

УДК 628.179.2

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

А. П. СЕКИРИНА¹, В. М. МИСЮЧЕНКО¹

¹Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,
Белорусский государственный университет,
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

В исследовании представлен анализ водного баланса мясоперерабатывающих предприятий Республики Беларусь по отдельным стадиям технологического процесса на основании имеющегося опыта разработки индивидуальных технологических нормативов водопользования. Предприятия отбирались на основании объемов перерабатываемого сырья свыше 50000 т мяса птицы и 20000 т мяса КРС и свиней, находящиеся в разных регионах страны. Определено, что норматив водопотребления на технологически нужды при переработке мяса птицы выше, чем при производстве продукции из мяса сельскохозяйственных животных, при этом безвозвратное водопотребление предприятий первой группы достигает 80 %, а при переработке мяса крупного рогатого скота и свиней до 30 % от общего объема водопотребления. Установлено, что на всех стадиях технологического процесса в соответствии с санитарными нормами, предъявляемыми к предприятиям по переработке мяса различных направлений, используется вода питьевого качества. Пройдя любую из стадий технологического процесса, вода сбрасывается в сети канализации предприятия и далее сточные воды поступают на очистные сооружения предприятия или населенного пункта. На разных стадиях процесса вода имеет различный компонентный состав и концентрации загрязнений. Так, на стадиях убоя и обработки мяса она загрязняется различными химическими веществами, загрязнениями биологического происхождения (кровь, жиры) и патогенными микроорганизмами. Для системы оборотного водоснабжения предложено возвращать воду со стадии охлаждения готовой продукции, не имеющую контакта с продуктом (порядка 45 % от общего водопотребления на охлаждение продукции). Расчет внедрения оборотной системы водоснабжения для предприятия по производству продукции из мяса крупного рогатого скота свидетельствует, что на 16 % уменьшится водопотребление и на 22,3 % снизится объем сточных вод. При этом при переработке мяса птицы эти показатели значительно ниже – 0,7 % экономии воды питьевого качества и уменьшение объемов сточных вод на 1,52 %.

Ключевые слова: баланс водопотребления и водоотведения; нормативные требования; безвозвратные потери воды; оборотное водоснабжение; индивидуальные технологические нормативы водопользования.

Образец цитирования:

Секирина АП, Мисюченко ВМ. Анализ возможности внедрения систем оборотного водоснабжения на мясоперерабатывающих предприятиях. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2024;1:82–92.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-1-82-92>

For citation:

Sekirina AP, Misiuchenka VM. Analysis of the possibility of implementing recycling water supply systems in meat processing enterprises. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2023;4:82–92. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-1-82-92>

Авторы:

Александра Павловна Секирина – магистрант кафедры экологического мониторинга и менеджмента.
Виктория Мечеславовна Мисюченко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; доцент кафедры экологического мониторинга и менеджмента.

Authors:

Alexandra P. Sekirina, master's degree student at the department of the environmental monitoring and management.
s.sekirina@gmail.com
Viktoryia M. Misiuchenka, PhD (agriculture), docent; associate professor at the department of the environmental monitoring and management.
vi925@mail.ru

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF IMPLEMENTING RECYCLING WATER SUPPLY SYSTEMS IN MEAT PROCESSING ENTERPRISES

A. P. SEKIRINA^a, V. M. MISIUCHENKA^a

^aInternational Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,
23/1 Daihabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus
Corresponding author: A. P. Sekirina (s.sekirina@gmail.com)

The article presents an analysis of the water balance of meat processing enterprises of the Republic of Belarus at individual stages of the technological process based on the existing experience in developing individual technological standards for water use. Enterprises were selected based on the volume of processed raw materials, over 50,000 tons of poultry meat and 20,000 tons of cattle and pig meat, located in different regions of the Republic of Belarus. It has been determined that the water consumption standard for technological needs in the processing of poultry meat is higher than in the production of products from the meat of farm animals, while the irretrievable water consumption of enterprises of the first group reaches 80 %, and in the processing of cattle and pig meat up to 30 % of the total water consumption. It has been established that at all stages of the technological process, in accordance with the sanitary standards for meat processing enterprises of various types, drinking water is used. Having passed any of the stages of the technological process, the water is discharged into the enterprise's sewerage network and then the wastewater enters the treatment facilities of the enterprise or populated area. At different stages of the process, water has different component composition and concentrations of contaminants, for example, at the stages of slaughter and meat processing, it is contaminated with various chemicals, contaminants of biological origin (blood and fats) and pathogenic microorganisms. For the recycling water supply system, it is proposed to return water from the stage of cooling the finished product that does not have contact with the product (about 45 % of the total water consumption for cooling the product). Calculation of the implementation of a recycling water supply system for an enterprise producing cattle meat products showed that water consumption will decrease by 16 % and the volume of wastewater will decrease by 22.3 %. At the same time, when processing poultry meat, these figures are significantly lower – 0.7 % savings in drinking water quality and a reduction in wastewater volumes by 1.52 %.

Keywords: balance of water consumption and water disposal; regulatory requirements; irretrievable water losses; recycling water supply; individual technological standards for water use.

