

ренции, Брест, 26 сент. 2019 г. / редкол.: С. Г. Белов [и др.]. – Брест : БрГТУ, 2019. – С. 74–76.

20. Акулич, Т. И. Эффективность схем биологического удаления фосфора и нитри-денитрификации на действующих азротенках / Т. И. Акулич, С. В. Андреюк, А. И. Морозова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – С. 422–425.

УДК 628.35

СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ С РАЗРАБОТКОЙ ОХЛАЖДАЮЩИХ ОБОРОТНЫХ СХЕМ

С. В. Андреюк, В. В. Литвинюк

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
a_asv75@mail.ru

Аннотация

В составе инженерных коммуникаций каждого промышленного предприятия имеется комплекс сетей и сооружений водного хозяйства, с помощью которых осуществляется использование природных водных ресурсов. В зависимости от вида технологического процесса тот или иной вид водопользования может быть преобладающим. Использование воды для водяного охлаждения по масштабам значительно превосходит все остальные виды водопотребления, причем удельный вес этой категории в общем объеме водного хозяйства промышленных предприятий продолжает расти. Работа посвящена исследованию и разработке охлаждающих оборотных схем предприятий в области машиностроения и пищевой промышленности. Проведен анализ публикаций и достижений по теме исследования. Отражены проблемы охраны окружающей среды и рационального водопользования.

Ключевые слова: охлаждение, оборотные схемы, водное хозяйство, промышленные предприятия, водоснабжение.

WATER SUPPLY SYSTEMS FOR ENTERPRISES WITH TURNOVER AFTER COOLING

S. V. Andreyuk, V. V. Litvinyuk

Abstract

As part of the engineering communications of each industrial enterprise, there is a complex of networks and structures of water management, with the help of which the use of natural water resources is carried out. Depending on the type of technological process, this or that type of water use may be predominant. The use of water for water cooling in terms of scale significantly exceeds all other types of water consumption, and the share of this category in the total volume of water management of industrial enterprises continues to grow. The work is devoted to the research and development of cooling circulating circuits of enterprises in the field of mechanical engineer-

ing and the food industry. The problems of environmental protection and rational water use are reflected.

Keywords: cooling, circulating circuits, water management, industrial plants, water supply.

Введение. Обеспечение водой промышленных предприятий является одной из важных народнохозяйственных задач. В зависимости от вида производства тот или иной вид водопользования может быть преобладающим. В подавляющем большинстве отраслей промышленности вода используется в *технологических процессах* производства: для охлаждения, промывки, замочки, увлажнения, парообразования, гидротранспорта, изготовления продукции и т.д. [1]. Использование воды для охлаждения по масштабам значительно превосходит все остальные виды потребления, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти [2].

Поверхностные водные ресурсы Республики Беларусь представлены в республике главным образом речным стоком, который в средние по водности годы составляет 57,9 км³. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92,4 км³ в год, а в маловодные (95% обеспеченности) снижается до 37,2 км³ в год [3]. С 2013 года в республике прослеживается тенденция к снижению объемов добычи воды из природных источников. Наибольшее сокращение характерно для забора поверхностных вод, за счет которых в основном обеспечиваются нужды промышленности и теплоэнергетики. В то же время, в последние годы прослеживается тенденция увеличения процента использования воды природных источников в системах оборотного водоснабжения (рисунок 1).

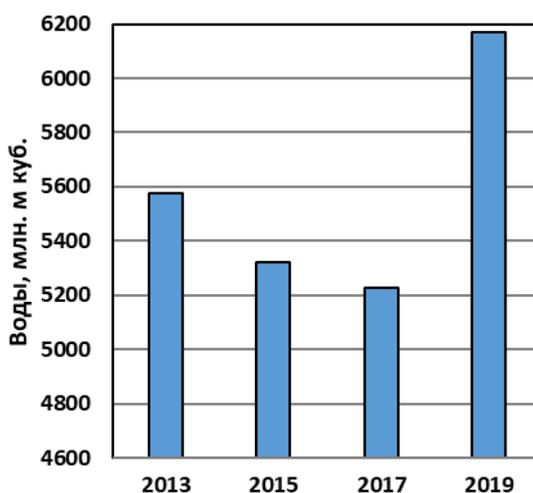


Рисунок 1 – Расход воды в системах оборотного водоснабжения РБ

На предприятиях в области машиностроения система оборотного водоснабжения дает возможность довести экономию потребления исходной (из источника водоснабжения) воды до 90%, особенно в процессах гальванизации металлов. При этом вода используется повторно как для приготовления электролитных растворов, так и для промывки деталей. На предприятиях пищевой промышленности очищенную воду можно задействовать для промывания полуфабрикатов, а также в системах охлаждения как теплоноситель.

