

УДК 621.18-52

**В. И. ШАРАПОВ**

## **Принципы управления технологическими процессами**

Эффективность любых производственных процессов в значительной степени зависит от способов управления ими. Технологии управления производственными процессами формируются с учетом имеющихся в данный исторический момент научных представлений об этих процессах, об их физической или химической сущности, о наиболее значимых режимных параметрах, влияющих на эффективность процессов. Кроме того, управление производственными процессами строится с учетом имеющихся технических возможностей, и, прежде всего, – средств контроля технологических параметров и средств автоматического регулирования.

Степень реализации в технологиях управления научных представлений о производственных процессах и технических возможностей управления процессами определяет уровень совершенства этих технологий.

Развитие технологий управления производственными процессами имеет сложный характер, поскольку определяется многими объективными и субъективными факторами.

Так, на определенном этапе развития ограниченность технических возможностей не позволяет в полной мере реализовать в производственных технологиях знания о природе процессов. В этих случаях создаются технологии управления, ориентированные на регулирование параметров, косвенно влияющих на эффективность процесса. Обычно предпринимаются попытки выбрать один из таких параметров, который можно было бы для упрощения управления поддерживать фиксированным независимо от условий протекания процесса.

С течением времени меняются технические возможности реализации технологий управления, однако зачастую это не приводит к совершенствованию этих технологий, потому что длительно применяемые, хорошо освоенные способы управления производственными процессами становятся привычными, «классическими», они априори считаются оптимальными.

С другой стороны, нередки случаи, когда развитие научных представлений о производственном процессе при наличии достаточных средств для

их реализации в способах управления этим процессом не приводит к улучшению этих способов – здесь также срабатывает инерционность восприятия происходящих изменений.

Рассмотрим логику развития и возможности совершенствования технологий управления производственными процессами на примере технологий управления процессами термической деаэрации воды.

Термическая деаэрация служит основным средством противокоррозионной обработки воды в теплоэнергетических установках и представляет собой физическую десорбцию из воды растворенных коррозионно-активных газов, прежде всего, – кислорода  $O_2$  и диоксида углерода  $CO_2$ , при нагревании воды до температуры насыщения. Процесс осуществляется в контактных теплообменниках – термических деаэраторах, в которые подаются обрабатываемая вода и греющий агент – пар или перегретая вода. Насыщенный неконденсирующимися газами выпар отводится из деаэраторов. Технической задачей при осуществлении термической деаэрации является обеспечение нормативного остаточного содержания  $O_2$  и  $CO_2$  в деаэрированной воде.

При проектировании и эксплуатации деаэрационных установок в качестве основного регулируемого параметра технологического процесса обычно принимается величина давления (разрежения) в деаэраторе или соответствующей ему температуры деаэрированной воды. Подразумевается, что принятый за оптимальный фиксированный уровень регулируемого параметра обеспечивает требуемое качество деаэрации воды. Поддержание рабочего давления или температуры деаэрированной воды в заданных пределах осуществляется путем изменения регулирующего параметра – расхода греющего агента, подаваемого в деаэратор.

Идея выбора рабочего давления или соответствующей ему температуры насыщения (кипения) в качестве основного регулируемого фактора процесса термической деаэрации высказывалась, пусть и в не вполне четкой форме, на заре создания деаэрационной техники [1]. Разработанная на ее основе технология управления термической деаэрацией сохранилась и при весьма высоком уровне развития теплоэнергетики [2, 3], несмотря на существенно изменившиеся технические возможности (в частности, серийный выпуск достаточно надежных датчиков содержания растворенных газов в воде и микропроцессорных авторегуляторов) и очевидные недостатки этой технологии.

Эти недостатки связаны с тем, что состояние насыщения водяных паров в деаэраторах является необходимым, но недостаточным условием

высокой эффективности термической деаэрации, соответственно, параметры, определяющие это состояние, не в полной мере определяют качество и экономичность работы деаэраторов.

