

6. Пехота, А.Н. Технология производства многокомпонентного твердого топлива с использованием отходов сточных вод / А. Н. Пехота [и др.]// Энергетика. Изв. высш. учеб.заведений и энерг. объединений СНГ. – 2021. – Т. 64, № 6. – С. 525–537.
7. Пехота, А.Н. Исследование энергетических характеристик многокомпонентного твердого топлива с использованием горючих малоиспользуемых коммунальных и производственных отходов / А. Н. Пехота // Наука и техника : Междунар. науч.-практ. журнал. – 2022. – № 2. – С. 164–174.
8. Пехота, А.Н. Эффективное использование твердых коммунальных отходов в энергетических целях: особенности MSF-технологии // Энергоэф-фективность : ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 5. – С. 26–32.
9. Пехота, А.Н. Оценка эффективности технологии многокомпонентного брикетирования топлива с использованием осадков сточных вод / А.Н. Пехота, Б.М. Хрусталев // Промышленная теплоэнергетика: ежемесячный науч.-практ. журнал. – 2022. – № 6. – С. 40–50.

УДК 628.316.12:663.43

## **К ВОПРОСУ ОБ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СОЛОДА**

*Э. А. Тур<sup>1</sup>, С. В. Басов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Заведующий кафедрой инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, tur.elina@mail.ru

<sup>2</sup> Доцент кафедры инженерной экологии и химии, Брестский государственный технический университет, Брест, Республика Беларусь, basovs@mail.ru

### **Аннотация**

Объектом исследования являлись сточные воды, образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Определены фактические значения рН, фосфат-ионов, ХПК и взвешенных веществ. Проведены лабораторные исследования, направленные на снижение содержания загрязняющих веществ в сточных водах. Подобран реагент и диапазон оптимальных доз реагента для удаления фосфатов. Разработаны технологические рекомендации, позволяющие проводить локальную очистку сточных вод на территории предприятия без строительства отдельных очистных сооружений.

**Ключевые слова:** сточные воды, лабораторные исследования, технологические рекомендации.

## **ON THE QUESTION OF THE PURIFICATION OF WASTE WATER GENERATED IN THE PRODUCTION OF MALT**

*E. A. Tur<sup>1</sup>, S. V. Basov<sup>2</sup>*

## **Abstract**

The object of the study was wastewater generated at different stages of barley soaking for malt production. The actual values of pH, phosphate ions, COD and suspended solids were determined. Conducted laboratory studies aimed at reducing the content of pollutants in wastewater. The reagent and the range of optimal doses of the reagent for removing phosphates were selected. Technological recommendations have been developed that allow for local wastewater treatment on the territory of the enterprise without the construction of separate treatment facilities.

**Keywords:** waste water, laboratory research, technological recommendations.

**Введение.** Очистка производственных сточных вод является важнейшей задачей промышленных предприятий наряду с выпуском высококачественной и востребованной продукции. Предприятия пищевой промышленности уделяют особое внимание соблюдению нормативов содержания различных веществ в сточных водах. После реконструкции, корректировки технологического процесса и снижению объемов сбрасываемых сточных вод в городскую канализационную сеть, в сточных водах ОАО «Белсолгод» (предприятия Брестской области, производящего солод) периодически возникали превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ. Объектом исследования являлись сточные воды, образующиеся на разных стадиях замачивания ячменя для производства солода. Целью исследований являлся анализ сточных вод на всех этапах технологического процесса производства солода, а также разработка мероприятий по недопущению превышения ПДК загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод на выпуске в сети коммунальной канализации без строительства локальных очистных сооружений.

**Материалы и методы.** В процессе работы были исследованы сточные воды на различных стадиях технологического процесса (рН, содержание фосфат-ионов, ХПК, взвешенных веществ). 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]. Сброс сточных вод предприятия производится по наружным сетям канализации в резервуар-усреднитель вместимостью 1000 м<sup>3</sup>. 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 производительностью 142 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/ч или 1400000 м<sup>3</sup>/год.