Введение

В соответствии со ст. 3 Водного Кодекса Республики Беларусь охрана и использование вод осуществляется на основе следующих принципов:

- рационального (устойчивого) использования водных ресурсов;
- приоритета использования подземных вод для питьевых нужд перед иным их использованием;
- комплексного использования водных ресурсов;
- предупреждения загрязнения, засорения вод;
- платности водопользования;
- возмещения вреда, причиненного водным объектам и т. д.¹

В настоящий момент предприятиями мясоперерабатывающей отрасли Республики Беларусь на технологические нужды (в соответствии с санитарными требованиями) используется вода питьевого качества. При проведении работ по расчету индивидуальных технологических нормативов водопользования, выполненных в соответствии с действующими нормативными правовыми актами Республики Беларусь, для нескольких предприятий мясоперерабатывающего комплекса выявлено, что, пройдя любую из стадий технологического процесса, вода отводится в сети канализации и используется нерационально. Поэтому весьма актуальна проработка вопроса о возможности использования оборотного или повторного водоснабжения на предприятиях этого комплекса.

В технологическом процессе мясоперерабатывающих предприятий вода расходуется на мойку производственных помещений, оборудования, тары и инвентаря, мойку и обработку туш, приготовление рецептурных смесей, приготовление продукции (варка, копчение), охлаждение продукции, размораживание и замораживание сырья и продукции, предубойное содержание сельскохозяйственных животных, выращивание птицы, приготовление дезинфицирующих растворов, вспомогательные производственные нужды (нужды лаборатории, котельной и т. п.).

¹Водный Кодекс Республики Беларусь: Кодекс Республики Беларусь от 30.04.2014 № 149-3 (с изменениями от 22.07.2023) // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2014. № 2/2147.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования стали водные балансы мясоперерабатывающих предприятий Республики Беларусь, на основании которых были выявлены стадии технологического процесса, для которых возможно использование оборотного водоснабжения в будущем при разработке проектов строительства новых предприятий или модернизации существующих производств. Предприятия отбирались на основании объемов перерабатываемого сырья свыше 50 000 т мяса птицы и 20 000 т мяса КРС и свиней, находящиеся в разных регионах Республики Беларусь.

Исследования проводились на основании выполненных работ по расчету индивидуальных технологических нормативов водопользования в соответствии с ТКП 17.02-13/1-2015 «Правила расчета технологических нормативов. Часть 1. Основные положения. Правила расчета технологических нормативов водопотребления и водоотведения», а с 01.03.2023 – ЭкоНиП 17.06.04-004-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета технологических нормативов водопользования» и постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 4 мая 2015 г. № 21 «О некоторых вопросах разработки технологических нормативов водопользования» для нескольких предприятий мясоперерабатывающего комплекса».

Результаты исследования и их обсуждение

На основании выполненных расчетов индивидуальных технологических нормативов водопользования для мясоперерабатывающих предприятий можно сделать вывод, что объемы, расходуемые на технологические нужды, отличаются для производства продукции из мяса птицы и мяса сельскохозяйственных животных. Усредненные данные по предприятиям обоих направлений представлены на рис. 1 и 2.