Выбор рабочего давления в деаэраторе (температуры деаэрированной воды) в качестве регулируемого параметра в определенной мере оправдан в установках атмосферного и повышенного давления с относительно неизменным технологическим режимом. Однако и в этих установках поддержание заданного давления в деаэраторе не гарантирует высокого качества и экономичности деаэрации воды. В ряде случаев при заданной величине давления не обеспечивается нормативное качество противокоррозионной обработки воды, в других случаях для поддержания заданного давления требуется подача в деаэратор греющего агента в количестве, намного превосходящем необходимое для эффективной деаэрации.

В вакуумных деаэрационных установках параметры теплового и гидравлического режима могут изменяться в широких пределах, что создает возможности организации режимов термической деаэрации, оптимальных для каждой конкретной тепловой электростанции или котельной. К сожалению, применение традиционного способа регулирования не позволяет использовать эти возможности.

Все попытки совершенствования технологий управления процессами термической деаэрации осуществлялись в рамках устоявшегося подхода, путем поиска других регулируемых режимных параметров, но возможности более полно определяющих эффективность работы деаэраторов. Так, в качестве регулируемых параметров принимался удельный расход вышара, величина нагрева воды в деаэраторе и другие факторы, косвенно влияющие на эффективность деаэрации [2].

Объективная оценка современных представлений о процессах деаэрации воды и технических возможностей организации автоматического регулирования этих процессов привела нас к разработке нового подхода к управлению термическими деаэраторами и другими теплообменными аппаратами теплоэнергетических установок [4, 5]. Сущность нового подхода заключается в использовании в качестве регулируемых факторов конечных параметров процесса. Для термической деаэрации такими конечными параметрами, в полной мере определяющими эффективность процесса, являются нормативные остаточные концентрации растворенного кислорода и свободного диоксида углерода в деаэрированной воде.

Основное достоинство нового подхода заключается в безусловном обеспечении нормативного качества термической деаэрации. Остальные, изменяемые параметры процесса деаэрации (регулирующие параметры) поддерживаются на необходимом и достаточном для выполнения этого условия уровне. Таким образом, исключаются возможности работы термических деаэраторов с недостаточными или, напротив, излишними энергетическими затратами.

Достаточно широкий спектр отечественных и зарубежных приборов автоматического контроля качества деаэрации и средств автоматического регулирования позволяет эффективно реализовать предложенный подход к управлению термическими деаэраторами в промышленных условиях. Контроль остаточного содержания растворенного кислорода в деаэрированной воде осуществляется с помощью автоматических кислородомеров, для контроля остаточного содержания диоксида углерода целесообразно использовать автоматические *pH*-метры.

На основании сформулированного выше подхода создана и запатентована серия новых технических решений по оптимизации технологий термической деаэрации воды.

Проанализированы управляемые тепловые, гидравлические и химические параметры процессов термической деаэрации, которые было бы возможно наиболее эффективно использовать в качестве регулирующих параметров. Особенно большое количество параметров применимо для регулирования вакуумных деаэрационных установок. Выбор регулирующих параметров определяется составом оборудования и особенностями эксплуатации конкретной электростанции. Всего на основе нового подхода к организации технологий противокоррозионной обработки воды нами разработано и запатентовано около сорока технических решений по способам управления процессами дегазации с использованием различных регулирующих параметров.

Разработка нового подхода к управлению процессами термической деаэрации и создание серии технологий, в которых он реализуется, стали возможными прежде всего благодаря проведенным экспериментальным исследованиям, существенно расширившим представления об этих процессах [6, 7]. В результате экспериментов получены многофакторные математические модели процессов деаэрации. Эти модели устанавливают количественные связи между определяемыми конечными параметрами процесса деаэрации – целевыми функциями (остаточными концентрациями

растворенного кислорода, диоксида углерода и  $pH$  деаэрированной воды) и целым рядом изменяемых режимных параметров – факторов (расходами и температурами исходной воды и греющего агента, щелочностью исходной воды, начальным содержанием диоксида углерода в исходной воде и т.п.). Это предопределило в разработанных на основе нового подхода способах управления термическими деаэраторами использование целевых функций в качестве регулируемых параметров технологического процесса, а изменяемых режимных факторов – в качестве регулирующих параметров. Наличие многофакторных моделей позволяет оценить возможность, целесообразность и технико-экономическую эффективность новых технологий управления термической деаэрацией воды.

