

УДК 504.062

УСТОЙЧИВОЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ, ВОДООТВЕДЕНИЯ, КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

П. Н. ЗАХАРКО¹⁾, С. А. ДУБЕНОК²⁾

¹⁾Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов,
ул. Славинского, 1, корп. 2, 220086, Минск, Беларусь

²⁾Белорусский национальный технический университет,
пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь

Предприятия молочной промышленности характеризуются частой сменой видов производимой продукции, что отражается на водопользовании и качественном составе сточных вод, формирующихся на территории предприятия. В силу специфики осуществления технологических процессов производства продукции зачастую объемы водоотведения превышают объемы водопотребления до 30 %, что является важным фактором, который необходимо учитывать при проектировании очистных сооружений сточных вод на предприятиях молочной промышленности (иногда проектировщиками объемы водоотведения приравниваются к объемам водопотребления).

Качественный состав сточных вод сильно варьирует в течение суток и напрямую зависит от видов производимой продукции. Одним из способов устойчивого водопользования на предприятиях является постоянное планирование водопотребления и водоотведения в увязке с объемами и видами выпускаемой продукции, качественным составом сточных вод. С научной точки зрения, прогнозирование водопользования, качественного состава сточных вод возможно путем установления пространственно-временных зависимостей между видами производимой продукции, объемами водопотребления и водоотведения, качественным составом сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов.

В некоторых пунктах Республики Беларусь предприятия по производству молочных продуктов являются градообразующими, развивают и наращивают производство, расширяют ассортимент выпускаемой продукции, что приводит к увеличению нагрузки на коммунальные очистные сооружения в населенном пункте. Как следствие, такие предприятия при расширении производственных мощностей стремятся организовать полный цикл очистки сточных вод с последующим их сбросом в водные объекты. Последние 5 лет наблюдается стабильная динамика увеличения антропогенной нагрузки на водные объекты предприятиями по производству молочных продуктов: ежегодно 1–2 предприятия организуют выпуски сточных вод после очистных сооружений в водный объект. С учетом наметившихся тенденций водопользования установление зависимостей между видами производимой продукции, объемами водопотребления и водоотведения, качественным составом сточных вод позволит предприятиям по производству молочных продуктов прогнозировать водопользование и качество сточных вод.

Ключевые слова: водопотребление; водоотведение; пространственно-временные зависимости; качество; сточные воды; молочная промышленность.

Образец цитирования:

Захарко ПН, Дубенок СА. Устойчивое водопользование на основе регулирования водопотребления, водоотведения, качества сточных вод на предприятиях по производству молочных продуктов. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;2:88–101.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-2-88-101>

For citation:

Zakharko PN, Dubianok SA. Sustainable water use on the basis of regulation of water consumption, water disposal, wastewater quality at dairy production enterprises. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2022;2:88–101. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-2-88-101>

Авторы:

Полина Николаевна Захарко – начальник отдела нормирования воздействия на окружающую среду.

Снежана Анатольевна Дубенок – кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение и водоотведение».

Authors:

Palina N. Zakharko, head of the environmental impact rationing department.

polina.k.85@mail.ru

Sniyazhana A. Dubianok, PhD (engineering), associate professor at the department of water supply and sanitation.

dsnega@list.ru

SUSTAINABLE WATER USE ON THE BASIS OF REGULATION OF WATER CONSUMPTION, WATER DISPOSAL, WASTEWATER QUALITY AT DAIRY PRODUCTION ENTERPRISES

P. N. ZAKHARKO^a, S. A. DUBIANOK^b

^aCentral Research Institute for Complex Use of Water Resources,
1 Slavinskaya Street, building 2, Minsk 220086, Belarus

^bBelarusian National Technical University,
65 Niezaliežnasci Avenue, 220013 Minsk, Belarus
Corresponding author: S. Dubianok (dsnega@list.ru)

Dairy industry enterprises are characterized by a frequent change in the types of products produced, which affects water use and the qualitative composition of wastewater generated on the territory of the enterprise. Due to the specifics of the implementation of technological processes for the production of products, the volumes of water disposal often exceed the volumes of water consumption by up to 30%, which is an important factor that must be taken into account when designing wastewater treatment plants at dairy industry enterprises (often designers equate the volumes of water disposal to the volumes of water consumption). The qualitative composition of wastewater varies greatly during the day and directly depends on the types of products produced. One of the ways of sustainable water use at enterprises is the constant planning of water consumption and wastewater disposal in conjunction with the volumes and types of products produced, the qualitative composition of wastewater. From a scientific point of view, forecasting water use, the qualitative composition of wastewater is possible by establishing spatio-temporal relationships between the types of products produced, volumes of water consumption and wastewater disposal, and the qualitative composition of wastewater at enterprises for the production of dairy products. In a number of localities of the Republic of Belarus, enterprises for the production of dairy products are city-forming, they develop and increase production, expand the range of products, which leads to an increase in the load on municipal treatment facilities in the locality. As a result, such enterprises, when expanding their production capacities, tend to organize a full cycle of wastewater treatment with their subsequent discharge into water bodies. For the last 5 years, there has been a stable dynamics of an increase in the anthropogenic load on water bodies by enterprises producing dairy products: annually 1–2 enterprises organize the release of wastewater after treatment facilities into a water body. Taking into account the emerging trends in water use, establishing relationships between the types of products produced, the volumes of water consumption and wastewater disposal, and the qualitative composition of wastewater will allow enterprises producing dairy products to predict water use and wastewater quality.

Keywords: water consumption, water disposal, spatio-temporal dependencies, quality, wastewater, dairy industry.

