм³ – в пределах допустимой погрешности измерений).

Ранее определено, что превышения по содержанию фосфат-ионов имеют сточные воды, образующиеся при использовании ячменя, поставляемого из Украины и Беларуси. При смеси стоков замочки датского и белорусского, а также датского и украинского сырья превышения по содержанию фосфат-ионов не наблюдались.

Проба № 5 (датское зерно) дала превышение по содержанию фосфат-ионов.

Установлено, что наиболее критичными и дающими превышения по всем параметрам являются сточные воды пробы № 2, т. е. воды слива 1-й замочки ячменя (через 1 сутки замачивания).

Кроме того, для отобранных проб определяли химическое потребление кислорода (ХПК). Результаты исследований приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Определение ХПК

№ пробы	Фактическое значение, мгО ₂ /дм ³	Нормативное значение, мг/дм ³
1 (3-е сутки)	1247,5	не более 1500,0
2 (1-е сутки)	1414,2	
3 (усреднитель)	1397,6	
4 (выпускной колодец)	1287,2	
5 (1-е сутки, новый отбор)	1319,5	
6 (1-е сутки, третий отбор проб)	1390,5	
7 (усреднитель)	1490,2	

В исследованных пробах не обнаружено превышения по показателю «химическое потребление кислорода» (ХПК). Наиболее высокое значение ХПК имеет проба №2 (сточные воды после 1-х суток замочки). Все приведенные результаты касаются сточных вод замочки датского ячменя.

Ранними исследованиями было определено, что превышения по ХПК характерны при использовании в производстве только украинского или только белорусского ячменя. При смеси стоков замочки украинского и датского и белорусского и датского ячменя превышения не наблюдается.

Исследовали также пробы ячменя различных стран-поставщиков. В лаборатории БрГТУ были продублированы технологические процессы замачивания ячменя, поставленного Украиной, Беларусью и Данией. Была произведена первая замочка, слив сточных вод через 1 сутки, затем – периодическое перемешивание влажного зерна в течение вторых суток и имитация продувки, далее – вторая замочка зерна и слив сточных вод через 1 сутки. Температура проведения эксперимента (20±2)°С.

При исследовании технологических процессов по замачиванию зерна для производства солода установлено, что при замачивании ячменя, произведенного в Дании, процесс водопоглощения на 1-е сутки протекает интенсивнее, чем зерна, произведенного в Беларуси и в Украине. Через сутки замачивания, при одинаковом массовом соотношении ячменя и воды, объем воды, поглощенной зерном из Дании, составляет (в % на 100% зерна) – 73%, Беларуси – 57%, Украины – 65%.

Отсюда следует, что возникает необходимость регулировать время замачивания и, как следствие, период прорастания ячменя, произведенного в определенной стране-производителе сырья. Это подтверждается и низкими значениями pH в первые сутки замачивания (т. е. датское сырьё быстрее закисает). Сточные воды 1-х суток характеризуются высоким содержанием фосфатов - от 45 до 65 мг/л, т. е. от 14,7 до 21,21 мг/дм³ (в пересчете на P).

Таблица 9 – Исследование влияния качества сырья, в зависимости от страны-производителя, на свойства сточной производственной воды (ПСВ)

Наименование показателя	Страна-производитель		
	Дания	Беларусь	Украина
Показатели за 1 сутки замачивания			
pH	4,78	5,11	5,0
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³ (в пересчете на P)	21,21	19,5	14,7
Показатели за 3 сутки замачивания			
pH	5,65	6,2	6,1
PO ₄ ³⁻ , мг/дм ³ (в пересчете на P)	18,7	17,2	11,8

После промывки и продувки ячменя, а также замачивания в следующие двое суток, значение pH отработанной воды повышается до 5,65–6,1. Так как экспериментальные и фактические значения pH не соответствуют нормативным показателям, возникает необходимость нейтрализации кислых сточных вод.

Была также исследована степень эффективности различных реагентов и физико-химических методов для очистки представленных проб сточных вод от загрязнений. Использование «кислых» коагулянтов, т. е. солей, обуславливающих при гидролизе кислую среду раствора, в данном случае положительных результатов не дало.

Поскольку основной объем ПСВ имеет кислую среду, для нейтрализации стока было принято использовать щелочные реагенты.

В качестве такого реагента использовался СаО. При исследовании в сточные воды добавляли различные количества реагента, начиная с минимальной дозы 0,1 г/л СаО и выше, до 5 г/л СаО. Рекомендуется использовать в качестве нейтрализующих реагентов именно соединения кальция, т. к. ПСВ имеют повышенное содержание фосфат-ионов и взвешенных веществ, которые при действии Са²⁺, Са(ОН)₂ способны образовывать осадки.