Процесс замачивания ячменя является периодическим и происходит в три стадии. В каждой стадии задействованы 8 чанов объемом 85 м<sup>3</sup>. Расход воды на заполнение чанов составляет 240,3 м<sup>3</sup>.

**Результаты и обсуждение.** Были исследованы пробы сточных вод, образующихся на различных стадиях технологического процесса (таблица 1).

**Таблица 1** – Исследованные пробы сточных вод

№ пробы	Наименование пробы
1	Слив замочки ячменя на 3-е сутки (ячмень пр-во Дания)
2	Слив замочки ячменя 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 ячменя на 1-е сутки (ячмень пр-во Дания)
6	Слив замочки ячменя 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 2, 3, 4.

**Таблица 2** - 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 3** – Содержание взвешенных веществ

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм <sup>3</sup>	Нормативное значение, мг/дм <sup>3</sup>
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 4** – Содержание фосфат-ионов (в пересчете на P)

№ пробы	Фактическое значение, мг/дм <sup>3</sup>	Нормативное значение, мг/дм <sup>3</sup>
<b>1</b> (3-е сутки)	10,4	не более 11,4
<b>2</b> (1-е сутки)	13,4	
<b>3</b> (усреднитель)	12,4	
<b>4</b> (выпускной колодец)	11,6	
<b>5</b> (1-е сутки, новый отбор)	20,5	
<b>6</b> (1-е сутки, третий отбор проб)	14,7	
<b>7</b> (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 рН 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/дм<sup>3</sup> – 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 наблюдалось. 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 5.

**Таблица 5** – Определение ХПК

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

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  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  способны образовывать осадки.

В процессе проведенных исследований определено, что видимый процесс образования осадков ПСВ начинается при минимальных дозах СаО, а именно, от 0,1 кгСаО на 1 м<sup>3</sup> сточной воды. Установлено, что при малых дозах СаО (0,1 и 0,5 кг на м<sup>3</sup>), 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/дм<sup>3</sup> (исходная проба №3) до 828 – 1073 мг/дм<sup>3</sup> (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 м<sup>3</sup> содержание фосфат ионов снижается до 2,5 мг/л (зерно датского производства 1-е сутки замачивания, проба №2). В результате исследований установлено, что оптимальным значением является добавление 0,5г/л СаО.

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

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 СаО с целью нейтрализации кислого стока и снижения содержания взвешенных веществ в концентрированном стоке [9, 10].

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).

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

1) Перед сбросом в усреднитель, при низких значениях рН, 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.

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

3) Реконструировать усреднитель, оборудуя его секцией для отстаивания сточных вод. Это связано с тем, что усреднитель в данное время (после реконструкции предприятия) не используется на полную мощность, имеется значительный резерв по объёму. При оборудовании в нём секции для отстаивания объёмом 250 м<sup>3</sup> не потребуется возведения или устройства отдельно стоящего резервуара-отстойника [10].

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). 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. Предложенные инженерные решения обеспечат повышение экологичности производства солода без строительства отдельных очистных сооружений на данном промышленном предприятии.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность руководству ОАО «Белсолод» за информационную поддержку, оказанную в ходе написания статьи.

#### **Список цитированных источников**

1. Колунянц, К. А. Химия солода и пива. / К.А. Колунянц. — 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. СТБ ИСО 10523-2009 Качество воды. Определение pH.
5. ГОСТ 18309-2014 Вода. Методы определения фосфорсодержащих веществ.
6. СТБ ИСО 6878-2005 Качество воды. Определение фосфора спектрометрическим методом с молибдатом аммония №1.2.1.79-0013.
7. ГОСТ 31859-2012 Метод определения химического потребления кислорода.
8. ПИДФ 14.1.:2:4.190-03. 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».
9. Комарова, Л. Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды / Л. Ф. Комарова, Л. А. Кормина. — Барнаул: ГИПП Алтай, 2000. — 391 с.
10. Тур, Э.А. Проблемы очистки сточных вод, образующихся на стадии замачивания зерна при производстве солода, и пути их решения/ Э.А. Тур, Н.В. Левчук, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 117-122.