

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ОБЪЕКТНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ФОРМИРОВАНИЕ  
АДАПТИВНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ВОДООТВЕДЕНИЯ  
ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СОЛОДА**

**В.Н. Штепа, А.Б. Шикунец**

*Полесский государственный университет, Пинск, [shtepa.v@polessu.by](mailto:shtepa.v@polessu.by), [shikunets.a@polessu.by](mailto:shikunets.a@polessu.by)*

**Введение.** Для современной бродильной промышленности солод является одним из базовых компонентов. Он используется в пивоваренной индустрии, для производства безалкогольной продукции, в хлебопечении и других областях народного хозяйства [1]. Касательно предприятий по производству солода необходимо отметить, что их водные ресурсы имеют тенденцию к системному загрязнению [2]. Основными поллютантами в данном случае являются фосфор в виде фосфат-ионов, а также, в меньшей степени, сульфаты [3]. В то же время существуют проблемы, затрудняющие осуществление эффективного мониторинга водоотведения. Они включают в себя следующие аспекты:

– отсутствие измерительных средств, работающих в сегментах сети водоотведения, способных в оперативном беспроводном режиме и удалённо передавать данные о качестве сточных

вод (СВ), выдерживать агрессивную среду, а также быть энергонезависимыми, то есть функционировать без подключения к электрической сети;

- отсутствие программного обеспечения, способного оценивать и прогнозировать качество сточных вод в сегментах сети водоотведения;
- незначительное количество программного обеспечения способного в сегменте адаптивно управлять очистными, предлагать варианты действий технологам при залповых поступлениях загрязнителей, а также прогнозировать экологическое состояние водных ресурсов, в том числе после их локальной очистки [4].

В связи с этим, обусловлена необходимость совершенствования технологии добычи, очистки, распределения и расходования воды [2]. Согласно современным требованиям, устранение экологических проблем предприятиями должно носить комплексный характер и находиться в системе «экология-экономика» и основываться на внедрении эффективных технологий [5]. С целью улучшения общего состояния водопроводно-канализационных систем предприятий, а также недопущения чрезвычайных ситуаций в результате появления в системе опасных загрязнителей, данные технологии должны включать в себя разнообразные направления, такие как новые методы очистки, к примеру, АОПs-технологии (Advanced Oxidation Processes) [6,7], а также внедрение эффективных систем мониторинга параметров систем водоотведения. В рамках таких трендов актуальным, на начальном этапе, является создание водного паспорта используемых при производстве солода водных ресурсов.

**Основная часть.** В сточных водах предприятия потенциально превышают предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязнителей два показателя [3]:

- концентрация фосфора,
- активность ионов водорода (рН).

С целью анализа процессов формирования загрязнителей на основе фосфора был проведён активный эксперимент имитации «производственных процессов замочки сырья» в лабораторных условиях:

1. Отобрали зерно ячменя, которое подготовлено к замачиванию в производственных технологических ёмкостях (масса – 1,2 кг; объём воды – 1,6 л);
2. На протяжении 12 часов выполнялась аэрация замоченного зерна в водопроводной воде (показатели такого водного раствора: рН = 7,45; электропроводность = 186 мкСм/см);
3. Раз в 3 часа выполнялось измерение показателей качества водных растворов: «концентрация фосфора», «рН», «электропроводность», «светопроницаемость» (рис. 1).