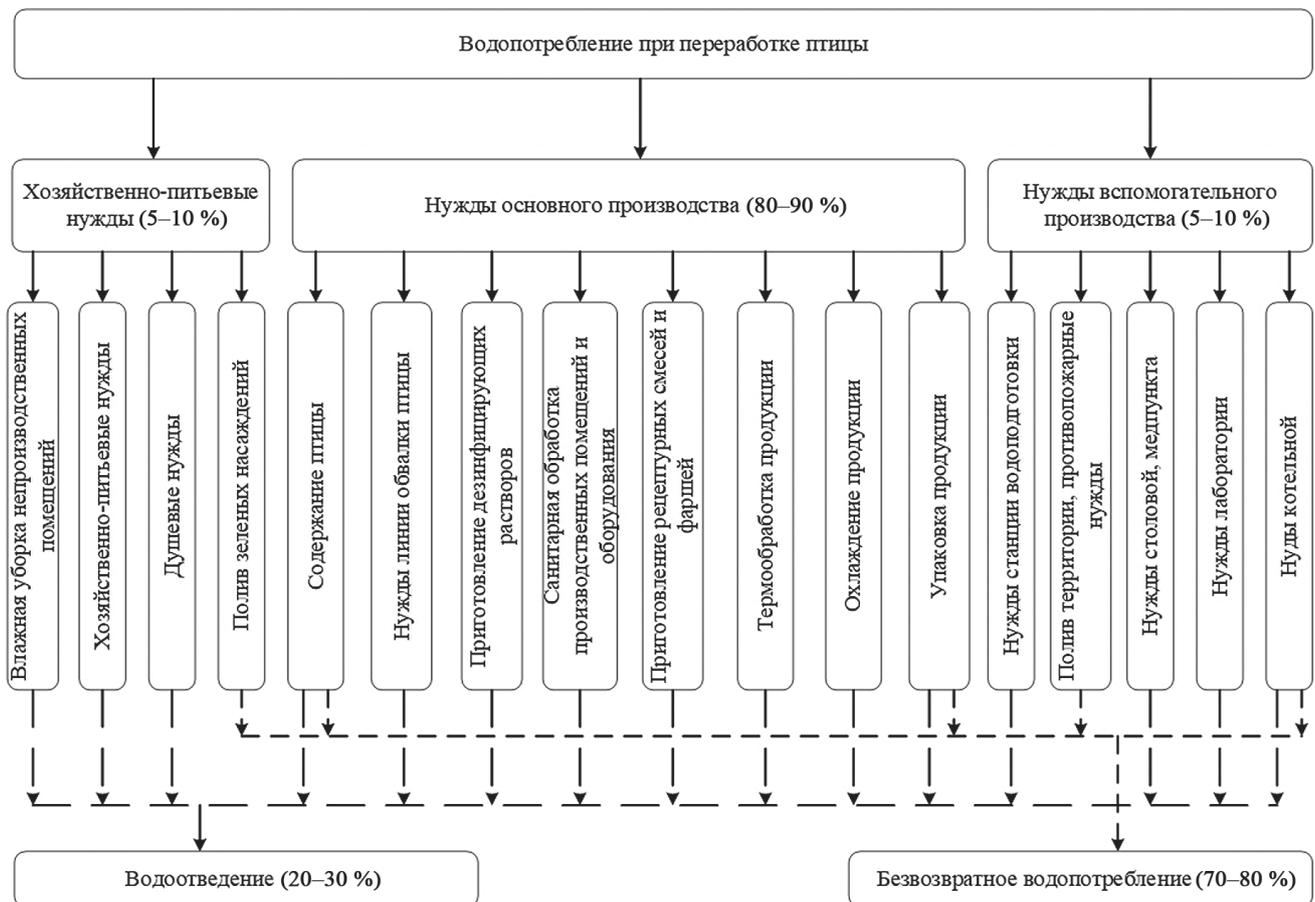


Рис. 1. Баланс водопотребления и водоотведения предприятия по переработке мяса птицы

Fig. 1. Balance of water consumption and sanitation of poultry meat processing enterprises

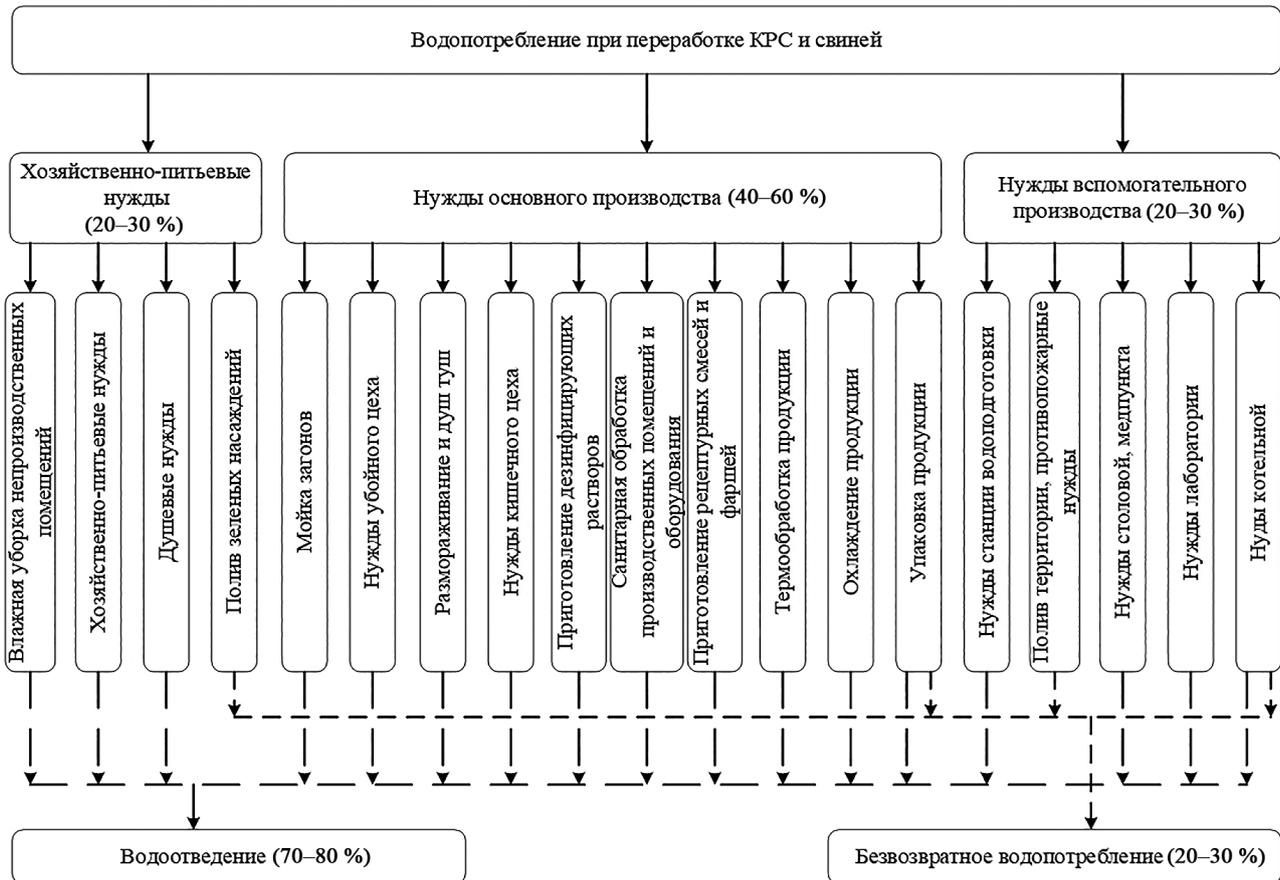


Рис. 2. Баланс водопотребления и водоотведения предприятия по переработке мяса крупного рогатого скота и свиней