На кафедре водоснабжения, водоотведения, и охраны водных ресурсов БрГТУ в рамках дипломного проектирования решаются вопросы, связанные с оптимизацией, реконструкцией, техническим перевооружением систем коммунального и производственного водоснабжения, в том числе на базе реальных проектов. Такой опыт включает в себя исследование охлаждающих оборотных схем в системах производственного водоснабжения промышленных предприятий: машиностроительной компании ОАО «Брестмаш», предприятий мясной и молочной промышленности ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ».

Разработка охлаждающей схемы включает в себя проектирование сетей и сооружений для сбора нагретой и отвода охлажденной воды, выбор охлаждающего устройства, подбор насосного оборудования с учетом действующих ТНПА [4, 5].

Выбор типа охладителя производится путем технико-экономического сравнения вариантов, с учетом показателей работы снабжаемого водой оборудования и требований технологических процессов промпредприятий, требований к температуре охлаждающей воды. В системах оборотного водоснабжения широко принимаются вентиляторные градирни, которые обеспечивают глубокое и устойчивое охлаждение воды.

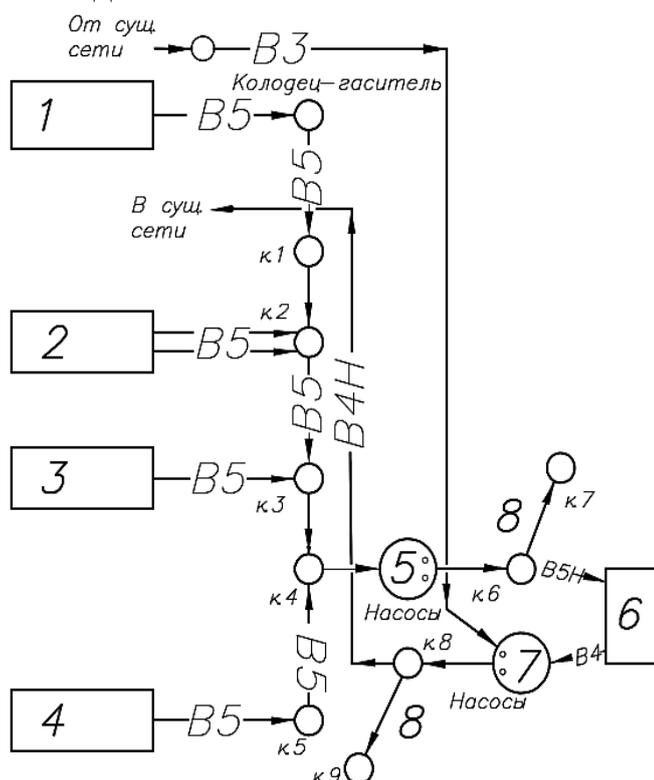


Рисунок 2 – Технологическая схема сетей и сооружений оборотного водоснабжения ОАО «Брестмаш»:

1–4 – цеха-водопользователи; 5, 7 – резервуары нагретой и охлажденной воды с насосным оборудованием; 6 – градирня; 8 – мокрый колодец

На рисунке 2 представлен опыт реконструкции системы производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш» с разработкой оборотной схемы [6].

В работах [7–11] рассмотрены вопросы охлаждения основного и вспомогательного технологического оборудования при помощи систем оборотного водоснабжения, оборудованных градирнями, для разных отраслей промышленности. В частности, рассмотрены вопросы технологии и приведены рекомендации по улучшению работы и модернизации сооружений системы охлаждающего водоснабжения сахарных заводов [8]. Представлены усовершенствованные конструкции охлаждающих устройств. Предлагаются пути сокращения потребляемой технической воды за счет повторного использования сточных вод в системах оборотного водоснабжения [12–15].