В качестве примера рассмотрим одно из технических решений, в которых реализуется новый подход к регулированию термических деаэраторов. Заданное качество деаэрации обеспечивается путем регулирования расхода перегретой воды, подаваемой в качестве греющего агента в вакуумный деаэратор [8, 9]. Более подробно новые технологии термической деаэрации рассмотрены в статье Д.В. Цюра [10].

На рис. 1. приведена схема вакуумной деаэрационной установки, в ко-

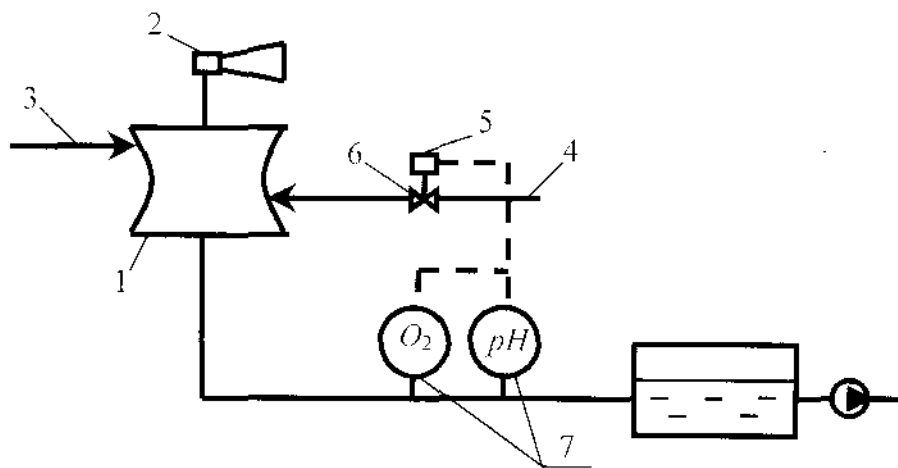


Рис. 1. Схема вакуумной деаэрационной установки с использованием в качестве регулируемых параметров заданных показателей качества деаэрированной воды, а в качестве регулирующего параметра – расхода греющего агента: 1 – вакуумный деаэратор; 2 – эжектор; 3 – трубопровод исходной химически очищенной воды; 4 – трубопровод перегретой воды; 5 – регулятор расхода перегретой воды; 6 – регулирующий клапан; 7 – датчики остаточного содержания растворенного кислорода и  $pH$  деаэрированной воды.

торой используются способы деаэрации [8, 9]. Регулирование расхода греющего агента производится по величине нормативного остаточного

12

содержания растворенного кислорода в деаэрированной подпиточной воде 50 мкг/дм<sup>3</sup> и по заданной величине  $pH=8,33$ , соответствующей отсутствию в воде свободного диоксида углерода. Датчиками 7 измеряется остаточное содержание кислорода и  $pH$  деаэрированной воды. При отклонении их от заданных величин регулятор 5 с помощью регулирующего клапана 6 изменяет расход перегретой воды на деаэратор 1, устанавливая тем самым его величину необходимой и достаточной для поддержания заданных величин  $pH$  и остаточного содержания кислорода.

Как уже отмечалось, возможность реализации и эффективность новой технологии вакуумной деаэрации можно оценить с помощью экспериментально полученных математических моделей вакуумных деаэрационных установок [6, 7]. Так, преобразовав уравнение регрессии, описывающее десорбцию растворенного кислорода в установке с серийным горизонтальным струйно-барботажным вакуумным деаэратором производительностью 800 т/ч, получим выражение для определения расхода греющего агента - перегретой воды  $G_{г.в}$ , т/ч, необходимого и достаточного для обеспечения нормативного остаточного содержания кислорода 50 мкг/дм<sup>3</sup>:

$$G_{г.в} = 250 + [G_{х.о.в} (0,0024t_{г.в}t_{х.о.в} - 0,24t_{х.о.в} - 0,1152t_{г.в} + 18) + t_{х.о.в} (96 - 1,44t_{г.в}) + 69,12t_{г.в} - 10440] / [G_{х.о.в} (0,1056 - 0,000576t_{г.в} - 0,001t_{х.о.в}) + 0,0864t_{г.в} + 0,44t_{х.о.в} - 29,76]. \quad (1)$$