Введение

Промышленное производство, являющееся базовой составляющей развития любого государства, выступает одновременно и мощнейшим источником воздействия на окружающую среду в целом и на отдельные ее компоненты в частности. При этом, с точки зрения воздействия на отдельные компоненты природной среды, различные отрасли промышленного производства обуславливают различный уровень негативного влияния на состояние окружающей среды. Предприятия молочной промышленности в силу специфики используемого технологического оборудования и осуществляемых производственных процессов оказывают наибольшее воздействие на водные ресурсы, исчерпаемый компонент природной среды, по следующим направлениям: *истощение водных ресурсов* (превышение дебита скважин, вследствие интенсивного использования воды питьевого качества), *загрязнение водных ресурсов* (недостаточное развитие систем повторного водоснабжения, ухудшение работы очистных сооружений населенного пункта за счет сброса высоконцентрированных сточных вод, организация новых точечных источников воздействия на водные объекты в виде выпусков сточных вод).

Активное наращивание производственных мощностей молочной промышленностью, расширение видов и ассортимента молочных продуктов позволило ей занять лидирующие позиции по объемам производства молочных продуктов среди производства таких основных видов продуктов питания, как мясные и рыбные продукты, плодоовощные консервы, растительные масла, макаронные изделия, сахар, соль, шоколад.

В настоящее время в Республике Беларусь функционирует 79 предприятий по производству молочных продуктов. Проведенный анализ данных государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) за 2020 г. указывает, что только у 8 предприятий организована система повторного водоснабжения за счет использования емкостей вторичной воды. Недостаточное развитие систем повторного водоснабжения приводит к преимущественному использованию в производственных процессах свежей воды питьевого

качества. В централизованную систему водоотведения (канализации) населенного пункта отводят сточные воды 68 предприятий по производству молочных продуктов. Сточные воды предприятий по производству молочных продуктов содержат высокие концентрации органических и минеральных веществ, которые, поступая в централизованную систему водоотведения (канализации) населенного пункта, оказывают негативное воздействие на очистные сооружения организаций водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ), жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). В ряде населенных пунктов сточные воды предприятий по производству молочных продуктов составляют до 50 % от общего объема сточных вод, поступающих на очистные сооружения населенного пункта.

При этом последние десять лет наблюдается активная организации предприятиями по производству молочных продуктов выпусков сточных вод непосредственно в водные объекты и отключение от централизованных систем водоотведения (канализации) населенных пунктов.

В сложившихся условиях комплексное изучение процессов водопользования на предприятиях молочной промышленности, включая детализацию статей водопользования с установлением зависимостей между объемами водопотребления и водоотведения, качественным составом сточных вод и выпуском продукции, является актуальной задачей и требует научного анализа.

Материалы и методы исследования

Общие методические подходы к выявлению зависимостей между объемами водопользования, качественным составом сточных вод и выпуском продукции. Располагая данными государственной статистической отчетности 1-вода (Минприроды) проведен сравнительный анализ водопользования подсекции СА «Производства продуктов питания, напитков и табачных изделий» и группы 105 «Производство молочных продуктов», который показал, что доля добычи воды предприятиями по производству молочных продуктов за 2018–2020 гг. превышала 50 % от общей добычи воды подсекцией СА, объем сброса сточных вод в водные объекты предприятиями по производству молочных продуктов в 2018–2020 гг. постоянно увеличивался и на 2020 г. составил 48,2 % от общего объема сброса сточных вод подсекцией СА в водные объекты¹ (табл. 1).

Таблица 1

Сводные данные водопользования подсекции СА и группы 105 за период 2016–2020 гг.

Table 1

Summary of water use data of subsection CA and group 105 for the period 2016–2020

Год	Добыча, тыс. м ³ /год			Изъятие, тыс. м ³ /год			Сброс сточных вод в водные объекты, тыс. м ³ /год		
	СА	105	%	СА	105	%	СА	105	%
2016	43500	20970	48,2	6300	427,45	6,8	4300	1355	31,5
2017	45600	22022	48,3	6700	385,07	5,7	6700	950	14,2
2018	44800	22614	50,5	5700	327,33	5,7	7900	1799	22,8
2018	45000	23719	52,7	4400	343,33	7,8	8100	2486	30,7
2020	47100	24279	51,5	3600	318,117	8,8	7900	3812	48,2

Примечание. 1. СА – подсекция СА «Производства продуктов питания, напитков и табачных изделий»; 2. группа 105 «Производство молочных продуктов»; 3. % – доля воды группы 105 к подсекции СА.

По результатам проведенного анализа установлено, что у 47 предприятий (59 %) в перечне ассортимента продукции присутствуют разные виды сыров (мягкий, твердый, полутвердый), с одновременной переработкой сыворотки (концентрирование с сушкой или без сушки), либо ее отгрузкой. Также предприятия по производству сыров зачастую специализируются на производстве иных видов молочной продукции: цельномолочная продукция, масло, казеин, молочные консервы, мороженное.

Таким образом, предприятия по производству сыров характеризуются наибольшим ассортиментом выпускаемой продукции и, как следствие, наибольшим количеством технологических процессов и операций, требующих большого количества производственного оборудования, активным внедрением современных

¹ Государственный водный кадастр [Электронный ресурс]. Информационные ресурсы на сайте РУП «ЦНИИКИВР». URL: <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/> (дата обращения: 12.05.2022).

технологий по переработке побочных продуктов-сыворожки. Поэтому дальнейшее детальное изучение на данных предприятиях водопотребления и водоотведения в увязке с видами производимой продукции позволит в целом охарактеризовать водопользование в молочной промышленности.

На основании вышеизложенного, в качестве объекта исследования для выявления зависимостей между объемами водопотребления и водоотведения, качественным составом сточных вод и выпуском продукции выбраны предприятия по производству сыров и иных видов молочных продуктов.

Методология проведения исследований по изучению водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов включает следующие этапы [1].

1. Определение статей расхода воды, источников образования сточных вод, дополнительных объемов, отводимых в канализацию.

2. Выявление зависимостей между видами производимой продукции и водопользованием.

3. Выполнение натурных экспериментальных исследований и анализ химического состава сточных вод, образующихся при различных технологических процессах, выявление зависимостей между видами производимой продукции и качественным составом сточных вод.