Fig. 2. Balance of water consumption and sanitation of cattle and pig meat processing enterprises

На представленных схемах видно, что из общего объема водопотребления предприятия доля воды, расходуемой на технологические нужды при переработке мяса птицы, практически в 2 раза выше, чем при производстве продукции из мяса крупного рогатого скота (далее – КРС) и свиней. При этом доля безвозвратных потерь при производстве продукции из мяса птицы выше более чем в 2 раза. Это обусловлено тем, что большая часть воды расходуется на выращивание и содержание птицы. При производственной мощности птичников 2 045 000 голов (среднее значение по выполненным расчетам для крупных предприятий данного направления) водопотребление на содержание птицы составит:

$$W = \frac{n * N * T}{1000000} = \frac{1 * 2045000 * 365}{1000000} = 677,075 \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n – проектная норма водопотребления для кур, 1 л/сут. на одну птицу (согласно табл. А.3 СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»)²;

N – поголовье птицы, головы;

T – количество рабочего времени птичников, в сутках за календарный год;

1 000 000 – переводной коэффициент.

В отличие от переработки птицы, при производстве продукции из мяса КРС и свиней сельскохозяйственные животные содержатся в загонах не более 18 ч, либо сырье приходит замороженным. При предубойном содержании сельскохозяйственных животных водопотребление составит (при среднем поголовье 400 голов КРС и 1 200 голов свиней):

$$W = \frac{n * N * T}{1000000} = \frac{30 * 400 * 365 + 15 * 200 * 365}{1000000} = 10,95 \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n – проектная норма водопотребления для КРС 30 л/сут. на одну голову и для свиней 15 л/сут. на одну голову (согласно табл. А.3 СН 4.01.01-2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»);

N – поголовье сельскохозяйственных животных, головы;

T – количество рабочего времени птичников, в сутках за календарный год;

1 000 000 – переводной коэффициент.

²СН 4.01.01-2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Введ. РБ 31.10.2-19. Минск: Стройтехнорм, 2020. 69 с.

Безвозвратное водопотребление в обоих случаях составляет 85 %.

Дальнейшая переработка включает в себя стадии убоя, обескровливания и разделки (обвалки) туш в случае переработки КРС и свиней; при переработке птицы на первом этапе переработки можно выделить стадии убоя, ошпаривания, удаления пера, потрошение и обвалку. Расход воды на эти процессы зависит от линии, установленной на предприятии, используется ли при производстве работ ручной труд и очень разнится на предприятиях одного направления.

Водопотребление на эти стадии зависит от времени работы оборудования и расхода воды, необходимого для работы этого оборудования. При использовании ручного труда в расчете учитывается расход воды на точке подачи воды и время ее работы.

Расход воды можно выразить формулой:

$$W = \frac{n * N * T}{1000}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n – норма расхода воды единицей оборудования, м³/час, расход воды на точке подачи воды, м³/час;

N – количество единиц данного оборудования, шт., точек подачи воды, шт.;

T – время работы оборудования, точек подачи воды, в часах за календарный год;

1000 – переводной коэффициент.

На следующей стадии – изготовлении мясной продукции – вода расходуется на приготовление рецептурных смесей фаршей. Вода может добавляться в смесь в чистом виде или в виде дробленого льда. Водопотребление на эту стадию можно рассчитать по формуле:

$$W = \frac{n * N}{1000}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n – норма расхода воды согласно рецептуре на t готовой продукции, м³/т;

N – количество выпускаемой продукции в год, т;

1000 – переводной коэффициент.

Анализируя формулу можно сделать вывод, что расход воды на приготовление рецептурных смесей так же будет отличаться и зависеть от ассортимента и объема выпускаемой продукции.

Термообработка продукции происходит в камерах копчения, в которых предусмотрены режимы варки, копчения и смешанный режим. При режиме варки и смешанном режиме в «рубашку» аппарата подается пар, который при расчете учитывается как вода, расход пара в аппарате регулируется автоматически в зависимости от используемой программы. Соответственно водопотребление на термообработку продукции можно определить по формуле:

$$W = \frac{n_1 * T_1 + n_2 * T_2}{1000}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n_1, n_2 – норма расхода воды единицей оборудования на заданную программу, м³/час;

T_1, T_2 – время работы оборудования по данной программе, в часах за календарный год;

1000 – переводной коэффициент.