Величины расходов деаэрируемой химически очищенной воды  $G_{х.о.в}$  подставляются в формулу (1) в т/ч, температуры химически очищенной воды  $t_{х.о.в}$  и перегретой воды  $t_{г.в}$  - в °С.

В качестве критерия энергетической эффективности способов управления термическими деаэраторами нами предложено принять величину технологически необходимых энергетических затрат на осуществление процесса деаэрации при обеспечении нормативного качества десорбции растворенных газов. Поскольку на термическую деаэрацию расходуется энергия различного качества (тепловая и электрическая), энергетические затраты целесообразно оценивать по затратам эксергии на обработку 1 т или 1 м<sup>3</sup> воды в деаэрационных установках [6].

Удельные затраты эксергии на термическую деаэрацию воды  $E^{м.э}$ , кДж/т, определяются по формуле

$$E^{м.э} = E_{э}^{м.э} + E_{т}^{м.э} + E_{г.о.в}^{м.э} - E_{д.в}, \quad (2)$$

где  $E_{э}^{м.э}$  - затраты эксергии в виде электроэнергии;  $E_{т}^{м.э}$  - затраты эксергии в виде теплоты на подогрев теплоносителей перед деаэратором;

$E_{x.o.a}^{m.o}$  – затраты эксергии на отвод выпара из деаэратора в пересчете на 1 т обрабатываемой воды;  $E_{o.e}$  – эксергия деаэрированной воды.

Величина  $E_3^{m.o}$  численно равна затратам электроэнергии на транспорт теплоносителей и на создание необходимого давления перед деаэратором. Входящая в формулу (2) величина затрат эксергии на привод газоотводящих аппаратов  $E_{x.o.a}^{m.o}$  учитывается только для вакуумных деаэрационных установок.

При подогреве исходной воды и греющего агента перед деаэратором паром величина  $E_m^{m.o}$  рассчитывается по формуле

$$E_m^{m.o} = D[h_n - h_k - T_o(s_n - s_k)], \quad (3)$$

где  $D$  – количество пара, используемого для подогрева воды перед декарбонизатором (из расчета на 1 т декарбонизируемой воды), кг/т;  $h_n, h_k$  – энтальпии рабочего тела (пара) и конденсата, кДж/кг;  $s_n, s_k$  – энтропии рабочего тела и конденсата, кДж/(кг·К);  $T_o$  – абсолютная температура окружающей среды, К.

Эксергия 1 т деаэрированной воды с абсолютной температурой  $T_{o.e}$  находится по формуле

$$E_{o.e} = G_{o.e} c_{o.e} (T_{o.e} - T_{u.e}) (1 - T_o / T_{o.e}), \quad (4)$$

где  $G_{o.e}, c_{o.e}$  – количество (в данной формуле  $G_{o.e} = 1000$  кг) и теплоемкость, кДж/(кг·К), декарбонизированной воды;  $T_{u.e}$  – температура исходной воды до подогрева, К.

В качестве параметров окружающей среды принимаются параметры исходной воды до подогрева, т.е.  $T_o = T_{u.e}$ .

С помощью выражений (1)-(4) на рис. 2 построена графическая зависимость технологически необходимого расхода перегретой воды, изменяемого при применении новой технологии деаэрации [8, 9], от температуры перегретой воды при температуре исходной химически очищенной воды  $t_{x.o.a} = 40^\circ\text{C}$  и нагрузке деаэратора ДВ-800  $G_{x.o.a} = 700$  т/ч (линия 1). Линия 3 показывает зависимость  $G_{x.o.a} = f(t_{x.o.a})$  при традиционном методе регулирования по заданной величине абсолютного давления в вакуумном деаэраторе, обычно принимаемой равной  $P_o = 0,32$  кгс/см<sup>2</sup>, при том же сочетании величин  $G_{x.o.a}$  и  $t_{x.o.a}$ .