В процессе проведенных исследований определено, что видимый процесс образования осадков ПСВ начинается при минимальных дозах СаО, а именно – от 0,1 кг СаО на 1 м³ сточной воды.

Также более подробно экспериментально исследовалось добавление следующих доз реагента СаО: 0,5 кг на 1 м³; 1 кг на 1 м³; максимальная доза 5 кг на 1 м³.

Установлено, что при малых дозах СаО (0,1 и 0,5 кг на м³), процесс образования и осаждения осадков протекает медленно и требует интенсификации, а именно – использование гидроциклона. В

лаборатории данный процесс интенсифицировали при помощи центрифуги лабораторной. Кроме того, процесс образования осадков ПСВ первоначально приводит к увеличению содержания взвешенных веществ с 379 мг/дм³ (исходная проба № 3) до 828 – 1073 мг/дм³ (при введении различных доз реагента).

Однако даже при неполном осаждении осадков ПСВ наблюдается снижение содержания фосфат-ионов с 13,4 мг/л (проба №2) до 5 мг/л, после известкования максимальной дозой 5 кг на 1 м³ содержание фосфат-ионов снижается до 2,5 мг/л (зерно датского производства 1-е сутки замачивания, проба № 2).

Кроме того, после проведенных исследований и отделения осадков осадки были высушены до постоянной массы при (105±2)°С.

Массы осадков при диапазоне введения СаО от 0,1 г/л до 1 г/л составили от 0,84 до 2,8 г/л (т. е. 0,84–2,4 кг на 1 т). При очистке 215,3 т ПСВ 1-й замочки зерна высушенные осадки ориентировочно будут составлять 180,85–602,8 кг. Максимальную дозу СаО добавлять не рекомендуется. Количество СаО не должно превышать 0,5 г/л.

Результаты исследования влияния различных доз СаО на снижение содержания фосфат-ионов (в пересчете на P) представлены на диаграмме (рисунок 1).

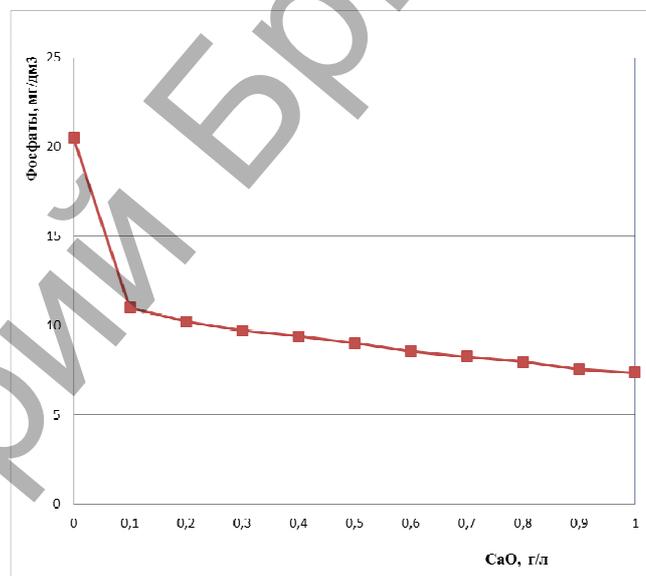


Рисунок 1 – Влияние различных доз СаО на снижение содержания фосфат-ионов (в пересчете на P)

Экспериментально установлено, что даже небольшие дозы ввести СаО (начиная с 0,1 г/л) снижают содержание фосфат-ионов до нормативного показателя.

Кроме того, для доз 0,1–1 г/л СаО исследовали величину pH сточных вод (проба № 7 из резервуара-усреднителя). Результаты исследований приведены в таблице 10.

В результате исследований установлено, что оптимальным значением является добавление 0,5 г/л СаО при незначительном повышении pH.

Если данную обработанную воду применять для разбавления последующих стоков (оборотная система очистки ПСВ), то это приведёт к положительным результатам – нейтрализации кислых стоков (снизится до нормативного содержание фосфат-ионов, нормализуется pH) без нарушения норматива по взвешенным веществам.

