

УДК 629.13

А. Н. НАЗАРЕНКО

Запорожская государственная инженерная академия

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Система водоснабжения представляет собой комплекс сооружений для обеспечения группы потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества. Кроме того, система производственного водоснабжения должна обладать определенной степенью надежности, то есть обеспечивать снабжение потребителей водой без снижения установленных показателей своей работы в отношении количества или качества подаваемой воды. Система оборотного водоснабжения позволяет резко снизить количество сбрасываемых сточных вод и уменьшить потребности в свежей воде, что дает большой экономический и экологический эффект. Для повышения эффективности технологического процесса охлаждения воды и обеспечения энергосбережения на охлаждающих установках целесообразно внедрение автоматизированных систем управления водооборотными циклами.

водооборот, система регулирования, контроллинг, качество воды, экологичность, надежность, оборудование, тепло, охладитель, датчики, экономичность, экономика

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для обеспечения надежности технологического процесса обеспечения охлаждения воды в цикле необходимо осуществление некоторых аспектов:

1. Подача требуемого количества охлажденной питательной воды.
2. Отвод нагретой и загрязненной воды от технологического оборудования.
3. Недопущение аварийных и нештатных ситуаций.

Внедрение управляемой системы контроллинга оборотного водоснабжения предоставляет возможности, позволяющие решить поставленные задачи.

Переоборудование, замена или применение управляемой системы оборотного водоснабжения позволит повысить качество выпускаемой предприятием продукции, уменьшить капиталовложения, предупредить и уменьшить количество аварийных ситуаций.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Оборотные системы водоснабжения широко используются в системах водяного охлаждения как на предприятиях теплоэнергетического комплекса, так и на многих других производствах. К оборотным системам можно также отнести закрытые системы теплоснабжения.

Что касается предприятий, использующих воду как технологическое сырье, то подавляющее большинство из них применяет морально устаревшие схемы водного хозяйства, когда для водоснабжения берется свежая вода, а все образующиеся сточные воды (отработанные технологические растворы, продувочные воды, воды от мойки оборудования и помещений и т. д.) единым потоком проходят очистные сооружения и сбрасываются в водоемы.

Во всех отраслях промышленности используется различное энергопотребляющее оборудование:

- сталеплавильное оборудование;
- компрессорные установки;
- холодильные машины и кондиционеры;
- термопластавтоматы;
- установки токов высокой частоты;

- радиоэлектронные устройства;
- технологическое оборудование легкой и пищевой промышленности.

Рабочие процессы в энергопотребляющем оборудовании, как правило, требуют отведения и рассеяния в окружающей среде тепловых потоков. Сначала через теплообменные аппараты и охлаждаемые узлы оборудования пропускают наиболее эффективный промежуточный теплоноситель – воду. Для того чтобы многократно использовать одну и ту же воду в замкнутом контуре оборотного водоснабжения, ее необходимо охладить. Наиболее эффективный и распространенный способ это сделать – рассеять тепловой поток в атмосферном воздухе.

Охлаждающей водой, нагретой в тепловыделяющем оборудовании, можно распорядиться по-разному, но вариантов фактически три и все они известны. По первому, вода сбрасывается в канализацию, т. е. прямоточная система водоснабжения. Вероятно, что в настоящее время это неприемлемо ни по экологическим, но и по экономическим соображениям. По второму варианту, нагретая (условно чистая) вода используется в технологии предприятия. Такое решение самое привлекательное, так как одновременно утилизируется и полученное ею от оборудования тепло. Однако возможность даже частичного использования нагретой охлаждающей воды встречается крайне редко и составляет тысячные доли процента от общей массы ее потребления. Остается последнее – нагретую воду охладить и повторно использовать, то есть организовать водооборотную систему. Этот вариант является преимущественным в общемировой практике, а усилия специалистов энергетиков направлены на совершенствование техники и технологии таких систем.

Чтобы понять, как наилучшим образом организовать замкнутое использование охлаждающей воды, введем понятие некой «идеальной системы». В нашем представлении это кольцо (возможно, с местными разветвлениями), по которому насосом прокачивается вода. Проходя через потребителей, она нагревается, а в охлаждающем устройстве отдает полученное тепло. Потери воды в системе и подпитка отсутствуют, водяной контур полностью закрытый (рис. 1).