Охлаждение готовой продукции происходит в камерах охлаждения, где предусмотрены режимы охлаждения водным душем, охлаждение воздухом и смешанный. При режиме охлаждения воздухом и смешанном режиме в «рубашку» аппарата подается вода, которая охлаждает воздух в аппарате, расход воды регулируется автоматически для поддержания нужной температуры. Водопотребление на охлаждение продукции можно определить по формуле:

$$W = \frac{n_1 * T_1 + n_2 * T_2}{1000}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где n_1, n_2 – норма расхода воды в «рубашке» камеры и расход воды в форсунках для охлаждения водным душем, м³/час;

T_1, T_2 – время работы оборудования в режиме холодного воздуха и водяного душа, в часах за календарный год;

1000 – переводной коэффициент.

Водопотребление на упаковку продукции расходуется на термоусадку пленки и зависит от модели оборудования. Расход воды на аппарат определяется на основании его объема, учитывая процент потерь воды, которая выносится с упаковкой. Обычно вода в оборудовании меняется каждую смену. Водопотребление можно рассчитать по формуле:

$$W = \frac{V * N * n * T + 0,05 * V * N * \tau * n * T}{1000}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где V – объем воды в аппарате, м³;

N – количество единиц оборудования, шт.;

n – количество смен работы в сутки, смен;
 T – количество рабочего времени в сутках за календарный год;
 $0,05$ – коэффициент, учитывающий потери воды из аппарата;
 τ – время работы оборудования в смену, час/смену;
 1000 – переводной коэффициент.

Расчеты водопотребления на мойку производственных помещений, вспомогательные нужды производства, хозяйственно-питьевые нужды представлены в ЭкоНиП 17.06.04-004-2022 «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидросфера. Правила расчета технологических нормативов водопользования»³.

На основании выполненных расчетов для предприятия по переработке мяса индивидуальный технологический норматив водопотребления составляет:

$$N_1^B = \frac{W_{\text{пр1}}}{P},$$

где W – расход воды на производство продукции, м³/год;
 P – объем переработанного мяса птицы, т/год –

$$N_1^B = \frac{1142781}{76376,3} = 14,96 \text{ м}^3/\text{т мяса птицы.}$$

Индивидуальный технологический норматив водоотведения составит:

$$N_1^C = \frac{S_{\text{пр1}}}{P} = \frac{478082}{76376,3} = 6,26 \text{ м}^3/\text{т мяса птицы.}$$

Для предприятия по переработке мяса КРС и свиней индивидуальный технологический норматив водопотребления:

$$N_1^B = \frac{163700}{20408,65} = 8,02 \text{ м}^3/\text{т мяса.}$$

Индивидуальный технологический норматив водоотведения составит:

$$N_1^C = \frac{S_{\text{пр1}}}{P} = \frac{137704}{20408,65} = 6,75 \text{ м}^3/\text{т мяса.}$$

В качестве примера результатов расчетов водного баланса предприятий в зависимости от направления переработки мяса, можно привести данные (табл. 1 и 2).

Таблица 1

**Баланс водопотребления и водоотведения предприятия
по переработке мяса птицы производственной мощностью 76376,3 т мяса в год**

Table 1

Balance of water consumption and sanitation of poultry meat processing enterprises

| Назначение водопотребления | Объем водопотребления | | Объем водоотведения, м ³ | | Безвозвратные потери, м ³ | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ |
| Хозяйственно-питьевые нужды | | | | | | |
| Хозяйственно-питьевые нужды | 41,800 | 15,257 | 41,800 | 15,257 | | |
| Душевые нужды | 195,000 | 71,175 | 195,000 | 71,175 | | |
| Полив территории | 134,575 | 49,120 | | | 134,575 | 49,120 |
| Нужды медпункта | 0,162 | 0,059 | 0,162 | 0,059 | | |
| Нужды бассейна | 6,247 | 2,280 | 1,973 | 0,720 | 4,274 | 1,560 |
| Итого | 377,784 | 137,891 | 238,935 | 87,211 | 138,849 | 50,680 |

³Об утверждении экологических норм и правил: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 30.11.2022 № 26-Г (с изменениями от 15.02.2024). Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2023. № 8/39331.

Окончание табл. 1

Ending Table 1

| Назначение водопотребления | Объем водопотребления | | Объем водоотведения, м ³ | | Безвозвратные потери, м ³ | |
|---|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ |
| Технологические нужды | | | | | | |
| Производственные нужды | | | | | | |
| Содержание птицы | 1855 | 677,075 | 40,301 | 14,71 | 1814,699 | 662,365 |
| Приготовление рецептурных смесей | 6,112 | 2,231 | | | 6,112 | 2,231 |
| Охлаждение продукции | 66,392 | 24,233 | 66,392 | 24,233 | | |
| Участок приготовления моющих средств и дезрастворов | 0,584 | 0,213 | 0,301 | 0,11 | 0,282 | 0,103 |
| Мойка оборудования, помещений и инвентаря | 112,003 | 40,881 | 112,003 | 40,881 | | |
| Цех убоя | 1090,816 | 398,148 | 1090,816 | 398,148 | | |
| Итого | 3130,907 | 1142,781 | 1309,813 | 478,082 | 1821,093 | 664,699 |
| Вспомогательные нужды | | | | | | |
| Нужды лаборатории | 16,934 | 6,181 | 16,934 | 6,181 | | |
| Нужды котельной | 46,959 | 17,14 | 32,408 | 11,829 | 14,551 | 5,311 |
| Заправка дезбарьеров | 31,485 | 11,492 | | | 31,485 | 11,492 |
| Нужды столовой | 8,548 | 3,120 | 8,548 | 3,120 | | |
| Нужды прачечной | 350,734 | 128,018 | 350,734 | 128,018 | | |
| Итого | 454,66 | 165,951 | 408,624 | 149,148 | 46,036 | 16,803 |
| Всего | 3963,351 | 1446,623 | 1957,372 | 714,441 | 2005,978 | 732,182 |