При использовании оборотных схем уделяется особое внимание проектированию и эксплуатации охладительных устройств [16, 17], конструкции оросителей и водоразбрызгивающих сопел [18, 19], сокращению экономических затрат [20].

Объектом исследования стали эксплуатационные данные, характеризующие потребление воды исходной (из источника водоснабжения), а также в системах охлаждения как теплоноситель промышленных предприятий на примере ОАО «Брестмаш», ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ». Целью выполненной работы стало исследование и разработка охлаждающих оборотных схем предприятий. Для достижения поставленной цели ставились следующие задачи: расчет баланса воды в системе производственного водоснабжения; поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий; тепловой расчет охладителей воды.

Материалы и методы. Исследование систем производственного водоснабжения проводилось на действующих предприятиях Брестского региона. В работе использовались технологические и математические методы на основе технических рекомендаций по расчету, разработанных НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды, с учетом действующих ТНПА.

Проектирование начинается с разработки балансовой схемы производственного водоснабжения по расчетным расходам воды, используемой в технологическом процессе.

Для отвода горячей воды от цехов в системе оборотного водоснабжения проектируется сеть обратного трубопровода оборотной воды. Сеть проектируется из канализационных труб с подбором диаметров. На сети устанавливаются смотровые канализационные колодцы. Сбор нагретой воды осуществляется в резервуаре нагретой воды. С учетом современных достижений и тенденций в области разработок (использования) насосного оборудования в резервуаре предусматривается установка погружного насоса. Для обслуживания насосов в резервуаре предусматривается люк и ходовые скобы. Для аварийного сброса из резервуара предусматривается установка мокрого колодца.

Область применения охладителей – это топливно-энергетический и агропромышленный комплексы, пищевая промышленность, машиностроение, транспорт, связь. Подбор марки охладителя осуществляется на основании расчетного расхода воды, подаваемой на охлаждение. Для напорных и сливных магистралей градирен во избежание замерзания в зимний период предусматривается теплоизоляция.

Сбор охлажденной воды осуществляется в резервуаре охлажденной воды. Для подачи воды в производственный корпус устраивается сеть подающего водопровода оборотной воды. Сеть проектируется из напорных труб с подбором диаметров. Для защиты сети от промерзания предусматривается изоляция.

С учетом потерь, возникающих в системе оборотного водоснабжения, в схеме проектируется сеть производственного водопровода для подачи подпиточного расхода воды в резервуар охлажденной воды.

Расчет давления насосов P , МПа, оборотной воды (при подаче на охлаждение из цеха через резервуар на градирню / для подачи охлажденной воды из резервуара в цех) на примере предприятия ОАО «Брестмаш» ведется по формуле

$$P = P_{TR} + \sum p_C + p_{H.C.} + p_{BC} + (Z_3 - Z_{ДН.РЧВ}) \cdot \rho \cdot g \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где P_{TR} – требуемое избыточное давление перед охлаждающим оборудованием (градирней) / требуемое избыточное давление перед оборудованием, установленным в цехе, МПа; $\sum p_C$ – суммарные потери давления в водопроводной сети от насосной станции оборотного водоснабжения до охладителя (градирни) / водопотребителя (цеха), МПа; $p_{H.C.}$ – потери давления в коммуникациях насосной станции, МПа; p_{BC} – потери давления во всасывающих линиях насоса, МПа; Z_3 – отметка земли охладителя (градирни) / здания водопотребителя, м; $Z_{ДН.РЧВ}$ – отметка дна в резервуаре нагретой воды / в резервуаре охлажденной воды, м.

Результаты и обсуждение. Исследование охлаждающей схемы ОАО «Брестмаш», представленной на рисунке 2, включало в себя: расчет балансовой схемы производственного водоснабжения по расходам воды, используемой в технологическом процессе; проверка пропускной способности сетей, сооружений (для сбора нагретой, отвода охлажденной воды), насосного оборудования; поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий.