Таблица 10 – Результаты исследования пробы сточных вод из резервуара-усреднителя (проба № 7)

Наименование показателя	Добавление СаО, г/л		
	1	0,5	0,1
pH (исходное 5,65)	10,3	9,3	6,8
Фосфат-ион (в пересчете на P), мг/дм ³	7,35	9,0	11,0
Взвешенные вещества (исходное значение = 224 мг/дм ³), мг/дм ³	не определяли, (pH значительно превышает нормативное)	308,0	519,0

При использовании минимальной дозы CaO (0,1 г/л) для удаления взвешенных веществ (519 мг/л) рекомендуется применять физико-химические методы удаления взвешенных веществ (центрифугирование, сепарирование, использование гидроциклона).

Результаты проведенных исследований позволили предложить несколько технологических схем, которые рекомендуются внедрить на ОАО «Белсолгод»:

1. Технологическая схема с использованием системы оборотной очищенной воды с целью разбавления концентрированного стока.

2. Технологическая схема очистки производственных сточных вод (ПСВ) с использованием реагента CaO с целью нейтрализации кислого стока и снижения содержания взвешенных веществ в концентрированном стоке.

3. Разбавление сточных вод в резервуаре-усреднителе дренажной водой.

Предложенные технологические схемы не нарушают основной технологический процесс производства солода и не оказывают отрицательного воздействия (в том числе коррозионного) на состояние технологического оборудования и трубопроводов.

Технологическая схема включает следующие сооружения:

- 1) усреднитель сточных вод;
- 2) реагентное хозяйство;
- 3) батарею гидроциклонов и вспомогательное оборудование;
- 4) отстойник;
- 5) сборник осадков (контейнеры для вывоза или сушки).

Для снижения затрат на реагенты и с целью экономичного режима работы устройств по очистке ПСВ предлагается использовать оборотную систему очистки сточных вод, позволяющую разбавлять наиболее загрязненный залповый сброс водой, прошедшей реагентную и/или физико-механическую обработку, перед сбросом в сеть бытовой канализации. Максимальный залповый сброс составляет 215,3 м³, следующий сброс осуществляется через 8 часов. Максимальный часовой расход производственных сточных вод составляет (при залповом сбросе $Q=215,3$ м³; среднечасовой расход $q_w=215,3:8=26,9$ м³/ч, т. е. округленно 27 м³/ч). Следовательно, часовой расход ПСВ, после первого (условно) сброса, составляет 27 м³ в час. За этот период после первой (условно) замочки ячменя, пройдя реагентную обработку, состав сточных вод должен соответствовать нормативным показателям.

Исходя из среднечасового расхода сточных вод, осуществляется подбор и расчет оборудования. Объем отстойника должен составлять (с запасом 15% по объему): $(215,3 \times 100) / 85 = 253$ м³. Принимаем отстойник объемом 250 м³.

Отстойник можно размещать на открытом воздухе, так же как размещен в настоящее время резервуар-усреднитель.

Перед сбросом сточных вод в усреднитель, а также в сеть бытовой канализации, необходимо осуществлять контроль показателя pH, т. к. в зависимости от pH устанавливается доза реагента, необходимая для нейтрализации стока.

Оптимальные концентрации CaO рекомендованы ранее либо могут определяться расчетным путем, непосредственно перед сбросом.

При этом установлено, что низкие концентрации реагента способствуют увеличению содержания взвешенных веществ, которые могут быть удалены физико-механическими методами очистки, например в центрифугах, гидроциклонах, сепараторах. Эксплуатация оборудования производится в соответствии с рекомендациями и инструкциями поставщика оборудования. В качестве такого оборудования могут быть рекомендованы гидроциклоны ПВО-ГЦ 1100. Гидроциклон должен быть размещен в помещении во избежание замерзания воды в зимний период работы, так как предполагаемая загрузка будет составлять примерно 8 часов в сутки. Данной очищенной водой предполагается разбавлять последующие стоки [9].

При оптимально высоких концентрациях реагента осаждение происходит достаточно быстро и может осуществляться в отстойнике. Для определения времени образования осадка и отстаивания необходимо дальнейшее изучение седиментационных свойств образующейся взвеси.

В связи с этим можно рекомендовать несколько возможных вариантов обработки ПСВ:

Перед сбросом в усреднитель, при низких значениях pH, сточная вода смешивается с реагентом, до достижения нормативного значения,

затем поступает в отстойник. После чего очищенная до нормативов сточная вода поступает в усреднитель расхода ПСВ, разбавляя каждый следующий сброс до установленных нормативов.

При значениях pH, близких к нормативным с высоким содержанием взвешенных веществ, сточная вода из усреднителя смешивается с реагентом, затем поступает на физико-механическую обработку (например) в напорные гидроциклоны, после чего возвращается в усреднитель, разбавляя следующий сброс.