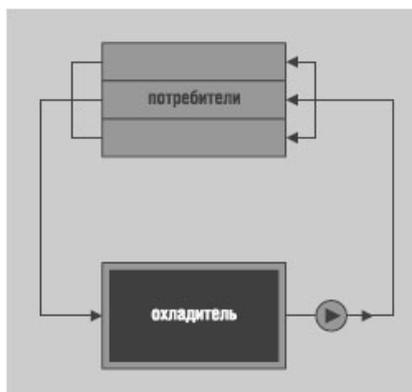


Рисунок 1 – Схема «идеальной системы».

Здесь мы не конкретизируем способ охлаждения воды и дальнейший путь отобранного тепла. Отметим лишь, что в подавляющем большинстве случаев это тепло тем или иным способом рассеивается в окружающей среде. Применение таких систем крайне ограничено по следующим причинам.

Во-первых, избежать потерь воды и, соответственно, подпитки оказалось в реальных производственных условиях практически невозможно. Во-вторых, что более существенно, сухие градирни – сложные, громоздкие, дорогостоящие и весьма энергоемкие устройства. В-третьих, нижний предел охлаждения в них на 5–8 °С (а при загрязненных поверхностях и на 12–18 °С) выше температуры окружающего воздуха, то есть летом температура охлажденной воды 40 °С и выше, что во многих производственных процессах недопустимо. «Сухая градирня» – это поверхностный теплообменник вода-воздух, где вода движется в трубках, обдуваемых с помощью вентилятора воздухом (рис. 2). Так как коэффициенты теплоотдачи от поверхности трубок к воздуху на 1,5–2,0 порядка ниже, чем от воды к трубкам, последние снаружи оребряют. Отложение грязи в зазорах между шайбами оребрения и накипи с внутренней стороны резко снижают эффективность теплообмена, а очистка поверхностей – трудоемкий и затратный процесс. И, наконец, главное – удельный расход электроэнергии в таких аппаратах в 7–10 раз выше, чем в традиционных вентиляторных градирнях.

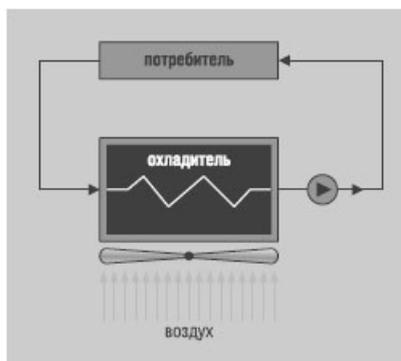


Рисунок 2 – Замкнутая схема с «сухой» градирней.

Для водоемких промышленных предприятий, расположенных в черте города, которые могут использовать малоочищенную или неочищенную воду, обычно устраивают самостоятельные (отдельные от городского) производственные водопроводы. Подобные водопроводы сооружают для групп предприятий, размещенных в одном районе города.

ЦЕЛИ

Исходя из литературного обзора подходов к решению данной проблематики можно подытожить: вода, используемая в системе водооборота – техническая; в состав системы входит брызгально-эжекторная градирня; система смешанная; по территориальному признаку – локальной; по способу подачи воды – с механической (применяются насосы) подачей воды; по кратности использования – система с обратным водоснабжением; организация оборотных циклов построена по комбинированному принципу.

Необходима разработка системы контроллинга состояния комбинированных оборотных циклов промышленных предприятий.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Автоматизация технологии водоочистки необходима для своевременного реагирования на непредвиденные ситуации и локализации аварийных ситуаций. К техническим средствам автоматизации относятся все устройства, входящие в систему управления и предназначенные для получения информации, ее передачи, хранения и преобразования, а также для осуществления управляющих и регулирующих воздействий на технологический объект управления.

Критерием всех решений по разработкам и внедрению новых средств должен быть суммарный экономический эффект с учетом всех затрат на разработку, производство и внедрение. Соответственно к разработке, изготовлению следует принимать прежде всего те варианты технических средств, которые обеспечивают максимум суммарного эффекта.