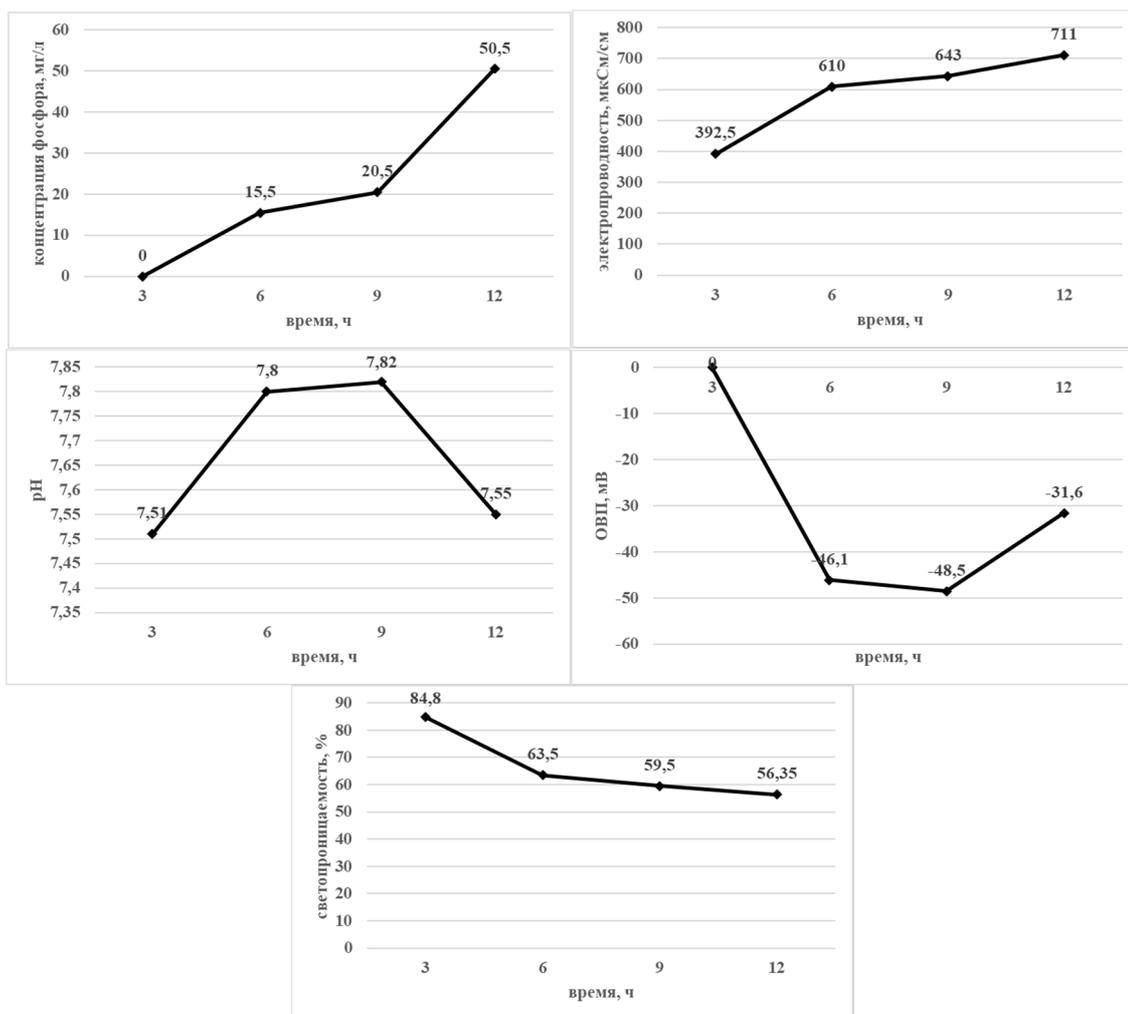
Концентрацию фосфора определяли посредством применения теста для воды на фосфат-ионы Tetra Test PO<sub>4</sub>, рН и ОВП измерялись при помощи портативного рН-метра/милливольтметра рН-410. С использованием портативного солемера TDS-3 проводилась оценка электропроводности раствора, а его светопроницаемости – спектрофотометром ЭКРОС ПЭ-5400УФ.

После имитации «первых технологических суток замочки» зерно было извлечено из ёмкостей и на протяжении 10 часов ровным слоем просушивалось, далее ячмень повторно замочили в режиме аэрации с компрессором, имеющим расход воздуха равный 20 л/мин. На этом этапе концентрация фосфора, при повторном размещении в водопроводной воде, через 3 часа стала на уровне 4 мг/л и на протяжении 12 часов увеличилась только до 6 мг/л.

На основании полученных результатов были сделаны следующие выводы:

- концентрация фосфора превышает значения ПДК при замочке в «первые сутки» (порядка 40-60 мг/л), на вторые сутки фосфор из зерна в сточные воды выделяется минимально – на уровне до 6 мг/л;
- значения рН при замочке, без добавления дополнительных производственных реагентов, значительно не изменяется на всех этапах исследований.

Следующим шагом стала лабораторная оценка состава сточных вод предприятия на протяжении технологической обработки водными растворами зерна («замочек разных суток») (табл.).