Целесообразно рассмотреть вариант реконструкции усреднителя, оборудуя его секцией для отстаивания стоков. Это связано с тем, что усреднитель в данное время (после реконструкции предприятия) не используется на полную мощность, имеется значительный резерв по объему. При оборудовании в нём секции для отстаивания объемом 250 м³ не потребуются возведение или устройства отдельно стоящего резервуара-отстойника.

Заключение. Изучен технологический процесс производства солода на ОАО «Белсолгод», подробно рассмотрены процессы замачивания ячменя и процессы образования производственных сточных вод (ПСВ) на различных стадиях технологического процесса.

В процессе работы исследованы сточные воды на различных стадиях технологического процесса на величину pH, содержание фосфат-ионов, ХПК и взвешенных веществ, а также в лабораторных условиях продублирован технологический процесс замачивания зерна и исследован ячмень различных поставщиков (Беларусь, Украина, Дания).

Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах до нормативных. Изучены возможные варианты использования реагентов для нейтрализации стоков, удаления фосфатов.

Подобран реагент (CaO) и диапазон оптимальных доз реагента.

Разработаны технологические рекомендации и технологические схемы, позволяющие проводить локальную очистку стоков на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений.

Рекомендовано на территории предприятия рядом с резервуаром-усреднителем разместить и привязать резервуар для осаждения осадков (горизонтальный отстойник) на открытом воздухе и/или гидроциклон (в помещении). Предлагается рассмотреть вариант реконструкции существующего резервуара-усреднителя, оборудуя его секцией для отстаивания стоков. Это связано с тем, что усреднитель в данное время (после реконструкции предприятия) не используется на полную мощность, имеется значительный резерв по объему. При оборудовании в нём секции для отстаивания объемом 250 м³ не потребуются возведение или устройства отдельно стоящего резервуара-отстойника. Кроме того, рядом с резервуаром-усреднителем имеется достаточно большая свободная площадка, на которой можно разместить и резервуар для осаждения осадков (горизонтальный отстойник) и/или гидроциклон. Образующиеся осадки не будут вызывать коррозию трубопроводов. Их можно высушивать и реализовывать как минеральное удобрение, содержащее кальций и фосфор. Количество высушенных осадков будет невелико. При проведении лабораторных исследований массы осадков при диапазоне введения CaO от 0,1 г/л до 1 г/л составили от 0,84 до 2,8 масс. %.

Определено, что в данной ситуации решить проблему (периодически возникающие превышения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на выпуске в городскую канализационную сеть в производственных стоках предприятия не велики) можно было бы совершенно простым способом – разбавлять ПСВ дренажными водами, которые в больших количествах имеются на предприятии. Для этого следует получить соответствующее разрешение. Помимо этого, серьезную проблему представляют городские очистные сооружения, которые морально и физически устарели, требуют серьезной реконструкции, т. к. давно не справляются со сточными водами растущего и развивающегося г. Иванова, на территории которого размещаются всё новые и новые производства.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Колуняц, К.А. Химия солода и пива / К.А. Колуняц. – М.: Агропромиздат, 1990. – 175 с.
2. Кульский, Л.А. Основы химии и технологии воды / Л.А. Кульский. – Киев: Наукова Думка, 1991. – 568 с.

3. Алексеев, Л.С. Контроль качества воды / Л.С. Алексеев. – М.: ВШ, 2004. – 153 с.
4. Качество воды. Определение pH: СТБ ИСО 10523-2009.
5. Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ: ГОСТ 18309-2014.
6. Качество воды. Определение фосфора спектрометрическим методом с молибдатом аммония №1.2.1.79-0013: СТБ ИСО 6878-2005.
7. Метод определения химического потребления кислорода: ГОСТ 31859-2012.
8. Москва. 2003 г. Методика определения бихроматной окисляемости (химического определения кислорода) в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом с применением анализатора жидкости «Флюорат-02»: ПИДФ 14.1.:2:4.190-03.
9. Комарова, Л.Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды / Л.Ф. Комарова, Л.А. Кормина. – Барнаул: ГИПП Алтай, 2000. – 391 с.

Материал поступил в редакцию 20.02.2018

TUR E.A., LEVCHUK N.V., BASOV S.V. Problems of treatment of wastewater generated at the stage of soaking grains in the production of malt, and their solutions

The object of the study was the waste water of JSC "Belsolid" (Ivanovo Brest region), formed at different stages of soaking barley for malt production. In the course of work waste water at different stages of technological process on pH value, content of phosphate ions, COD and suspended substances are investigated, and also in laboratory conditions technological process of soaking of grain is duplicated and barley of various suppliers is investigated (Belarus, Ukraine, Denmark). Laboratory studies aimed at reducing the content of pollutants in waste water to normative ones have been carried out. The possible uses of reagents for wastewater neutralization and phosphate removal have been studied. The reagent (CaO) and the range of optimal doses of the reagent were selected. Technological recommendations and technological schemes allowing to carry out local cleaning of drains in the territory of the enterprise without construction of separate treatment facilities are developed.