Система автоматического управления – это совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает автоматическое протекание процесса в соответствии с заданной программой. В случае процесса обратного водоснабжения готовым продуктом является охлажденная вода с заданными параметрами (температура, давление, солесодержание и т. д.), а сырьем – наружный воздух, отработанная вода, которая попадает на повторную обработку, электроэнергия и др.

В основу функционирования системы автоматического управления процессом обратного водоснабжения, как и любой системы управления, должен быть положен принцип обратной связи (ОС): выработка управляющих воздействий на основе информации об объекте, полученной с помощью датчиков, установленных или распределенных на объекте.

На ЧАО «Запорожкран» применяется система обратного водоснабжения, в которой используется для охлаждения оборотной воды брызгально-эжекторная градирня. Данный технологический процесс не автоматизирован и запускается непосредственно с началом производственных процессов, где необходимо применение охлажденной воды.

Автоматизация технологического процесса охлаждения воды может быть:

– частичной (с функциями частотного регулирования, мониторинга и дистанционного управления);

– полной (автоматическое регулирование и управление без непосредственного участия человека). Частичная автоматизация технологического процесса, предполагающая использование программируемого логического контроллера, обеспечивает:

- реализацию функции сбора данных;
- выработку управляющих воздействий;
- поддержание оптимального режима с целью минимизации энергетических затрат на эксплуатацию основного энергопотребляющего оборудования (в основном насосы, насосные станции);
- диагностику и прогнозирование неисправностей теплотехнической и электромеханической частей системы.

Полная автоматизация технологического процесса охлаждения воды предполагает:

- комплекс мероприятий по переоснащению оборудования технологического процесса устройствами защиты и/или диагностики;
- замену существующих исполнительных механизмов и контрольно-измерительных приборов и аппаратуры (КИПиА) на новые, которые позволяют производить мониторинг, диагностику и управление в реальном времени без участия человека.

Основным звеном в такой системе тоже является программируемый логический контроллер, связанный с верхним уровнем системы и обеспечивающий:

- автоматическое управление всеми технологическими процессами;
- передачу измеренных значений физических величин на АРМ (автоматизированных рабочих мест) диспетчеров автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП);
- защиту и блокировку оборудования и исполнительных механизмов;
- предупредительную и аварийную сигнализацию.

Полная автоматизация технологического процесса связана с реализацией функций регулирования, мониторинга, диагностики и управления. Она позволяет не только добиться высоких показателей эффективности производства охлажденной воды и снизить затраты электроэнергии, но и увеличить срок службы оборудования и повысить безопасность технологического процесса.

Систему оборотного водоснабжения любого предприятия в общем случае можно представить состоящей из следующих компонентов:

- промышленные потребители, использующие оборотную воду для охлаждения машин, аппаратов и рабочих сред;
- насосные станции с системой водоподготовки для обеспечения циркуляции воды в системе;
- охлаждающие установки (градирни);
- устройства реагентного хозяйства для оптимальной корректировки водно-химического режима системы;
- запорно-регулирующая арматура.

Так как применяемая на производстве градирня (и сама система водооборота в целом) не имеет вентиляторов, а также будем учитывать, что пользование насосными станциями не изменилось, то основное место в системе будет занимать регулирующий клапан с заслонкой на подающем трубопроводе. Следовательно, в нашем случае именно регулирующий клапан с заслонкой является объектом управления, т. е. при непосредственном влиянии на заслонку (угол открытия) меняется объем проходящей по трубе нагретой воды, соответственно изменяется объем воздуха эжектируемый внутрь градирни этой водой – вместе с этим увеличивается площадь контакта воды и воздуха, таким образом происходит охлаждение нагретой технической воды. Т. е. система функционирует. Но также следует отметить, что в данной системе мы управляем лишь параметрами температуры воды и не рассматриваем прочие происходящие процессы в системе (например тепломассообмен внутри самой градирни).

Опишем необходимый функциональный минимум, которым по итогам проектирования и разработки должна обладать система автоматического управления процессом оборотного водоснабжения:

- контроль и регулирование параметров оборотной воды;
- контроль полученных параметров воды в процессе доставки до места ее непосредственного применения в технологическом процессе.
- регулирование температуры в процессе охлаждения в брызгально-эжекционной градирне;
- индикация аварийных состояний (светодиодами);
- предусмотреть 2 режима работы (автоматического и ручное управление).