Согласно формуле (1) был выполнен расчет и подбор насосов оборотной схемы: для подачи нагретой воды на градирню в резервуаре нагретой воды предусматривается установка погружных насосов SP 46-3-С с расчетной подачей $Q_{НОМ} = 46 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлением $P_{НОМ} = 0,21 \text{ МПа}$; для подачи охлажденной воды в цех в резервуаре охлажденной воды предусматривается установка погружных насосов SP 46-6-С со встроенным обратным клапаном ($Q_{НОМ} = 46 \text{ м}^3/\text{ч}$, $P_{НОМ} = 0,52 \text{ МПа}$). Применение в охлаждающих оборотных схемах погружных насосов не требует строительства отдельного здания насосной станции, что значительно снижает эксплуатационные затраты предприятия.

Задачей теплового расчета градирни являлся выбор типоразмера градирни и числа секций, и далее в ходе поверочного расчета определили объем оросителя $V_{ор}$ и его высоту $h_{ор}$ для проверки условия, что выбранная градирня соответствует заданным техническим условиям на ее проектирование.

Для оборотной системы производственного водоснабжения ОАО «Брестмаш» поверочный расчет был выполнен для градирни Росинка Р80/100 из двух секций. В результате получено значение расчетной высоты оросителя градирни,

необходимой для обеспечения заданного теплосъёма и охлаждения воды $h_{op}=2,8$ м, что обеспечивает заданное снижение температуры с $t_{жс1}=32^\circ\text{C}$ до $t_{жс2}=24^\circ\text{C}$. Если бы высоты оросителя было недостаточно, необходимо было бы изменить тип оросителя или увеличить число секций.

При этом выполнен тепловой расчет с определением величины объемного коэффициента массоотдачи, который составил $\beta_{XV} = 0,85$ кг/(м³·с).

Изучены оборотные схема в системах производственного водоснабжения предприятий пищевой промышленности ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ». В результате использования методики теплового расчета охладителей воды были получены значения расчетной температуры воды до и после охлаждения, а также температуры конденсации при разных способах отвода теплоты: для вентиляторной градирни и испарительного конденсатора, используемых в системах производственного водоснабжения на исследуемых предприятиях.

Для сравнения температуры конденсации при разных способах отвода теплоты определили ее для климатических условий Бреста. Таким образом, для системы водоснабжения ОАО «Брестский мясокомбинат» температура конденсации при прямоточном водоснабжении составила 25°C , при оборотном водоснабжении для градирни 28°C , для испарительного конденсатора 29°C .

Согласно исследованиям, на предприятии ОАО «Кобринский МСЗ» выполнена модернизация системы оборотного водоснабжения с установкой градирни NCT типа SVA, обеспечивающей условия эксплуатации по охлаждению: с температуры воды на входе $t_{макс} = 60^\circ\text{C}$ до температуры воды на выходе $t_{мин} = 5^\circ\text{C}$. Использование оборотной системы водоснабжения с устройством градирни позволило сэкономить до 24% свежей воды. Таким образом, решаются вопросы энерго- и ресурсосбережения.

Заключение. 1. Изучение и разработка оборотных схем в системах водного хозяйства предприятий решают вопросы, связанные с оптимизацией, реконструкцией, техническим перевооружением систем коммунального и производственного водоснабжения.

2. Выполнен расчет балансовой схемы водоснабжения и водоотведения по расходам воды, используемой в технологическом процессе ОАО «Брестмаш»; произведен поверочный расчет вновь проектируемой градирни для заданного расхода воды, тепловой нагрузки и атмосферных условий.

3. Исследованы оборотные схемы в системах производственного водоснабжения ОАО «Брестский мясокомбинат», ОАО «Кобринский МСЗ»: выполнен тепловой расчет охладителей воды со сравнением температуры охлаждения и конденсации при прямоточном и оборотном водоснабжении.