**Рисунок 1. – Графические зависимости изменения параметров водных растворов в ходе эксперимента**

Таблица – Показатели водных растворов во время технологической обработки

№ пробы	Реальное время измерений	Время отбора через каждые 2 часа	pH	Концентрация фосфора, мг/дм <sup>3</sup>
1	2	3	4	5
1	13:00	0	6,9	0,7
2	15:00	2	6,2	16,4
3	17:00	4	6,0	17,2
4	19:00	6	6,0	24,8
5	21:00	8	6,2	16,2
6	23:00	10	7,1	2,4
7	01:00	12	7,5	2,6
8	03:00	14	7,1	2,5
9	05:00	16	7,1	2,2
10	07:00	18	6,3	7,7
11	09:00	20	6,2	11,4
12	11:00	22	6,4	12,7
13	13:00	24	6,7	7,7
14	15:00	26	6,3	4,6
15	17:00	28	7,5	0,9
16	19:00	30	7,5	0,4

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
17	21:00	32	7,5	0,4
18	23:00	34	7,1	15,0
19	01:00	36	6,3	14,3
20	03:00	38	7,1	1,3
21	05:00	40	7,1	0,9
22	07:00	42	6,9	13,0
23	09:00	44	7,0	27,2
24	11:00	46	7,1	29,3
25	13:00	48	7,0	26,5

Для контроля параметров водоотведения в режиме реального времени была разработана система мониторинга параметров водоотведения СВ. Создание ее структуры базировалось на том, что на предприятии функционируют:

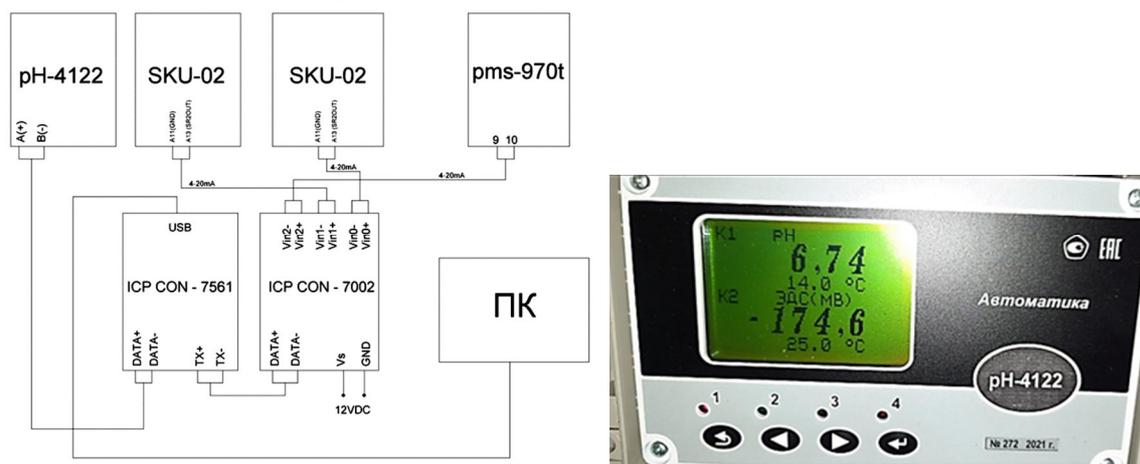
- измерители расхода сточных вод – SKU-02 (2 штуки);
- измеритель уровня в ёмкости-стабилизаторе (1000 м<sup>3</sup>) – «Взлёт РУ».

Таким образом для внедрения СМПВ сточных вод необходимо дополнить схему измерением: рН, окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), температуры.

Важно определять и «концентрацию фосфора», однако, инструментальных средств, способных надёжно работать в агрессивных условия, фактических нет – или их стоимость критически большая. При этом, исходя из параметров технологического процесса в «первые сутки», можно спрогнозировать значение концентраций фосфора в «ёмкости-стабилизаторе» и, соответственно, их величины перед подачей на локальные очистные сооружения.

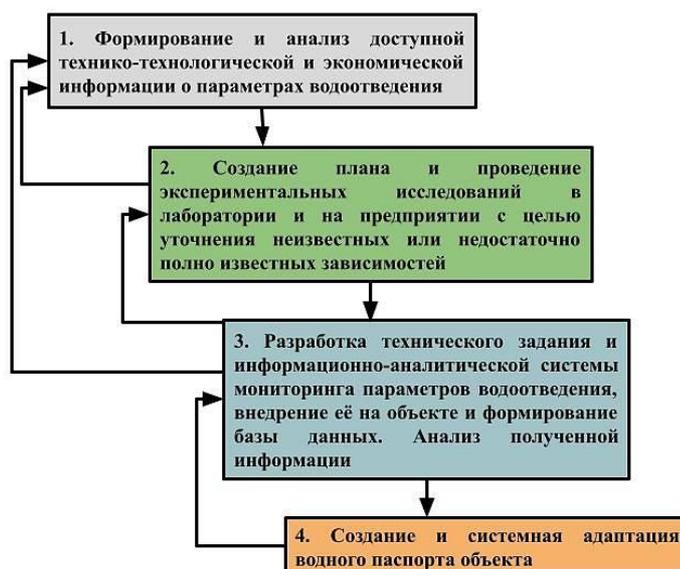
В качестве измерителя «рН», «ОВП» и «температура» использовали двухканальный рН/ОВП-метр типа рН-4122, который предназначен для автоматического определения активности ионов водорода (рН) или окислительно-восстановительного потенциала и температуры анализируемой жидкости. Измерительный прибор рН/ОВП-метра имеет меню и обеспечивает цифровую индикацию значений рН и температуры, преобразование их в пропорциональные значения унифицированных выходных сигналов постоянного тока, обмен данными по цифровому интерфейсу RS-485 (протокол обмена ModBus RTU), сигнализацию о выходе измеряемых параметров за пределы заданных значений, а также архивирование и графическое отображение результатов измерений.