Математическая модель системы автоматического управления процессом оборотного водоснабжения представлена на рисунке 3.

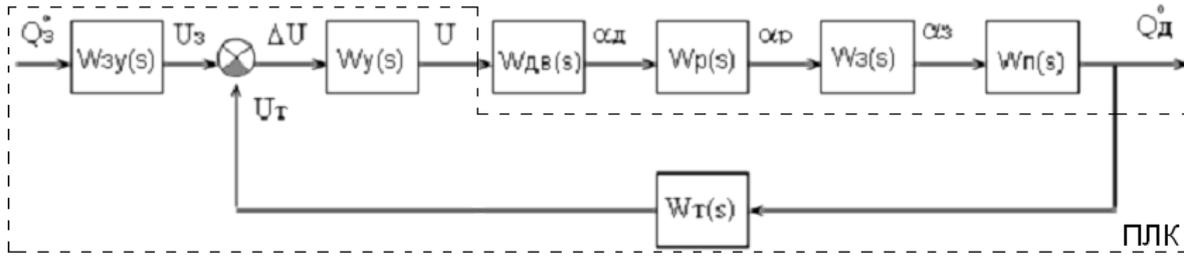


Рисунок 3 – Математическая модель системы автоматического управления: условные обозначения: $W_{зy(s)}$ – передаточная функция задающего устройства; $W_{y(s)}$ – передаточная функция усилителя; $W_{дв(s)}$ – передаточная функция электродвигателя; $W_{р(s)}$ – передаточная функция редуктора; $W_{п(s)}$ – передаточная функция паропровода; $W_{з(s)}$ – передаточная функция заслонки; $W_{т(s)}$ – передаточная функция терморезистора; ПЛК – программируемый логический контроллер (обведенные пунктиром структурные компоненты – составляют часть логического контроллера, работающего в форме П-регулятора с обратной связью по датчику температуры).

Разработку математической модели переходных процессов в наиболее простом варианте начнем с описания процессов, происходящих в градирне. По сигналу от датчика температуры воды, находящегося на входе в градирню, изменяется угол наклона заслонки запорно-регулирующего клапана. Следовательно, контур регулирования является замкнутым.

Структурная схема САУ для системы оборотного водоснабжения изображена на рис. 4. При ее построении учтено, что в силу принятого способа регулирования входным параметром для градирни являются переменные теплопоступления или теплопотери Q , Вт, а выходным – температура охлажденной воды $t_{вхл}$, °С. Собственно САУ в этом случае играют роль отрицательной обратной связи для градирни по каналу « $Q-t_{вхл}$ ».

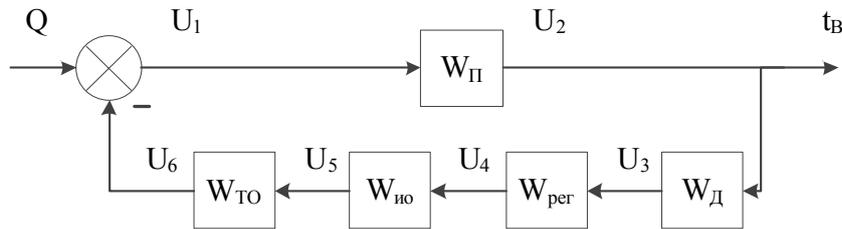


Рисунок 4 – Структурная схема САУ водооборота: $W_{рег}$ – передаточная функция регулятора; $W_{ю}$ – передаточная функция исполнительного органа (клапан с электроприводом); $W_{то}$ – передаточная функция трубопровода; $W_{п}$ – передаточная функция помещения; $W_{д}$ – передаточная функция датчика; группа блоков, находящихся в обратной связи, рассчитана в п. 4.2; $U_1...U_6$ обозначают сигналы после промежуточных звеньев системы.

Тогда математическая модель переходного процесса в САУ будет иметь вид:

$$W_{сист} = \frac{W_{п}}{1 + W_{д} \cdot W_{рег} \cdot W_{ю} \cdot W_{то} \cdot W_{п}} \quad (1)$$

В соответствии с ранее данным определением и схемой САУ, приведенной на рис. 3, по физическому смыслу $W_{сист}$ здесь представляет изменение $t_{вхл}$ с течением времени при единичном тепловом воздействии, т. е. при $Q = 1$ Вт.