Метод определения статей расхода воды, источников образования сточных вод, дополнительных объемов, отводимых в канализацию при производстве молочных продуктов. Анализ технологических процессов производства молочной продукции, оборудования, задействованного в производстве и специфики его функционирования, позволил сформировать статьи расхода воды, образования сточных вод, а также выделить источники образования дополнительных объемов в сети канализации предприятия.

По результатам обобщения сформирована структура водопользования, включающая статьи водопотребления, водоотведения, безвозвратного водопотребления и потери воды, а также образования побочных продуктов.

Метод выявления зависимостей между видами перерабатываемого сырья, производимой продукцией и водопользованием. Одним из путей увязки всех технологических процессов с объемами потребления воды, образования сточных вод и видами выпускаемой продукции является разработка индивидуальных технологических нормативов водопотребления и водоотведения (далее – технормативы). Основной целью технормативов является разработка экономических и технически обоснованных удельных норм расхода воды (с учётом ее качества) в производственном процессе.

Обобщение и сравнительный анализ исходных данных позволили выделить диапазоны водопотребления и водоотведения по отдельным статьям водопользования, диапазоны индивидуальных технологических нормативов водопользования при производстве различных видов продукции.

Метод выполнения натурных экспериментальных исследований и анализ химического состава сточных вод, образующихся при различных технологических процессах, выявление зависимостей между видами производимой продукции и качественным составом сточных вод. Проводились отборы проб и лабораторные испытания сточных вод, образующихся на различных этапах производственных процессов предприятий по производству молочных продуктов. Отбор проб осуществлялся автоматическим пробоотборником, лабораторные испытания проводились аккредитованными лабораториями ГУ «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды». Анализ полученных результатов позволил выделить приоритетные загрязняющие вещества по отдельным технологическим процессам, установить диапазоны концентраций загрязняющих веществ в сточных водах в зависимости от видов производимой продукции. Исследования сточных вод проводились по следующим веществам (показателям): ХПК, аммоний-ион, азот общий, фосфор фосфатный, фосфор общий, pH, хлорид-ион, сульфат-ион, взвешенные вещества, СПАВ(анион.), сухой остаток.

Зависимости между объемами водопользования, качественным составом сточных вод и выпуском продукции. Целевое использование воды на предприятиях по производству молочных продуктов разделено на три направления:

- производственные нужды, зависящие от производственного процесса и объема выпуска продукции, $W_{пр}$;
- производственные нужды, не зависящие от производства продукции (используемого сырья), но обусловленные производственным процессом (вспомогательные нужды), W_0 ;
- хозяйственно-питьевые (бытовые) нужды.

Обобщенные сведения о статьях расхода воды, источниках образования сточных вод приведены в табл. 2 [2].

Анализ водопользования в соответствии с изложенной методологией проведен для 11 предприятий по производству сыров и иных видов молочных продуктов, что составляет 23 % от общего количества предприятий, занимающихся производством сыров, а суммарный объем добычи воды данными предприятиями составляет 21 % от общего объема добычи воды группы 105 «Производство молочных продуктов». При этом 5 из исследуемых предприятий имеют наибольший ассортимент производимых сыров;

2 предприятия помимо сыров осуществляют производство цельномолочной продукции и 5 предприятий, помимо сыров, осуществляют производство сухих молочных продуктов; 9 предприятий перерабатывают сыворотку с использованием разных технологий и глубины ее переработки; 2 предприятия имеют полный цикл очистки сточных вод с их выпуском в водный объект. Таким образом, полученные результаты по данным предприятиям могут быть соотнесены в целом на иные предприятия по производству сыров и иных видов производимой продукции.

Таблица 2

Состав и структура водопользования

Table 2

Composition and structure of water use

№	Наименование статьи	Побочный продукт / дополнительные объемы сброса в канализацию
<i>Производственные нужды ($W_{пр}$)</i>		
1	Обеспечение технологических параметров оборудования (использование воды в процессе работы оборудования), включая мембранные установки по переработке сырья	—
1.1	Прямоточное охлаждение оборудования, включая вакуум-выпарную установку	—
1.2	Фасовочный автомат, термоусадочная машина и др.	—
1.3	Сепаратор, сепаратор-бактофуга (самовыгружающиеся)	Осадок
1.4	Плунжерные гомогенизаторы	—
1.5	Мембранная установка для получения обессоленной воды (установка обратного осмоса, нанофильтрации)	Образуется ретентат с высоким содержанием солей
1.6	Стерилизация оборудования горячей водой	—
1.7	Мембранные установки по переработке сырья	Пермеат
2	Работа вакуум-выпарной установки (ВВУ): подпитка оборотной системы, образование вторичного пара	Вторичный пар
3	Санитарная обработка оборудования	—
4	Санитарная обработка производственных помещений	—
5	Приготовление моющих растворов	Щелочь/кислота
6	Наружная мойка автомолцистерн	—
7	Внутренняя мойка автомолцистерн	—
8	Санитарная обработка текстильных изделий	—
9	Приготовление рецептов	—
10	Расход воды на посол сыра в зерне	—
11	Приготовление рассола в соляных бассейнах	—
12	Выработка пара (котельная)	—
12.1	Восполнение потерь конденсата пара	—
12.2	Продувка котла	—
12.3	Потери с выпаром деаэратора	—
12.4	Собственные нужды водоподготовки	—
13	Расход воды на промывку казеина	—

Окончание табл. 2

Ending table 2

<i>Нужды, не зависящие от производства продукции (используемого сырья), но обусловленные производственным процессом (вспомогательные нужды) (W_0)</i>		
1	Нужды лаборатории	—
2	Водоподготовка питьевой воды	—
3	Профилактическая чистка и дезинфекция РЧВ, промывка водопроводной сети	—
4	Работа аммиачной компрессорной	—
5	Расход воды на подпитку тепловой сети	—
6	Нужды очистных сооружений	—
7	Расход воды на мойку твердых покрытий	—
8	Расход воды на нужды прачечной	—
9	Расход воды в столовой	—
<i>Хозяйственно-питьевые (бытовые) нужды ($W_{х-п}$)</i>		
1	Расход воды на питьевые нужды	—
2	Расход воды на принятие душа	—
3	Расход воды на полив зеленых насаждений	—
4	Влажная уборка непроизводственных помещений	—

Проведенный анализ действующих на 11 предприятиях индивидуальных технологических нормативов водопользования позволил сформировать диапазоны нормативов водопользования (табл. 3).