Таблица 2

Баланс водопотребления и водоотведения предприятия по переработке мяса КРС и свиней производственной мощностью 20408,65 т мяса в год

Table 2

Balance of water consumption and sanitation of cattle and pig meat processing enterprises

| Назначение водопотребления | Объем водопотребления | | Объем водоотведения, м ³ | | Безвозвратные потери, м ³ | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ |
| Хозяйственно-питьевые нужды | | | | | | |
| Хозяйственно-питьевые нужды | 8,444 | 3,082 | 8,444 | 3,082 | | |
| Душевые нужды | 54,000 | 19,710 | 54,000 | 19,710 | | |
| Полив территории | 52,162 | 19,039 | | | 52,162 | 19,039 |
| Нужды медпункта | 0,093 | 0,034 | 0,093 | 0,034 | | |
| Итого | 114,699 | 41,865 | 62,537 | 22,826 | 52,162 | 19,039 |

| Назначение водопотребления | Объем водопотребления | | Объем водоотведения, м ³ | | Безвозвратные потери, м ³ | |
|---|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ | в сутки, м ³ | в год, тыс. м ³ |
| Технологические нужды | | | | | | |
| Производственные нужды | | | | | | |
| Предубойное содержание животных | 30 | 10,950 | | | 30 | 10,95 |
| Приготовление рецептурных смесей | 41,222 | 15,046 | | | 41,222 | 15,046 |
| Охлаждение продукции | 318,301 | 116,18 | 318,301 | 116,18 | | |
| Подготовка натуральной оболочки | 1,203 | 0,439 | 1,203 | 0,439 | | |
| Термоусадка пленки при упаковке продукции | 0,419 | 0,153 | 0,419 | 0,153 | | |
| Санитарная обработка технологического оборудования и производственных помещений | 56,701 | 20,696 | 56,701 | 20,696 | | |
| Приготовление дезинфицирующих растворов | 0,647 | 0,236 | 0,647 | 0,236 | | |
| Итого | 448,493 | 163,700 | 377,271 | 137,704 | 71,222 | 25,996 |
| Вспомогательные нужды | | | | | | |
| Нужды лаборатории | 25,753 | 9,4 | 25,753 | 9,4 | | |
| Нужды котельной | 178,896 | 65,297 | 29,077 | 10,613 | 149,819 | 54,684 |
| Нужды котельной (конденсат)* | | | 1,679 | 0,613 | | |
| Нужды столовой | 4,688 | 1,711 | 4,688 | 1,711 | | |
| Нужды прачечной | 4,000 | 1,460 | 4,000 | 1,460 | | |
| Противопожарные нужды | 0,005 | 0,002 | | | 0,005 | 0,002 |
| Нужды станции обезжелезивания | 70,411 | 25,7 | 70,411 | 25,7 | | |
| Нужды очистных сооружений | 65,693 | 23,978 | 65,693 | 23,978 | | |
| Итого | 349,446 | 127,548 | 201,301 | 73,475 | 149,824 | 54,686 |
| Всего | 912,638 | 333,113 | 639,430 | 233,392 | 273,208 | 99,721 |

На всех стадиях технологического процесса используется вода питьевого качества. На стадиях убой и обработки мяса вода загрязняется кровью и жиром. После мойки и дезинфекции оборудования к вышеупомянутым загрязнениям добавляются растворы кислот и щелочей, а также поверхностно активные вещества. В процессе первичной обработки мяса в воду попадают и патогенные микроорганизмы. В настоящее время проведены исследования содержания патогенных микроорганизмов в сточных водах предприятий рассматриваемого направления, разработаны биотесты для определения токсичности этой микрофлоры [1; 2].

В табл. 3 представлены сведения о концентрациях химических и иных веществ в составе сточных вод предприятий по переработке мяса, попадающих на очистные сооружения от всех стадий технологического процесса и хозяйственно-питьевых нужд работающих, а также требования к показателям на выпуске в поверхностный водный объект и в сети канализации населенного пункта.

Очистка сточных вод, содержащих такие концентрации загрязнений, до показателей качества питьевой воды предполагает наличие многостадийной системы очистки воды, включающей стадии механической и биологической очистки, а также применение обеззараживания воды. В настоящий момент на предприятии по переработке мяса птицы эксплуатируются очистные сооружения, обеспечивающие очистку сточных вод до нормируемых показателей на выпуске в поверхностный водный объект. Предприятию, выпускающему продукцию из мяса КРС и свиней, сбрасывает сточные воды на поля фильтрации.