Следовательно, размерность $W_{сист}$ должна быть [°С/Вт]. Тогда передаточная функция САУ при использовании позиционного регулятора в линейном варианте будет выглядеть следующим образом:

$$W_{сист}(p) = \frac{a_1 \cdot p^2 + a_2 \cdot p + a_3}{a_4 \cdot p^3 + a_5 \cdot p^2 + a_6 \cdot p + a_7} \quad (2)$$

где $a_1...a_7$ – коэффициенты, получающиеся при подстановке в (1) передаточных функций элементов САУ с учетом их коэффициентов передачи и постоянных времени, s – некоторый комплексный параметр, имеющий размерность s^{-1} .

Выражение (2) представляет переходный процесс в виде изображения, получаемого из переходной функции – оригинала с помощью интегрального преобразования Лапласа. Рекомендуется получать значение оригинала переходной функции, используя приближенное аналитическое моделирование. Его сущность заключается в формальной замене оператора s на $1/\tau$, где τ – время с момента воздействия на систему, с.

Подставим известные передаточные функции, полученные в п. 1.2, в выражение (1), смоделируем процесс регулирования температуры воды в градирне, при этом пренебрежем величиной теплопотерь Q . Процесс моделирования проведем для ряда выбранных значений входных напряжений и коэффициента передачи пропорционального регулятора $k_p = 3,75$ (угл. град/В). Так как диапазоны регулирования и значение коэффициента передачи малы, то это не приведет к сильному ухудшению качества работы системы. Чем больше выбран пропорциональный диапазон регулирования, тем большей будет величина статистической ошибки. При малой величине пропорционального диапазона увеличивается время переходных процессов, и при некоторых условиях может возникнуть автоколебательный (незатухающий) процесс в контуре регулирования.

Передаточную функцию помещения без учета его динамического сопротивления рекомендуется принять за:

$$W_{\text{пом}}(z) = \frac{K_{\text{нач}}}{s}, \quad (3)$$

где

$$K_{\text{нач}} = \frac{1}{V \cdot c \cdot \rho}, \quad (4)$$

здесь V – объем помещения, м³;

$c = 4\,182$ Дж/(кг·К),

$\rho = 3,434$ кг/м³ – соответственно удельная теплоемкость и плотность внутреннего воздуха.

Подставив числовые значения объявленных величин, рассчитаем, что значение начального коэффициента равно: $2,785 \cdot 10^{-8}$.

Из графика переходного процесса, приведенного на рис. 5, видно, что требования к качеству работы системы выполняются при средних значениях входного напряжения, САР температуры воды относительно регулирования по положению заслонки работает с заданной точностью.

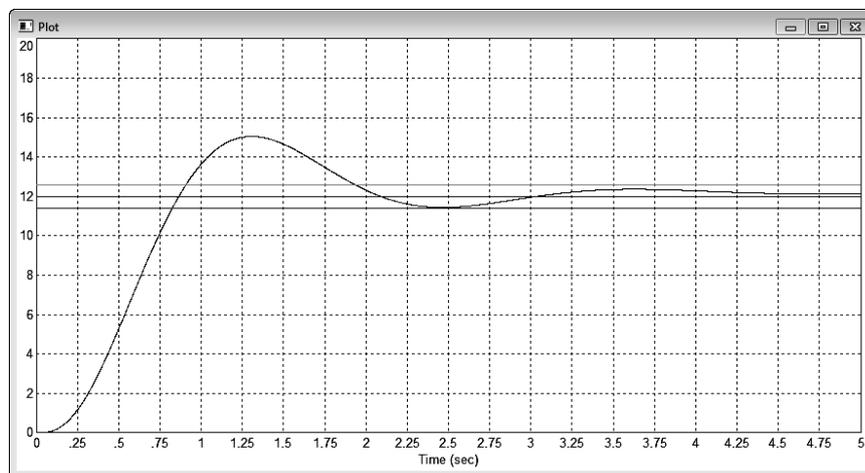


Рисунок 5 – Переходный процесс оборотного водоснабжения по регулированию температуры при $U_{\text{ex}} = 12$ В и $k_p = 3,75$ угл. град/В.