УДК 628.543

Белоглазова О. П., Мороз В. В., Урецкий Е. А.

**РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ
РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ РЕАГЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД ЛАКОКРАСОЧНЫХ И ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ
ПРИБОРО- И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Введение. Как известно, в отличие от очистки сточных вод гальванического производства и печатных плат известные методы обработки сточных вод покрасочного производства предприятий машиностроительного профиля исключительно дорогостоящи, а главное малозффективны. В связи с этим Московский государственный проектный институт (МГПИ), до появления эффективных, а главное приемлемых в экономическом отношении технологий очистки такого вида сточных вод, предложил Брестскому электромеханическому заводу (БЭМЗ) вместо их обезвреживания разбавлять их технической водой до норм ПДК, установленных контролирующими организациями, для сброса в городскую систему водоотведения, что могло бы составить более 10 млн м³ в год [1].

Такое «техническое решение», помимо больших экономических затрат, потребовало бы существенного расширения систем технического водоснабжения и канализации предприятия.

По этой причине ОАО «БЭМЗ» до появления эффективных и экономически приемлемых для себя технологий согласился оплачивать КПУП «Брестводоканал» повышенные тарифы за сброс недостаточно очищенных сточных вод лакокрасочного производства в городскую канализацию.

Благодаря ранее проведенным авторами исследованиям, совместная очистка сточных вод гальваники, покраски и печатных плат была осуществлена в рамках оборудования, ранее запроектированного МГПИ. При этом, в отличие от проектного технического решения, все три стадии обработки сточных вод (усреднение, смешение и реакции), осуществляемые ранее в отдельных химических аппаратах, были объединены в единых автоматизированных стандартных химических аппаратах, а вертикальные отстойники дополнены камерами хлопьеобразования и полочными модулями, что позволило повысить эффективность задержания взвешенных веществ с 60% до 90% [1, 2, 3, 4].

Исходными данными для проведения экономического расчета явился проект очистных сооружений сточных вод гальванического производства БЭМЗ, разработанный МГПИ, и «Акт внедрения техно-

логии обезвреживания сточных вод покрасочного производства БЭМЗ в рамках очистных сооружений гальванического производства без использования дополнительного технологического оборудования от 16.10.2014 г.».

1. Экономический расчет осуществлялся авторами согласно «Методическим рекомендациям по оценке эффективности научных, научно-технических и инновационных разработок», утвержденным совместным постановлением Национальной академии наук Беларуси и Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 03.01.2008 г. № 1/1.

В таблицах 1 и 2 представлен перечень оборудования, используемого для очистки по запроектированной технологии. В таблицах 3 и 4 представлен перечень оборудования, используемого для очистки по новой (предлагаемой) технологии.

В соответствии с [1] в таблице 5 приведено сравнение проектной технологии, разработанной МГПИ, и новых технических решений, внедренных на БЭМЗ.

Ниже приведен расчет показателей экологоэкономической сравнительной эффективности двух технологий обработки гальваносточков.

Экономические расчеты носят ориентировочный характер и включают ряд ограничений и допущений, что связано с особенностями функционирования объекта внедрения и окружающей экономической среды.

В экономических расчетах используются цены, тарифы, нормативы отчислений по состоянию на 1 сентября 2017 года.

2. Расчет экологического эффекта. В результате внедрения новых технических решений возникает экологический эффект.

Экологический эффект заключается в снижении отрицательного воздействия на окружающую среду и улучшение ее состояния. Этот эффект проявляется в уменьшении объемов загрязнений и концентрации вредных веществ в водной среде P_3 и определяется по формуле:

$$P_3 = M_{ср} \cdot T_{ср} \cdot (ПДК_n - ПДК_{ост}), \quad (1)$$

Белоглазова Ольга Петровна, старший преподаватель кафедры экономики и организации строительства Брестского государственного технического университета, e-mail: belplanner@mail.ru.

Мороз Владимир Валентинович, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения, начальник регионального центра тестирования и профессиональной ориентации учащейся молодежи Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Урецкий Евгений Аронович, член-корреспондент Белорусской инженерной технологической академии.