Организация системы повторного или оборотного водоснабжения целесообразна, когда затраты на очистку воды, возвращаемой в процесс, ниже суммарных затрат на водоподготовку и очистку сточной воды до нормативных показателей, позволяющих сбрасывать ее в водные объекты или системы канализации населенного пункта.

Сведения о концентрациях загрязнений на каждой стадии технологического процесса отсутствуют – перед предприятиями не стоит такой задачи. Целесообразно в систему оборотного или повторного водоснабжения возвращать воду, прошедшую технологический процесс, которая не имела контакта с продуктом. Например, от охлаждения готовой продукции (вода, которая проходит по «рубашке» аппарата для охлаждения воздуха в камере). Такая вода не меняет своего качественного состава и может быть использована на этой же стадии. При проведении расчетов водопотребления предприятий выяснилось, что расход воды, не имеющей контакта с продуктом, составляет 45 % от общего водопотребления на охлаждение продукции.

Таблица 3

Концентрации химических и иных веществ в составе сточных вод мясоперерабатывающих предприятий, требования к качеству сточных вод на выпуске в поверхностный водный объект и сети канализации населенного пункта, а также к качеству питьевой воды

Table 3

Concentrations of chemicals and other substances in wastewater from meat processing plants, requirements for the quality of wastewater at the outlet to the surface water body and sewerage network of the settlement, as well as for the quality of drinking water

| Наименование показателя | Размерность | Значения на входе на очистные сооружения | Требования на выпуске в поверхностный водный объект ⁴ | Требования на выпуске в канализацию населенного пункта ⁵ | Требования к качеству питьевой воды ⁶ | |
|-------------------------|----------------------------------|--|--|--|--|-----|
| рН | ед. рН | 7 | 6,5–8,5 | 6,5–8,5 | 6–9 | |
| Взвешенные вещества | мг/м ³ | 600 | 35 | Согласно утвержденной в установленном порядке проектной документации, техническим регламентам эксплуатации очистных сооружений | н/у | |
| БПК ₅ | мгО ₂ /м ³ | 830 | 25 | | н/у | |
| Хлорид-ион | мг/м ³ | 164 | 300 | | 350 | |
| Сульфат-ион | мг/м ³ | 60 | 100 | | 500 | |
| Минерализация | мг/м ³ | 900 | 1000 | | 1000 | |
| ХПК _{Cr} | мгО ₂ /м ³ | 3700 | 120 | | 5 | |
| СПАВ | мг/м ³ | 0,5 | 0,1 | | 0,5 | |
| Азот общий | мг/м ³ | 60 | 25 | | н/у | |
| Фосфор общий | мг/м ³ | 30 | 3 | | 10 | н/у |
| Нефтепродукты | мг/м ³ | 1,2 | 0,05 | | 1,2 | 0,1 |
| Аммоний ион | мгN/м ³ | 42 | 10 | 35 | н/у | |

⁴О нормативах допустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 26.05. 2017 № 16. Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2017. № 8/32141.

⁵Об утверждении Правил пользования централизованными системами водоснабжения, водоотведения (канализации) в населенных пунктах: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30.09.2016 № 788 (с изменениями от 19.11.2020). Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. 2016. № 5/42720.

⁶СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества Санитарные правила и нормы: введ. 19.10.1999 (с изменениями от 14.12.2007) [Электронный ресурс]. URL: <https://bii.by/tx.dll?d=244663&f=%F1%E0%ED%EF%E8%ED+124#f> (дата обращения: 29.02.2024).

Таким образом, для предприятий по переработке птицы (табл. 1) экономия воды составит

$$\mathcal{E}_d = \frac{0,45 * W_{\text{охл}}}{W_{\text{общ}}} * 100 = \frac{0,45 * 24,233}{1446,623} * 100 = 0,7 \%$$

При этом объем сточных вод уменьшится на

$$\mathcal{E}_{\text{св}} = \frac{0,45 * W_{\text{охл}}}{W_{\text{общ св}}} * 100 = \frac{0,45 * 24,233}{714,441} * 100 = 1,52 \%$$

Для предприятий по переработке мяса КРС и свиней:

$$\mathcal{E}_d = \frac{0,45 * W_{\text{охл}}}{W_{\text{общ}}} * 100 = \frac{0,45 * 116,18}{322,163} * 100 = 16,2 \%$$

$$\mathcal{E}_{\text{св}} = \frac{0,45 * W_{\text{охл}}}{W_{\text{общ св}}} * 100 = \frac{0,45 * 116,18}{234,005} * 100 = 22,3 \%$$

где \mathcal{E}_d – экономия при добыче воды, %;

$\mathcal{E}_{\text{св}}$ – экономия при сбросе сточных вод, %;

$W_{\text{охл}}$ – расход воды на охлаждение продукции, м³/год;

$W_{\text{общ}}$ – общее водопотребление предприятия, м³/год;

$W_{\text{общ св}}$ – общее водоотведение предприятия, м³/год.