Таблица 3

Диапазоны нормативов водопользования

Table 3

Ranges of water use standards				
№	Предприятие	Объем поступления сырья, т/год (т/сут)	Норматив водопотребления, м ³ на тсырья	Норматив водоотведения, м ³ на т сырья
1	Предприятие 1	45924 (126)	3,25	3,02
2	Предприятие 2	54493 (149)	3,56	4,15
3	Предприятие 3	35743 (98)	4,1	4,85
4	Предприятие 4	43473 (119)	2,91	2,99
5	Предприятие 5	195722 (молоко) (536)	2,0	1,90
		163514 (сыворотка) (448)	1,6	2,70
6	Предприятие 6	110836 (304)	4,58	4,87
7	Предприятие 7	255500 (700)	4,65	4,31
8	Предприятие 8	83027 (227)	4,66	4,70
9	Предприятие 9	50703 (139)	3,77	4,08
10	Предприятие 10	75891 (208)	4,84	5,26
11	Предприятие 11	96573 (265)	3,76	4,43

Примечание. Предприятие 1 и 7 не перерабатывают сыворотку, осуществляют только ее отгрузку.

На всех предприятиях, осуществляющих переработку сыворотки, индивидуальный технологический норматив водоотведения больше водопотребления в среднем на 23 % (от 7 до 69 %). Разница между индивидуальным технологическим нормативом водоотведения и водопотребления будет зависеть от величины содержания сухого веществ в концентрированной сыворотке: чем больше доля сухих веществ в концентрированной сыворотке, тем больше образуется дополнительного объема (пермеата), поступающего в сети канализации.

На предприятиях, не осуществляющих переработку сыворотки, норматив водоотведения меньше водопотребления за счет отсутствия сброса в сети канализации дополнительных объемов, образующихся при функционировании мембранных установок при переработке сыворотки. Разница между нормативом водопотребления и водоотведения будет зависеть от величины потерь воды на различных этапах технологических процессов.

Опыт разработки индивидуальных технологических нормативов водопользования показал, что на предприятиях по производству молочных продуктов сыров и ЦМП, характер водопользования может существенно меняться в зависимости от видов производимой продукции. Детализация водопользования проведена по предприятию 9, производящему широкий ассортимент продукции²:

- твердые сычужные сыры типа «Российский», «Голландский»;
- молоко, молоко обогащенное кальцием;
- масло;
- творог, биотворог;
- сметана, сметана обогащенная кальцием и витамином Д;
- продукт кефирный;
- концентрированная подсырная сыворотка;
- творожная сыворотка (отгружается без переработки);
- частично обработанное молоко (осуществляется его отгрузка на холдинг для последующей переработки).

Производственная мощность предприятия: выработка цельномолочной продукции – 5 т в сут., масла – 12 т в сут., сыра – 15 т в сут., сыворотки концентрированной – 32 т в сут.

Проведенный анализ условий водопользования с сопоставлением с производством продукции позволил выделить два основных режима работы предприятия:

- водопользование при условии работы цеха ЦМП и приемно-аппаратного участка сырцевого (осуществляется только частичная обработка молока с последующей отгрузкой на холдинг) (режим 1);
- водопользование при условии работы цеха ЦМП и сырцевого (режим 2).

По результатам исследования установлено, что при режиме 1 норматив водопотребления находится в диапазоне от 2,4 до 3,2 м³ на т перерабатываемого сырья, норматив водоотведения на 5,1 % меньше водопотребления и составляет от 2,27 до 3,04 м³ на т перерабатываемого сырья.

При режиме 2 водопользование зависит от количества произведенного сыра и переработанного побочного продукта (сыворотки):

- при варке сыров от 18 до 30 дней в месяц водоотведение на 103–108 % больше водопотребления;
- при варке сыров в течение 10–17 дней, водоотведение на 101–102 % больше водопотребления;
- при варке сыров до 10 дней водоотведение либо равно водопотреблению, либо на 3–5 % меньше водопотребления за счет производственных потерь.

Учитывая, что данное предприятие эксплуатирует очистные сооружения биологической очистки с выпуском очищенных сточных вод в водный объект, с целью снижения антропогенной нагрузки на водоток предприятию сформированы ограничения по объему перерабатываемого сырья в зависимости от видов производимой продукции:

- при одновременном производстве ЦМП и сыров допустимый объем переработки сырья не должен превышать 140 т молока в сутки, также при работе сырцевого в режиме 15 т сыра в сутки, выпуск продукции в цехе ЦМП должен быть снижен в 1,5–2 раза по отношению к выпуску продукции в цехе ЦПМ, когда варка сыров в сырцевом не осуществляется;
- при работе только цеха ЦМП и приемки сырцевого допустима переработка сырья в объеме до 180 т молока в сутки.

Приведенные результаты исследований указывают на необходимость обязательной детализации статей водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов, особенно в случаях

² Анализ эффективности работы существующих очистных сооружений производственного унитарного предприятия «Мстиславльмолоко» с выдачей рекомендаций по повышению эффективности очистки сточных вод при отведении в водный объект»: отчет о НИР (заключ.) / РУП «ЦНИИКИВР»; рук. П. Н. Захарко; исполн.: С. А. Дубенок [и др.]. Москва: [б. и.]; 2016. 145 с. № госрегистрации 20163010.

наличия у них очистных сооружений с установленной проектной мощностью, нарушение которой приведет к сбросу недостаточно очищенных сточных вод в водный объект.