Как следует из графиков на рис. 2, применение новой технологии дает возможность значительно снизить расход перегретой воды. Соответственно снижаются расход электроэнергии на транспорт греющего агента и энергетические затраты на деаэрацию. Линиями 2 и 4 на рис. 2 представлены

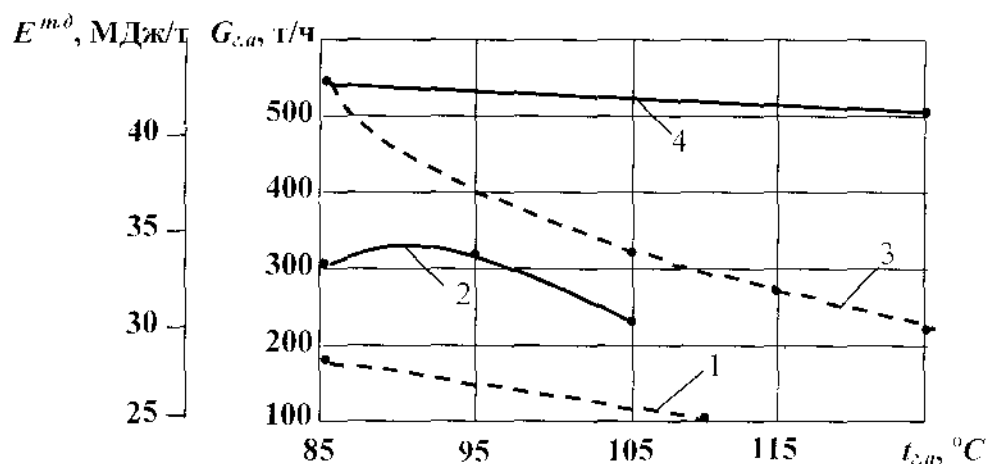


Рис. 2. Зависимости технологически необходимого расхода греющего агента – перегретой воды (пунктирные линии) и удельных затрат эксергии на деаэрацию (сплошные линии) от температуры перегретой воды при регулировании по заданному остаточному содержанию кислорода  $50 \text{ мг/дм}^3$  (линии 1 и 2) и по заданной величине абсолютного давления в деаэраторе  $P_0 = 0,32 \text{ кгс/см}^2$  (линии 3 и 4). Зависимости построены при  $t_{х.о.в.} = 40$  °C;  $G_{х.о.в.} = 700$  т/ч

зависимости удельных затрат эксергии  $E^{m.\delta}$ , МДж/т, на деаэрацию по новой и традиционной технологии деаэрации. Из сравнения этих зависимостей видно, что использование нового подхода к управлению деаэрационными установками дает существенную экономию энергетических затрат.

Аналогичный подход применен нами при разработке технологий управления процессами декарбонизации воды (первой ступени десорбции диоксида углерода) [5].

Анализ преимуществ нового подхода к управлению термическими деаэраторами и декарбонизаторами убеждает, что при его применении нормативная эффективность массообмена обеспечивается при минимально необходимых энергетических затратах. В большинстве случаев применение разработанных решений приводит к снижению энергетических затрат на декарбонизацию и термическую деаэрацию на 5-50 %. Так, использование технологий регулирования [8, 9] на вакуумной деаэрационной установке Саратовской ТЭЦ-5 с шестью деаэраторами ДВ-800 дает годовую экономию около 10 000 тонн условного топлива.



Однако главным достоинством рассматриваемого подхода к управлению процессами термической деаэрации и декарбонизации является не столько огромный эффект энергосбережения, сколько гарантированное обеспечение качества противокоррозионной обработки воды.