На основании полученных расчетов можно сделать вывод, что на взятом для примера предприятии по переработке мяса КРС и свиней имеет смысл внедрение оборотной системы водоснабжения для охлаждающей воды, так как на 16 % уменьшится водопотребление и на 22,3 % – объем сточных вод. Это подтверждается исследованиями различных авторов [3; 4].

По мнению авторов [5], оборотные или последовательные системы водного хозяйства следует вводить на вновь строящихся, действующих и подлежащих реконструкции предприятиях, поскольку внедрение системы требует остановки производства и капитальных затрат.

Заключение

На основании нормативных документов Республики Беларусь и опыта работы на предприятиях мясоперерабатывающей промышленности выполнен анализ их водного баланса.

1. Установлено, что безвозвратное водопотребление на предприятиях по производству мяса птицы достигает 80 %, в то время как на предприятиях по производству мяса крупного рогатого скота и свиней 40–60 %.

2. Определено, что из общего объема водопотребления предприятия доля воды, расходуемой на технологические нужды при переработке мяса птицы, практически в 2 раза выше, чем при производстве продукции из мяса крупного рогатого скота и свиней. При этом и доля безвозвратных потерь при производстве продукции из мяса птицы выше более чем в 2 раза, что обусловлено большими расходами воды на выращивание и содержание птицы.

3. Все предприятия мясоперерабатывающей промышленности используют воду питьевого качества, которая на стадиях убой и обработки мяса загрязняется различными химическими веществами и патогенными микроорганизмами со значительными превышениями концентраций по сбросу в городские канализационные сети.

4. Для системы оборотного водоснабжения предложено возвращать воду (порядка 45 % от общего водопотребления на охлаждение продукции) после использования в техпроцессе до стадии контакта с готовым продуктом. Расчет внедрения оборотной системы водоснабжения для предприятия по производству мяса крупного рогатого скота показал, что на 16 % уменьшится водопотребление и на 22,3 % снизится объем сточных вод.

5. На основании анализа водного баланса предприятий по переработке мяса в Республике Беларусь выявлено, что внедрение систем оборотного или повторного водоснабжения возможно, но требует значительных финансовых вложений.

6. Оборотные или последовательные системы водного хозяйства следует вводить на вновь строящихся или действующих и подлежащих реконструкции предприятиях. В последнем случае внедрение таких систем идет поэтапно, с постоянным увеличением оборотного водоснабжения по мере усовершенствования технологии без загрязнения последних.

Библиографические ссылки

1. Ivanchenko O, Khabibullin R, Le Huong T, Balanov P, Smotraeva I. Toxicity assessment of meat-processing wastewater. E3S Web of Conferences (ICEPP-2020). 2020;161:01044. Doi: 10.1051/e3sconf/202016101044.
2. Мурашов ИД, Хуранов АБ, Пирогова ОМ. Очистка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. В: Актуальные вопросы современной науки и практики. Материалы 12-ой Международной научно-практической конференции, Уфа, 16 мая 2023 г. Уфа: Научно-издательский центр «Вестник науки»; 2023. с. 53–65.
3. Мещерякова ГВ, Погудина ОП. Возможность внедрение оборотного водоснабжения на мясоперерабатывающих предприятиях. В: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции аспирантов и студентов. Югра: Национальный исследовательский Томский политехнический университет; 2015. с. 335–337.
4. Bailone RL, Borra RC, Fukushima HC, Aguiar LK. Water reuse in the food industry. *Discover Food*. 2022;2:25–42.
5. Warnecke M, Farrugia T, Ferguson C. Review of abattoir water usage reduction, recycling and reuse. *Meat & Livestock: Australia Limited Locked Bag*; 2008. p. 28–31.

References

1. Ivanchenko O, Khabibullin R, Le Huong T, Balanov P, Smotraeva I. Toxicity assessment of meat-processing wastewater. E3S Web of Conferences (ICEPP-2020). 2020;161:01044. Doi: 10.1051/e3sconf/202016101044.
2. Murashov ID, Khuranov AB, Pirogova OM. *Ochistka stochnykh vod myasopererabatyvayushchikh predpriyatii* [Wastewater treatment of meat processing plants]. In: *Aktual'nye voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Materialy 12-oy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoy konferencii. Ufa, 2023 May 16*. Ufa: Research and Publishing Center «Bulletin of Science»; 2023. p. 53–65. Russian.
3. Meshcheryakova GV, Pogudina OP. *Vozmozhnost' vnedrenie oborotnogo vodosnabzheniya na myasopererabatyvayushchikh predpriyatiyakh* [Possibility of introducing recycled water supply at meat processing enterprises]. In: *Ekologiya i bezopasnost' v tekhnosfere: sovremennye problemy i puti resheniya: sbornik trudov Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii aspirantov i studentov*. Ugra: National Research Tomsk Polytechnic University; 2015. p. 335–337. Russian.
4. Bailone RL, Borra RC, Fukushima HC, Aguiar LK. Water reuse in the food industry. *Discover Food*. 2022;2:25–42.
5. Warnecke M, Farrugia T, Ferguson C. Review of abattoir water usage reduction, recycling and reuse. *Meat & Livestock: Australia Limited Locked Bag*; 2008. p. 28–31.

Статья поступила в редколлегию 05.03.2024.
Received by editorial board 05.03.2024.