В целом все статьи водопользования на предприятиях по производству молочных продуктов разделены на нужды основного производства, нужды вспомогательного производства, нужды хозяйственно-питьевые:

- основного производства составляют от 75,4 до 98,4 % (в среднем 89 %) от общего водопотребления;
- вспомогательного производства от 0,5 до 22,5 % (в среднем 8,6 %) от общего водопотребления;
- хозяйственно-питьевые от 0,9 до 6,2 % (в среднем 2,4 %) от общего водопотребления.

Распределение диапазонов водопотребления во многом зависит от уровня организации оборотных систем водоснабжения, которые разделяются на оборотные системы основного производства (охлаждение вакуум-выпарной установки, пастеризатора, гомогенизатора и др. производственного оборудования) и оборотные системы вспомогательного производства (охлаждение аммиачной компрессорной).

Минимальный процент расхода воды на нужды основного производства (75 %) обусловлен высокими потерями в системе оборотного водоснабжения вспомогательного производства, за счет которых возросли нужды вспомогательного производства и составили максимальный процент (22 %) (предприятие 4).

Максимальный процент расхода воды на нужды основного производства (98 %) обусловлен низкими потерями в системе оборотного водоснабжения вспомогательного производства (0,5 %), поэтому основной объем расхода воды распределился на нужды основного производства (предприятие 1).

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды зависит от количества работников, которые трудятся в производственных цехах, и использования воды на полив зеленых насаждений.

Анализ статей расхода воды в различных производственных процессах показал, что даже при функционировании на предприятиях типового оборудования, объемы водопользования по отдельным статьям значительно отличаются, что потребовало более детального анализа статей расхода воды и образования сточных вод.

Как указывалось ранее, на предприятиях по производству сыров могут одновременно производиться и иные виды продукции: ЦМП, масло животное, сухое молоко, концентрированная сыворотка, сухая сыворотка и др., что существенным образом влияет на качественный состав образующихся сточных вод. Следовательно, качественный состав производственных сточных вод формируется за счет поступления в сети канализации нескольких потоков от различных производственных цехов. Соответственно, для прогнозирования качественного состава производственных сточных вод в целом по предприятию, необходимо располагать данными о содержании загрязняющих веществ в сточных водах в зависимости от производимой продукции. Таким образом, при изучении характеристик производственных сточных вод использовались усредненные данные всей имеющейся информации о качественных показателях, что позволило получить наиболее достоверные результаты.

Производственные сточные воды образуются на всех этапах производства молочной продукции и могут быть дифференцированы как:

- производственные сточные воды основного производства, образующиеся непосредственно в производственных цехах (участках);
- производственные сточные воды, образующиеся при вспомогательных процессах производства.

Концентрации загрязняющих веществ в составе производственных сточных вод значительно изменяются в зависимости от осуществляемых технологических процессов и уровня оптимизации водопользования.

Детализация осуществления отдельных производственных процессов на предприятиях по производству молочной продукции позволила выделить факторы, влияющие на качественный состав производственных сточных вод, и определить типовой перечень загрязняющих веществ в производственных сточных водах.

Этап приемки сырья является первым технологическим процессом, при котором образуются производственные сточные воды в результате наружной и внутренней мойки автомолцистерн, доставляющих молоко. Образующиеся сточные воды содержат органические вещества (за счет поступления остатков сырья при внутренней мойке автомолцистерн), минеральные вещества в виде взвешенных веществ, а также нефтепродукты (при обмыве колес и наружной поверхности автомолцистерн). При этом соединения азота и фосфора представлены как в органической (остатки сырья), так и неорганической форме за счет сброса отработанных моющих и дезинфицирующих растворов (табл. 4).

Локальная очистка сточных вод на участке наружной мойки автомолцистерн может осуществляться от взвешенных веществ и нефтепродуктов, за счет установки песколовки и бензомаслоуловителя. Сточные воды непосредственно от работы технологического оборудования могут быть разделены на два вида:

- незагрязненные – прямоточное охлаждение оборудования (пастеризационно-охлаждающая установка, заквасочник, маслоизготовитель, маслообразователь, насосы подачи сырья и др.), подача горячей воды в стерилизатор;

– загрязненные – при смыве остатка продукта в плунжерных гомогенизаторах; при выгрузке осадка из самовыгружающегося сепаратора, концентрат при получении обессоленной воды.

При работе гомогенизатора и сепаратора образуются сточные воды, содержащие высокие концентрации легко и трудноокисляемых органических веществ, выраженных по БПК и ХПК, соединений азота и фосфора. Особенно высокие концентрации перечисленных веществ и показателей фиксируются на этапе выгрузки осадка из сепаратора, где фактически выгружаются остатки молока с осадком (табл. 5).

Таблица 4

Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах на участке приемки молока

Table 4

Average daily concentrations of pollutants in the wastewater of the receiving area

Наименование вещества (показателя)	Концентрации загрязняющих веществ		
	средняя	минимальная	максимальная
ХПК, мгО ₂ /дм ³	621	565	726
Азот общий, мг/дм ³	60,45	41,3	79,6
Фосфор общий, мг/дм ³	7,165	6,09	8,24
Водородный показатель, ед. pH	6,74	6,59	6,82
Взвешенные вещества, мг/дм ³	466,7	200,0	800,0

Таблица 5

Среднесуточные концентрации загрязняющих веществ в сточных водах сепараторной

Table 5

Average daily concentrations of pollutants in the wastewater of the separator

Наименование вещества (показателя)	Концентрации загрязняющих веществ		
	средняя	минимальная	максимальная
ХПК, мгО ₂ /дм ³	8223,3	5920	10050
Азот общий, мг/дм ³	174,7	136	210
Фосфор общий, мг/дм ³	40,9	32,88	56,8
Водородный показатель, ед. pH	9,2	9	9,5
Взвешенные вещества, мг/дм ³	2300,0	1600	2700

Наиболее загрязненные сточные воды образуются при санитарной обработке оборудования, которая может осуществляться ручным или механизированным способом. Большая часть оборудования на предприятиях по производству молочных продуктов преимущественно моется с использованием механизированного способа. Ручным способом моются съемные части оборудования, осуществляется наружный обмыв оборудования.