С учетом специфики предприятия, создана схема системы мониторинга параметров водоотведения, представленная на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Схема подключения системы мониторинга параметров водоотведения предприятия по производству солода и внешний вид дисплея блока рН/ОВП-метра**

Созданное аппаратно-программное решение прошло практическое внедрение и используется на данный момент на предприятии. Проведенные экспериментальные и объектно-информационные исследования позволили создать последовательность формирования специализированного адаптивного водного паспорта (рис. 3) с потенциальной его трансформацией в специализированную цифровую модель (цифровой двойник) [8].



**Рисунок 3.** – Схема создания адаптивного водного паспорта системы водоотведения предприятия по производству солода

**Заключение:**

- ключевые поступления загрязнителей в сточные воды на основе фосфора происходят в «первые сутки замочки» (общая концентрация фосфора в ёмкости-стабилизаторе – до 30 мг/л);
- кислая среда сточных вод ( $pH < 6,5$ ) формируется в «первые сутки замочки» технологической обработки сырья (зерна) за счёт добавления производственных реагентов, которые понижают активную реакцию водных растворов (переводят  $pH$  в кислотный диапазон значений);
- созданная и внедренная информационная система мониторинга состояния водных растворов, поступающих с производства в канализационную систему, позволяет значительно увеличить наблюдаемость и прогнозируемость параметров водоотведения промышленного объекта;
- для формирования адекватной технологической картины водоотведения необходима системная работа с созданием и развитием адаптивного водного паспорта предприятия и его дальнейшей трансформацией в специализированную цифровую модель (цифровой двойник).

**Благодарность.** Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (договор № Ф23У-012 от 02.05.2023 года).

**Список использованных источников**

1. Баланов, П.Е. Использование тритикале при производстве солода / П.Е. Баланов, И. В. Смотраева, Д.В. Зипаев // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4 (49). – С. 70-76.
2. Юников, А.Я. Инновационные технологии промышленных предприятий в сфере водоснабжения и водоотведения / А.Я. Юников, Е.А. Москвина // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2018. – № 14. – Т. 3. – С. 29-31.
3. Иванченко, О.Б. Пути образования и токсические свойства сточных вод пивоваренных предприятий / О.Б. Иванченко, Р.Э. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 2. – Т. 18. – С. 433-436.
4. Штепа, В.Н. Обоснование и схемы использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга и интеллектуального анализа режимов водоотведения / В.Н. Штепа, Н.Ю. Золотых, С.Ю. Киреев // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки: научный журнал. - 2023. - № 1. - С. 94-103.
5. Иванченко, О.Б. Оценка генотоксичности сточных вод в системе экологического мониторинга пивоваренного предприятия / О.Б. Иванченко, Р.Э. Хабибуллин, О.А. Решетник // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – № 6. – Т. 18. – С. 223-226.
6. Схема комбинированной очистки сточных вод текстильных производств с использованием АОРs-технологий / В.Н. Штепа [и др.] // Вестник Витебского государственного технологического университета : научный журнал. - 2023. - № 1 (44). - С. 114-124.
7. Штепа, В.Н. Усовершенствованная схема обработки водных растворов пищевых предприятий с использованием технологий АОРS / В.Н. Штепа, С.В. Тыновец, А.Б. Шкиунец // Вестник

Белорусско-Российского университета : научно-методический журнал. - 2022. - № 4 (77). - С. 84-91.

8. Штепа, В. Н. Использование виртуальной меры энергоэффективности водоочистки при цифровизации водопроводно-канализационного хозяйства / В. Н. Штепа, А. Б. Шикунец, Я. Ю. Ёрш // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации («Шляндинские чтения - 2022»): материалы XIV Международной научно-технической конференции с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для обучающихся и молодых ученых, Пенза, 24-26 октября 2022 г. / под ред. Е.А. Печерской. – Пенза : ПГУ, 2022. - С. 182-186.