По существу этот подход является оптимальным, не имеющим в настоящее время сколько-нибудь равноценной альтернативы. После формулировки нового принципа организации технологий управления теплообменными аппаратами и реализации его в большой серии новых технических решений мы попытались ответить на естественный вопрос: почему этот, казалось бы, очевидный принцип не был предложен раньше, на протяжении более чем вековой истории развития техники для дегазации воды в теплоэнергетических установках.

По нашему мнению, существовали следующие основные препятствия для создания нового подхода к управлению термическими деаэраторами и другими теплообменными аппаратами. Безусловно, к таким препятствиям следует отнести отсутствие в течение длительного времени надежных приборов автоматического химического контроля качества воды. Во всяком случае, представления о способах управления теплообменными аппаратами для противокоррозионной обработки воды сформировались в столь давний период, когда создание этих приборов даже и не предполагалось.

В последние десятилетия, когда проблема автоматического контроля качества воды в основном была решена, главным препятствием стал определенный догматизм в подходе к совершенствованию технологий десорбции растворенных газов в аппаратах водоподготовительных установок. Этот догматизм проявлялся, в частности, в традиционности восприятия процессов теплообмена в этих аппаратах как однопараметрических. Длительное время предполагалось, что можно установить постоянной какую-то рациональную величину основного режимного параметра, например, фиксированную величину давления в деаэраторах, чтобы обеспечивалось приемлемое качество дегазации воды. Реальным шагом, позволившим преодолеть такое понимание процессов дегазации воды и создать эффективные технологии управления ими, явилось создание многофакторных моделей процессов декарбонизации и термической деаэрации. Эти модели, отражающие зависимости между определяемыми целевыми функциями (регулируемыми параметрами) и управляемыми (регулирующими) режимными параметрами, указали рассмотренный выше путь развития технологий управления процессами дегазации.

Приведенный пример показывает, что наибольшая эффективность технологий управления производственными процессами достигается при использовании в качестве регулируемых параметров конечных показателей эффективности этих процессов. Необходимым условием для создания оптимальных технологий управления является наличие технических возможностей для управления конечными показателями (регулируемыми параметрами) с помощью изменения регулирующих параметров. Создание высокоэффективных технологий управления производственными процессами существенно облегчается, если имеется аналитическое описание зависимостей этих конечных показателей эффективности от управляемых (регулирующих) режимных параметров процесса.

Выбор регулируемых и регулирующих параметров определяется характером производственного процесса. В научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УлИТУ проведен анализ целого ряда технологических процессов, реализуемых в теплоэнергетических установках и системах теплоснабжения. Установлено, что практически все эти процессы управляются по косвенным, промежуточным параметрам, несмотря на наличие технических возможностей для перехода к управлению по конечным показателям эффективности.

Так, управление гидравлическим режимом систем централизованного теплоснабжения традиционно осуществляется путем поддержания фиксированного давления сетевой воды в обратной магистрали на теплоисточнике с помощью регулирования расхода подаваемой в обратную магистраль подпиточной воды. Основной технической задачей, которую должно решить управление гидравлическим режимом системы теплоснабжения, является поддержание давления в обратной магистрали системы теплоснабжения в пределах, обеспечивающих заполнение и безопасность местных систем абонентов.

На рис. 3 изображена двухтрубная открытая система теплоснабжения и ее пьезометрический график. Расчетному режиму на графике соответствуют линии напоров 1 в подающей магистрали и 2 в обратной магистрали. При повышении разбора сетевой воды на горячее водоснабжение расход воды и гидравлическое сопротивление в обратном трубопроводе снижаются (линия 2'). Поддержанием фиксированного давления в обратной магистрали на теплоисточнике в этом случае не гарантируется заполнения сетевой водой местных систем абонентов: линия напоров в обратной магистрали пересекает на определенной высоте первый от теплоисточника абонент, следовательно,

верхние этажи этого абонента при повышенном водоразборе опорожняются.