При ручной санитарной обработке оборудование моется в специальных моечных ваннах, включающих 2–4 секции, в секции добавляются моющие и дезинфицирующие растворы. Мойка осуществляется в следующей последовательности: детали ополаскиваются водой, затем помещаются в секции с моющим (дезинфицирующим) раствором и далее повторно ополаскиваются проточной водой.

Механизированная санитарная обработка оборудования осуществляется с использованием балансирующих бачков или емкостей СИП-моек. В балансирующих бачках вода и моющие растворы циркулируют в течение одного цикла мойки и далее сбрасываются в канализацию. СИП-мойки осуществляются в автоматическом режиме, при котором моющие растворы после цикла мойки возвращаются в специальные емкости и используются многократно.

При санитарной обработке оборудования используется большое количество моющих (раствор азотной кислоты, щелочи) и дезинфицирующих растворов, которые после использования, зачастую без их нейтрализации, отводятся в сети канализации предприятия.

Учитывая, что качественный состав сточных вод производственных цехов зависит от осуществляемых технологических процессов, используемого оборудования и уровня организации санитарных обработок оборудования, на рассматриваемых предприятиях проведены суточные отборы проб и лабораторные испытания сточных вод от различных цехов и более детально изучен качественный состав сточных вод, формирующихся при производстве различных видов молочных продуктов. Обобщенные данные по качеству сточных вод приведены в табл. 6.

Проведенный анализ качественного состава сточных вод, формирующихся при производстве сыра, показал, что в случае сброса в сети канализации сыворотки, концентрации ХПК возрастают в 3 раза, по азоту общему – в 8,5 раза, фосфору общему – в 18 раз, по хлорид-иону – в 68 раз по отношению к концентрациям данных показателей в сточных водах предприятия, где сыворотка, образующаяся после производства сыра, перерабатывается.

Высокие концентрации ХПК характерны для сточных вод, формирующихся при производстве казеина, сухого молока и концентрированной сыворотки. Наиболее высокие концентрации сухого остатка (минерализации) характерны для сточных вод, формирующихся при производстве сыра и плавленых сыров. Наиболее высокие концентрации хлорид-иона характерны для сточных вод, формирующихся при производстве сухого молока и концентрированной сыворотки. Величина pH смещается в сторону кислой среды при производстве творога, сухого молока и сыворотки, в сторону щелочной среды при производстве сухих молочных продуктов (без сыворотки), казеина, масла. Приведенное в табл. 6 качество характерно для отдельных потоков производственных сточных вод, конкретного цеха, специализирующегося на выпуске определенного вида продукции.

Таблица 6

Концентрации загрязняющих веществ в производственных сточных водах (среднесуточные)

Table 6

Concentrations of pollutants in industrial wastewater (average daily)

Наименование производимой продукции	Наименование загрязняющего вещества (показателя)						
	ХПК, мгО ₂ /дм ³	азот общий, мг/дм ³	фосфор общий, мг/дм ³	фосфат-ион, мгР/дм ³	сухой остаток (минерализация), мг/дм ³⁽⁴⁾	хлорид-ион, мг/дм ³	водородный показатель, ед. pH
Сухие молочные продукты (без сыворотки) ¹⁾	1700–2700	23–65	18–24	17–23	1076–1150	45–61	9,1–10,5
Сухие молочные продукты и концентрированная сыворотка ¹⁾	3800–7600	–	–	–	–	750–870	4,7–6,5
Творог, сухие молочные продукты, включая сыворотку ¹⁾	2180–2500	92–123	–	–	600–900	–	4,2–4,6
Сыр ²⁾	3500–12700	500–2000	150–540	–	–	10300–17200	5,1–5,6
Сыр ³⁾	3300–3900	150–230	26–30	–	1900–4100	140–250	7,4–7,7
ЦМП, включая творог ¹⁾	1300–5200	33–105	9–31	–	200–1500	35–695	4,6–9,7
Масло ¹⁾	2800–5800	39–56	–	48–99	–	13–40	10–13,0
Творог ¹⁾	1400–2300	76–100	–	24–42	–	15–19	–
Плавленые сыры ¹⁾	4200–5000	120–140	40–52		1700–3600	130–145	5,3–6,7

Примечание. 1) качество по одному предприятию, включает 3 пробы сточных вод; 2) качество по одному предприятию, включает 3 пробы сточных вод, качество с учетом сброса сыворотки при нарушении технологического цикла; 3) качество по трем предприятиям, включает 6 проб сточных вод, качество с учетом переработки сыворотки; 4) сухой остаток (минерализация) – характеризует общее содержание в воде растворенных веществ, главным образом минеральных и частично органических веществ, имеющих температуру кипения выше 105 °С, нелетучих с водяным паром и не разлагающихся при данной температуре.

В то же время необходимо отметить, что в целом качественный состав сточных вод предприятия формируется за счет смешения разных потоков производственных сточных вод (загрязненных, слабозагрязненных, незагрязненных), дополнительных объемов (пермеат, вторичный пар), а также хозяйственно-бытовых сточных вод. Поэтому, говоря про качественный состав сточных вод, формирующихся на территории предприятия, необходимо также рассмотреть концентрации загрязняющих веществ в контрольном колодце предприятия либо приемной камере очистных сооружений при их наличии. Сводные данные качественного состава сточных вод в суточном разрезе при их общем смешении на территории предприятия приведены в табл. 7–8.