Список цитированных источников

1. Нездойминов, В. И. Рациональные схемы организации систем оборотного водоснабжения / В. И. Нездойминов, А. В. Жибоедов, В. С. Рожков // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 57–63.
2. Волкова, Г. А. Охлаждающие оборотные схемы в системах производственного водоснабжения / Г. А. Волкова, С. В. Андреев //

- Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях: материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 20 марта 2015 года. – Брест : БрГТУ, 2015 – С. 45–48.
3. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник ; под общ. ред И. В. Медведевой. – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2020. – 202 с.
 4. СН 4.01.01–2019 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020.
 5. СН 4.01.02-2019 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Министерство архитектуры и строительства РБ. – Минск, 2020.
 6. Андреюк, С. В. Разработка охлаждающих оборотных схем в системах водного хозяйства промышленных предприятий / С. В. Андреюк, В. В. Жук // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. В. В. Корунчикова, Л. С. Новопольцева ; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар : КубГАУ, 2021. – С. 201–204.
 7. Баширов, М. Г. Инновации в системах охлаждения оборотного водоснабжения промышленных предприятий. Опыт внедрения энергоэффективных решений с применением эжекционных градирен / М. Г. Баширов, А. М. Кашин // В книге : Наука. Технология. Производство : тезисы докладов Междунар. науч.-технич. конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2015. – С. 90–92.
 8. Щербаков, В. И. Совершенствование работы оборотной системы охлаждающего водоснабжения сахарных заводов / В. И. Щербаков, Т. В. Поливанова, В. В. Буромский // Вестник МГСУ. – 2014. – № 12. – С. 182–192.
 9. Иванов, Е. Н. Сокращение водопотребления и повторное использование сточных вод – перспективная задача теплоэнергетики / Е. Н. Иванов, Е. В. Макарова, Н. Н. Крючкова., Н. К. Пильцова, Б. А. Сорокина // Теплоэнергетика. – 2011. – № 6. – С. 47–52.
 10. Геращенко, А. А. Разработка замкнутой системы водоснабжения на предприятии текстильной промышленности / А. А. Геращенко, А. А. Сахарова и др. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия : Строительство и архитектура. – 2019. – № 2 (75). – С. 131–139.
 11. Захарко, П. Н. Анализ водопользования на предприятиях молочной промышленности Республики Беларусь / П. Н. Захарко / В сборнике: Сахаровские чтения 2020 года : экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции. В двух частях. – Минск, 2020. – С. 362–366.
 12. Нездойминов, В. И. Повторное использование сточных вод в системах оборотного водоснабжения / В. И. Нездойминов, В. С. Рожков //

- Современное промышленное и гражданское строительство. – 2006. – Т. 2. – № 3. – С. 145–153.
13. Кичигин, В. И. Принципы устройства оборотных и бессточных систем водного хозяйства промышленных предприятий / В. И. Кичигин, Н. А. Атанов, Н. Е. Чистяков // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. – 2011. – № 2. – С. 62–71.
 14. Прохоров, Е. И. Совершенствование водного хозяйства промышленных предприятий / Е. И. Прохоров, И. А. Нечаев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2009. – № 1. – С. 11–7.
 15. Орлов, В. О. Пути сокращения водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий / В. О. Орлов, Л. А. Волкова, Л. Л. Литвиненко // В книге: Природообустройство Полесья. Монография в 4-х книгах. Под общей научной редакцией Ю. А. Мажайского, А. Н. Рокочинского, А. А. Волчека, О. П. Мешика, Е. Езнаха. – Рязань, 2018. – С. 586–592.
 16. Крюков, О. В. Повышение энергоэффективности водооборотных систем предприятий при оптимизации управления градирнями / О. В. Крюков // Вестник Пермского нац. исслед. пол. ун-та. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – № 19. – С. 5–27.
 17. Федяев, В. Л. Об эффективности работы промышленных градирен / В. Л. Федяев, А. Б. Мазо и др. // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2009. – № 1–2. – С. 15–24.
 18. Боев, Е. В. Системы охлаждения оборотной воды / Е. В. Боев // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. – 2010. – Т. 5. – № 4. – С. 50–51.
 19. Прохоров, Е. И. Конструирование градирен: итоги и перспективы / Е. И. Прохоров // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 2. – С. 21–24.
 20. Азарова, М. А. Влияние систем оборотного водоснабжения на экологию и экономику природного водопотребления в промышленном производстве / М. А. Азарова, А. М. Косухин, М. А. Богачева // В сборнике : IX Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство». – 2017. – С. 582–589.

УДК 631.67:631.165.2(46)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

РУП «Институт мелиорации», г. Минск, Беларусь, niimel@mail.ru

Аннотация

В статье приведены результаты оценки эффективности орошения овощей в климатических условиях Беларуси.