В соответствии со сформулированным выше принципом организации технологии управления для преодоления недостатков традиционного способа регулирования гидравлического режима целесообразно в качестве регулируемого параметра принять давление в обратной магистрали наиболее

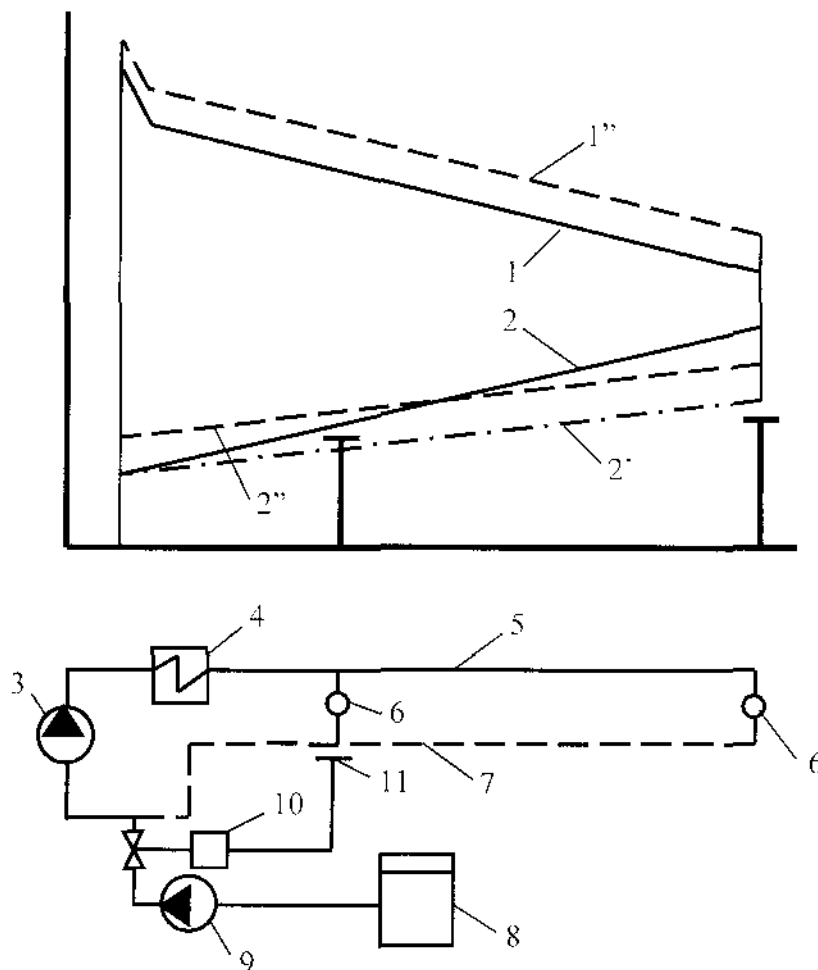


Рис. 3. Схема управления гидравлическим режимом и пьезометрический график двухтрубной открытой системы теплоснабжения при использовании в качестве регулируемого фактора давления в обратной магистрали «критического» абонента: 1 и 2 - пьезометрические линии расчетного гидравлического режима; 2' - пьезометрическая линия обратной магистрали для режима с повышенным разбором воды на горячее водоснабжение при традиционном способе регулирования; 1'' и 2'' - пьезометрические линии подающей и обратной магистрали для режима с повышенным водоразбором из теплосети при новой технологии регулирования; 3 - сетевой насос; 4 - водоподогревательная установка; 5 - подающая магистраль; 6 - абоненты; 7 - обратная магистраль; 8 - бак-аккумулятор; 9 - подпиточный насос; 10 - регулятор давления; 11 - датчик давления

неблагополучного абонента. Именно этот показатель определяет эффективность гидравлического режима системы теплоснабжения. При увеличении водоразбора из теплосети поддержание в заданных пределах давления в обратной магистрали критического для системы теплоснабжения абонента будет обеспечиваться за счет возрастания расхода подпиточной воды и давления в обратной магистрали на теплоисточнике (линия 2''). При этом способе может быть сохранена коррекция регулирования путем ограничения пределов изменения давления воды во всасывающих патрубках сетевых насосов.