Таблица 7

Качественный состав сточных вод в суточном разрезе при общем смешении

Table 7

Qualitative composition of wastewater in the daily context with general mixing

Наименование вещества (показателя)	Производство ЦМП ¹			Производство ЦМП и казеина			Производство ЦМП, сухих молочных продуктов (без сыворотки)			Производство ЦМП, твердых сыров, плавленых сыров (без переработки сыворотки)		
	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.
ХПК, мгО ₂ /дм ³	3852	3306	4543	6932	5307	11113	3510	2040	5249	2664	1472	9610
Азот общий, мг/дм ³	87	64	115	80	52	114	65	33	105	88	67	116
Фосфор фосфатный, мг/дм ³	61	36	107	35	23	48	18	12	23	13	9	16
Фосфор общий, мг/дм ³	66	19	188	81	37	121	26	19	31	20	10	34
Хлорид-ион, мг/дм ³	604	82	2113	747	74	1725	120	35	234	158	70	411
Водородный показатель, ед. рН	7,5	5,9	11,0	5,7	4,3	11,3	6,8	4,6	9,8	7,4	6,6	9,4
Сухой остаток (минерализация), мг/дм ³	3740	500	9600	4378	1000	12200	1337	1234	1456	1387	200	2100
Взвешенные вещества, мг/дм ³	964	200	1500	944	300	1600	382	234	567	719	100	1900

Примечание. ¹ – высокие разовые концентрации хлорид-иона и сухого остатка (минерализации) связаны с переходом на следующий день после производства казеина, утренней санитарной обработки оборудования, участвовавшего в производстве казеина.

Из данных табл. 7–8 следует, что в суточном разрезе за счет постоянного смешения на территории предприятия разных потоков сточных вод и их неравномерности поступления в сети канализации, максимальные концентрации загрязняющих веществ ниже данных, приведенных по отдельным цехам в табл. 6. При этом снижение концентраций загрязняющих веществ даже наблюдается у предприятия, у которого на момент рекогносцировочного обследования фиксировался сброс сыворотки от сырцеа, – максимальная концентрация по хлорид-иону составила 17200 мг/дм³, в общем потоке сточных вод максимальная концентрация по хлорид-иону составила 1580 мг/дм³. Данный факт указывает, прежде всего, на необходимость обязательного усреднения сточных вод перед их отведением в централизованную сеть водоотведения (канализации) населенного пункта или на собственные очистные сооружения предприятия.

Дополнительно проведен анализ динамики изменений суточных концентраций загрязняющих веществ в сточных водах в общем потоке при близких объемах переработки молока и производства продукции. Сводные данные приведены в табл. 9.

Таблица 8

Качественный состав сточных вод в суточном разрезе при общем смешении

Table 8

Qualitative composition of wastewater in the daily context with general mixing

Наименование вещества (показателя)	Производство твердого сыра, масла, сыра плавленого, сухого молока и сухой сыворотки			Производство твердого сыра, масла, концентрированной сыворотки			Производство твердого сыра, масла, сухого молока и сыворотки концентрированной ¹			Производство сухого молока, творога, сывороточно-жирового концентрата		
	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.	средн.	мин.	макс.
ХПК, мгО ₂ /дм ³	3159	2227	4341	7866	3694	9870	3386	1854	4098	4665	3002	6344
Азот общий, мг/дм ³	101	78	138	214	154	315	456	296	600	152	96	250
Фосфор фосфатный, мг/дм ³	36	26	58	42	35	46	17,0	11,4	32,6	55	23	86
Фосфор общий, мг/дм ³	47	25	65	64	39	98	21	15	37	62	29	105
Хлорид-ион, мг/дм ³	283	205	513	4312	2580	6427	743	467	1580	173	63	298
Водородный показатель, ед. рН	7,6	6,7	8,9	5,2	4,1	7,4	7,8	4,8	10,3	8,1	6,6	10,5
Сухой остаток (минерализация), мг/дм ³	1600	500	2500	–	–	–	1466	990	2400	2733	1800	3800
Взвешенные вещества, мг/дм ³	743	300	1300	–	–	–	886	505	1400	1344	600	2800

Примечание. ¹ – качество с учетом сброса сыворотки при нарушении технологического цикла переработки сыворотки.

Таблица 9

Исходные данные по объему водопотребления, выпуску продукции, качеству сточных вод

Table 9

Initial data on the volume of water consumption, output, wastewater quality

№	Наименование и объем продукции, объем переработки молока в сутки	Объем водопотребления, м ³ /сут	Концентрация загрязняющего вещества среднесуточная)		
			ХПК, мгО ₂ /дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	азот общий, мг/дм ³
1	Переработано 146 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 22,3 т; кефир – 9 т; сметана – 2 т; творог – 3,5 т; масло – 4,0 т	192	4800	1290	88
2	Переработано 150 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 22 т; кефир – 6 т; сметана – 2,5 т; творог – 3,5 т; масло – 4,5 т	191	2300	680	45
3	Переработано 144 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 8 т; кефир – 6 т; сметана – 2 т; творог – 2,5 т	183	1040	603	30,7
4	Переработано 127 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 28 т; кефир – 9 т; сметана – 1,7 т; творог – 3 т	170	4420	1280	100
5	Переработано 140 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 17 т; кефир – 7 т; сметана – 2,5 т; творог – 3,6 т; масло – 4,7 т	190	4200	1105	43,9

№	Наименование и объем продукции, объем переработки молока в сутки	Объем водопотребления, м ³ /сут	Концентрация загрязняющего вещества среднесуточная)		
			ХПК, мгО ₂ /дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	азот общий, мг/дм ³
6	Переработано 142 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 21 т; кефир – 6,6 т; сметана – 1,4 т; творог – 3,6 т	160	4500	940	53,4
7	Переработано 143 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 25 т; кефир – 9 т; сметана – 2,5 т; творог – 2 т.	189	4640	970	90,6
8	Переработано 147 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 5 т; творог – 2 т.	129	2900	600	92,5
9	Переработано 141 т молока, в том числе изготовлено: молоко – 22 т; кефир – 7 т; сметана – 1,5 т; творог – 2 т.	144	3360	710	87,2

Приведенные данные указывают, что даже при равномерном ежедневном поступлении сырья, производстве продукции суточные концентрации загрязняющих веществ в общем колодце могут значительно отличаться: ХПК – от 1040 мгО₂/дм³ до 4800 мгО₂/дм³, азот общий – от 30 до 100 мг/дм³, что указывает на многофакторность условий формирования качественного состава сточных вод: качество исходного сырья; соотношение видов производимой продукции и ее номенклатуры.