Как видно из графика переходного процесса, представленного на рис. 6, регулирование посредством изменения управляющего напряжения удовлетворяет качественным требованиям переходного процесса: величина перерегулирования – 32,5 %, время регулирования – 2,76 с, данная величина полностью удовлетворяет первоначальным требованиям. Также из графика видно, что у системы появилась установившаяся ошибка – следствие использования принципа пропорционального регулирования, впрочем, находящаяся в допустимом коридоре точности – 5 %, что полностью устраивает.

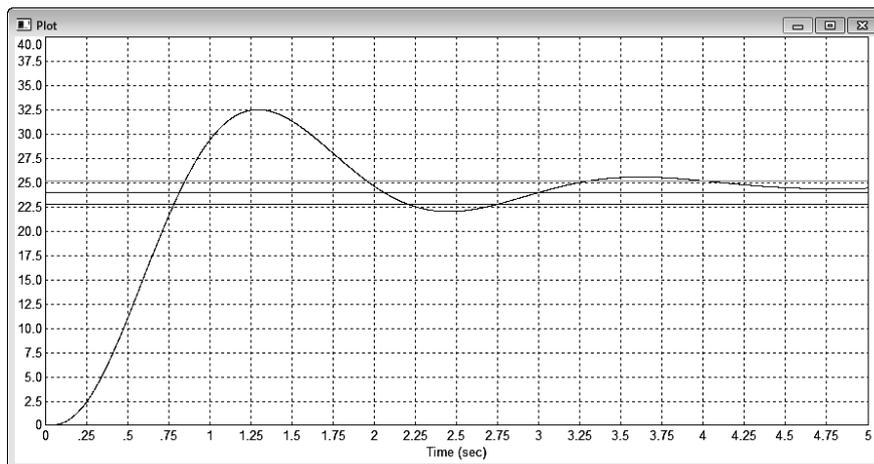


Рисунок 6 – Переходный процесс обратного водоснабжения по регулированию температуры при $U_{ax} = 24$ В и $k_p = 3,75$ угл. град/В.

Таким образом, по итогам описания технических средств автоматизации, входящих в состав САУ процессом обратного водоснабжения, а также составления их математических моделей и параметров для управления ими, определения значений констант, можно приступить к разработке управляющей программы ПЛК.

Для корректной работы разрабатываемой системы САУ необходимо протестировать и отладить управляющую программу. Отладка программ заключается в проверке правильности работы программы и аппаратуры. Программа, не содержащая синтаксических ошибок, тем не менее может содержать логические ошибки, не позволяющие программе выполнять заложенные в ней функции.

ВЫВОДЫ

Применение системы автоматизации управления водно-химическим режимом предприятия необходимо, так как её использование приводит к экономии энергоресурсов. Кроме того, подобная реализация САУ позволит сделать оборудование менее зависимым от человеческого фактора, что позволит продлить срок его службы и избежать поломок по невнимательности оператора и нарушению порядка действий.

Внедрение предлагаемой системы автоматического управления процессом обратного водоснабжения с экономической точки зрения целесообразно на всех предприятиях. На машиностроительных предприятиях Запорожской области такой концептуальный подход позволяет повторно использовать промывные воды и экономить до 18 % объема системы. Замыкание оборотной системы с последующей утилизацией металлического осадка позволит повысить эту цифру до 22 %, тем самым повышая экологичность предприятия. Подобный подход можно выполнить и к другим промышленным предприятиям, тем самым улучшая экологический эффект региона и внедряя принципы ISO 14001. Окупаемость капитальных вложений составляет 0,6 года (185 дней), что тоже соответствует условиям целесообразности внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [Текст]. – Взамен СНиП II-31-74 ; введ. 1985-01-01. – М. : ГП ЦПП, 1996. – 26.
2. ВППБ 01-02-95*. Правила пожарной безопасности для энергетических предприятий [Текст]. – Введ. 2000-03-09. – М. : НЦ ЭНАС, 2004. – 63 с.
3. Белов, С. В. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов [Текст] / С. В. Белов. – М. : Высш. шк., 1999. – 448 с.
4. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования [Текст] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Наука, 1972. – 767 с.
5. Востриков, А. С. Теория автоматического регулирования [Текст] / А. С. Востриков, Г. А. Французова. – М. : Высшая школа, 2004. – 365 с.
6. Пособие по проектированию градирен [Текст] : (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВОДГЕО ГОССТРОЯ СССР. – Москва : Центральный институт типового проектирования, 1989. – 192 с.

7. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях [Текст] : производственно-практическое издание / В. М. Макаров, Ю. П. Беличенко, В. С. Галустов, А. М. Чуфаровский. – М. : Машиностроение, 1988. – 272 с.
8. Галустов, В. С. Современные методы, системы и оборудование охлаждения оборотной воды [Текст] : обзор. информ. / В. С. Галустов, Ю. П. Беличенко. – М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1988. – 48 с. – (Компрессорное машиностроение).
9. Рябчиков Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования [Текст] / Б. Е. Рябчиков. – М. : ДеЛи принт, 2004. – 328 с.
10. Кульский, Л. А. Технология очистки природных вод [Текст] / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Киев : Вища школа. Головное изд-во, 1981. – 328 с.
11. Шабалин, А. Ф. Обратное водоснабжение промышленных предприятий [Текст] / А. Ф. Шабалин. – М. : Стройиздат, 1972. – 296 с.

Получено 10.10.2013

О. М. НАЗАРЕНКО
РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ УПРАВЛІННЯ НАДІЙНІСТЮ СИСТЕМ
ВИРОБНИЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ
Запорізька державна інженерна академія

Система водопостачання являє собою комплекс споруд для забезпечення групи споживачів водою в необхідних кількостях і необхідної якості. Крім того, система виробничого водопостачання повинна мати певний ступінь надійності, тобто забезпечувати постачання споживачів водою без зниження встановлених показників своєї роботи стосовно кількості або якості води, що подається. Система оборотного водопостачання дозволяє різко знизити кількість скинутих стічних вод і зменшити потреби у свіжій воді, що дає великий економічний і екологічний ефект. Для підвищення ефективності технологічного процесу охолодження води та забезпечення енергоощадження на охолоджувальних установках доцільне впровадження автоматизованих систем управління водообігового циклу.
водообіг, система регулювання, контролінг, якість води, екологічність, надійність, обладнання, тепло, охолоджувач, датчики, економічність, економіка

OLEXIY NAZARENKO
DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF RELIABILITY MANAGEMENT
SYSTEMS OF INDUSTRIAL WATER SUPPLY
Zaporozhe State Engineering Academy

The water supply system is a complex of structures for water user groups at the required quantities and required quality. Furthermore, industrial water supply system should have a certain degree of reliability, i. e. to provide water supply to customers without lowering the performance of its work on the quantity or the quality of water. Water recycling system can dramatically reduce the amount of sewage and reduce the need for fresh water, which makes it a great economic and environmental benefits. To improve the efficiency of the process cooling water and provide energy for cooling facilities it is the introduction of automated control systems for water cycle.
water cycle, the regulatory system, controlling water quality, environmental friendliness, safety, equipment, heat, cooling, sensors, economy, economy

Назаренко Олексій Миколайович – доцент кафедри теплоенергетики Запорізької державної інженерної академії. Наукові інтереси: розвиток загальної концепції екологізації промислових підприємств шляхом замикання систем виробничого водопостачання методом збереження стабільності водно-хімічного балансу. Участь у розробці технологічних норм проектування водного господарства підприємств.

Назаренко Алексей Николаевич – доцент кафедры теплоэнергетики Запорожской государственной инженерной академии. Научные интересы: развитие общей концепции экологизации промышленных предприятий путем замыкания систем производственного водоснабжения методом сохранения стабильности водно-химического баланса. Участие в разработке технологических норм проектирования водного хозяйства предприятий.

Nazarenko Olexiy – the Associate Professor, Heat-power Engineering Department, Zaporozhskaya State Engineering Academy. Scientific interests: development of the overall concept of greening the industry by closing industrial water supply systems by maintaining stability of water and chemical balance. Participation in the development of technology standards for design water management enterprises.