Отметим, что выбор технических средств для реализации новой технологии управления гидравлическим режимом открытой системы теплоснабжения достаточно велик.

Аналогичным образом могут быть усовершенствованы способы управления многими производственными процессами парогенераторов, аппаратов водоподготовки и других объектов теплоэнергетических установок и систем.

За сравнительно небольшое время рассмотренный в статье подход к управлению технологическими процессами получил признание и высокую оценку отечественных и зарубежных специалистов. Участвовавшие в разработке основанных на этом подходе технологий сотрудники научно-исследовательской лаборатории «Теплоэнергетические системы и установки» УЛГУ награждены в 2000-2001 гг. двумя медалями Российской Академии наук, медалями, дипломами и премиями международных и Всероссийских конкурсов, золотой медалью и специальным призом Всемирного салона изобретений «Брюссель-Эврика-2001».

Новый подход к управлению разрабатывался применительно к технологическим процессам теплоэнергетики. На наш взгляд, применение технологий управления, основанных на использовании в качестве регулируемых факторов конечных показателей эффективности, весьма перспективно при совершенствовании производственных процессов во многих других отраслях техники. Новые технологии обеспечивают достижение заданного технического результата при минимально необходимых для этого энергетических затратах.

### **Выводы**

1. Показано, что уровень совершенства технологий управления производственными процессами определяется степенью реализации в этих

- технологиях имеющихся в данный исторический момент научных представлений о процессах и технических возможностях управления.
2. Разработан новый подход к управлению производственными процессами, основанный на использовании в качестве регулируемых параметров конечных показателей эффективности этих процессов.
  3. Установлено, что для оценки возможности реализации и технико-экономической эффективности новых технологий управления целесообразно применение многофакторных математических моделей, описывающих зависимости конечных показателей эффективности от управляемых (регулирующих) режимных параметров производственных процессов.
  4. Показано, что разработанные на основе нового подхода технологии управления производственными процессами обеспечивают достижение заданного технического результата при максимально возможной энергетической эффективности реализуемых процессов.

#### Список литературы

1. *Борович Л.А.* Фабричные паровые котлы, устройство их и уход за ними. М.: Изд-во М.А. Нетыкса. 1893. 420 с.
2. *Оликер И. И., Нермяков В. А.* Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. Л.: Энергия. 1971. 185 с.
3. Расчет и проектирование термических деаэраторов. РТМ 108.030.21-78. Л.: НИО ЦКТИ. 1979. 130 с.
4. *Шаратов В.И., Цюра Д.В.* О регулировании термических деаэраторов// Электрические станции. 2000. № 7. С. 21-24.
5. *Шаратов В.И., Сивухина М.А., Цюра Д.В.* Выбор параметров регулирования теплообменных аппаратов водоподготовительных установок электростанций// Материалы IV Минского международного форума по тепло- и массообмену. Том 10. Минск: НАНБ. 2000. С. 446-454.
6. *Шаратов В.И.* Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. М.: Энергоатомиздат. 1996. 176 с.
7. *Шаратов В.И., Цюра Д.В.* Экспериментальное исследование системы декарбонизатор - вакуумный деаэратор// Научно-технический калейдоскоп. 2000. № 3. С. 100-104.
8. Патент 2144508 (РФ). МПК<sup>7</sup> С 02 F 1/20. Способ термической деаэрации воды/ В.И. Шаратов, Д.В. Цюра// Бюллетень изобретений. 2000. № 2.
9. Патент 2144509 (РФ). МПК<sup>7</sup> С 02 F1/20. Способ термической деаэрации воды/ В.И. Шаратов, Д.В. Цюра// Бюллетень изобретений. 2000. № 2.
10. *Цюра Д.В.* Технологии управления процессами термической деаэрации воды в теплоэнергетических установках// Теплоэнергетика и теплоснабжение. Сборник трудов НИЛ «Теплоэнергетические системы и установки». Вып. I. Ульяновск. 2002. С. 21-36.