На основании вышеизложенного следует, что на качественный состав сточных вод предприятий по производству молочных продуктов могут оказывать влияние факторы как ухудшающие, так и улучшающие качество сточных вод.

1. Качество поступающего сырья: при поступлении на предприятие несвежей сыворотки (закисленной) увеличивается показатель ХПК по отношению к низкому значению БПК₅; при поступлении молока с высокой долей механических и микробиологических примесей увеличивается количество осадка, сбрасываемого из сепаратора в канализацию (ухудшает качество).

2. Виды производимых продуктов в течение суток (ухудшает качество).

3. Технологии производства продукции (ухудшает качество).

4. Организация уровня возврата моющих средств при санитарных обработках (при циркуляции моющих – улучшает качество, при сбросе моющих – ухудшает качество).

5. Виды используемых моющих и дезинфицирующих средств (ухудшает качество).

6. Режимы санитарных обработок оборудования: в случае, если после мойки наблюдаются превышения по бак-анализу, оборудование автоматически включается на повторную мойку (улучшает качество).

7. Наличие мембранных установок по переработке молока, сыворотки (ухудшает качество).

Таким образом, с целью получения наиболее достоверной информации о качественном составе сточных вод предприятия по производству молочной продукции, необходимо проводить постоянный мониторинг качества сточных вод с учетом разных режимов производства продукции. И при наличии достаточно ряда статистических данных возможно более точно ежедневно прогнозировать качественный состав сточных вод в зависимости от видов поступающего сырья, производимой продукции.

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы по выявленным зависимостям:

1. При производстве сыров и переработке сыворотки норматив водоотведения всегда будет превышать норматив водопотребления. Разница между нормативом водоотведения и нормативом водопотребления зависит от содержания сухого вещества в концентрированной сыворотке: с увеличением доли сухого вещества возрастает объем пермеата (при использовании мембранных установок), вторичного пара (при использовании вакуум-выпарных установок), отводимых в сети канализации предприятия.

2. При производстве сыров и отсутствии переработки сыворотки (за счет ее отгрузки на иные предприятия), норматив водопотребления всегда будет превышать норматив водоотведения за счет отсутствия сброса пермеата и вторичного пара в сети канализации предприятия. Разница между нормативом водопотребления и нормативом водоотведения будет зависеть от величины потерь воды в технологических процессах.

3. При производстве сыров, переработке сыворотки и производстве цельномолочной продукции (ЦМП) нормативы водопользования напрямую зависят от производимых видов молочных продуктов: при производстве только ЦМП норматив водоотведения будет меньше норматива водопотребления; при

одновременном производстве сыров, ЦМП и переработке сыворотки норматив водоотведения будет всегда превышать норматив водопотребления, разница между нормативом водоотведения и нормативом водопотребления будет зависеть от количества варок сыра в сутки.

Проведенный анализ качественного состава сточных вод позволил выявить следующие закономерности:

- высокие концентрации ХПК характерны для сточных вод, формирующихся при производстве казеина, сухого молока и концентрированной сыворотки;
- высокие концентрации сухого остатка (минерализации) характерны для сточных вод, формирующихся при производстве сыра, плавленых сыров;
- высокие концентрации хлорид-иона характерны для сточных вод, формирующихся при производстве концентрированной сыворотки;
- величина pH смещается в сторону кислой среды при производстве творога, сухого молока и сыворотки, а в сторону щелочной среды – при производстве сухих молочных продуктов (без сыворотки), казеина, масла.

Полученные данные могут использоваться проектными организациями при составлении баланса водопотребления и водоотведения в составе проектной документации, подборе технологии очистки сточных вод при проектировании очистных сооружений сточных вод.

Заключение

Молочная промышленность активно развивающаяся отрасль экономики, характеризующаяся постоянными модернизациями, которые сопровождаются внедрением нового технологического оборудования и новых видов молочной продукции, изменением режимов водопотребления и водоотведения, качественного состава сточных вод. Проведенная детализация статей водопользования в совокупности с анализом технологических процессов производства продукции позволили сформировать режимы водопотребления и водоотведения, диапазоны концентраций загрязняющих веществ в составе сточных вод для дальнейшего прогнозирования водопользования в увязке с видами производимой продукции для предприятий молочной промышленности.

Библиографические ссылки

1. Захарко ПН. Моделирование водопользования для предприятий по производству молочных продуктов Беларуси. В: 6-й Международный молодежный конгресс устойчивое развитие: защита окружающей среды, энергосбережение, сбалансированное природопользование, Львов 9–10 февраля 2021 г. Львов: [б. и.]; 2021. с. 246.
2. Захарко ПН, Дубенок СА. Методика расчета водопользования для предприятий по производству молочных продуктов с учетом перерабатываемого сырья и производимой продукции. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2021;2:93–103.

References

1. Zakharko PN. *Modelirovaniye vodopol'zovaniya dlya predpriyatiy po proizvodstvu molochnykh produktov Belarusi* [Water use modeling for enterprises producing dairy products Belarus]. In: 6th International Youth Congress of Sustainable Development: Environmental Protection, Energy Saving, Balanced Nature Management, Lviv 2021 February 9–10. Lvov: [publisher unknown]; 2021. p. 246. Russian.
2. Zakharko PN, Dubenok SA. *Metodika rascheta vodopol'zovaniya dlya predpriyatiy po proizvodstvu molochnykh produktov s uchetom pererabatyvayemogo syr'ya i proizvodimoy produktsii* [Methodology for calculating water use for enterprises producing dairy products, taking into account processed raw materials and manufactured products]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2021;2:93–103. Russian.

Статья поступила в редколлегию 04.05.2022.
Received by editorial board 04.05.2022.