

БА в начале и в конце светового дня, это может служить предпосылкой для эффективного использования установки непрерывно в летнее время.

SUMMARY

The influence of different factors on size of coming solar radiation and on efficiency of solar heat supply system is defined. The results of computer design of solar hot water system are presented. Practical recommendations on choice of parameters of solar heat supply system for its effective work are given.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж.. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. – 80с.
2. Ахаоролос Р., Pitsilis G. and Panagakis P., Int. J. of Solar Energy. – 2002. - Vol.22(2). - pp. 83 – 92.
3. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. – К.: Наукова думка, 1999. - 315с.
4. Дешко В.И., Дубровская В.В., Иванов П., Кучко М. Результаты экспериментальных исследований систем солнечного горячего теплоснабжения в Украине и в Болгарии //Пром. Теплотехника.– 2003.–Т. 25.–Приложение к журналу №4.–С. 268-270.

Поступила в редакцию 6 декабря 2005 г.

УДК 621.65

МЕТОДИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ И АДАПТАЦИЯ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЕЙСТВУЮЩИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

А.А. Евтушенко*, канд. техн. наук, доцент; **В.В. Зинченко***, асп.;
Н.И. Сотник*, канд. техн. наук;

В.С. Бойко**, д-р техн. наук

*Сумской государственной университет

**Национальный технический университет Украины “КПИ”

Одним из перспективных направлений улучшения современного состояния жилищно-коммунального хозяйства городов Украины является эффективное энергосбережение, которое включает в себя снижение расхода энергоносителей, уменьшение их потерь, и следовательно, уменьшение энергоемкости продукции и оказываемых услуг. Эти проблемы особенно актуальны для многих коммунальных предприятий сферы водоснабжения, у которых доля энергетических затрат в себестоимости предоставляемых услуг может достигать 60-80%.

Следовательно, разработка и внедрение энергосберегающих мероприятий на таких коммунальных предприятиях является одним из приоритетных направлений в этой сфере.

Высокий уровень энергоемкости услуг, оказываемых городскими водоснабжающими предприятиями, обуславливается крайне неэффективным использованием энергии в технологических производственных процессах, в первую очередь – электрической.

Поэтому общей проблемой многих городов Украины, которая стала особенно актуальной сегодня, является неоправданно высокий уровень текущих (эксплуатационных) затрат, в первую очередь, электроэнергии, на подъем воды.

Общие тенденции к ускорению и удешевлению строительства станций третьего подъема в период строительства приводило к принятию не самых лучших проектных решений и упрощенных технологий. Такой

подход ускорял строительство станций третьего подъема, но также и приводил к установке оборудования завышенной мощности (с запасом в несколько раз) с расчетом на рост водопотребления в будущем. Однако при этом совершенно не учитывались колебания суточного графика подачи воды и характеристики существующих гидравлических сетей, что и обусловило сильный рост текущих затрат при эксплуатации этих станций.

Таким образом, в настоящее время практически во всех городах Украины имеются значительные резервы снижения энергопотребления насосными установками третьего подъема путем согласования параметров и характеристик насосного оборудования в согласии с суточным графиком подачи воды потребителям.

Однако необходимость качественного согласования параметров насосного оборудования с фактическими параметрами существующих гидравлических сетей, на которые оно работает, требовало решения целого ряда задач, и в первую очередь проведения анализа текущего состояния сети на предмет ее энергоэффективности. Однако решение этой задачи вызывало определенные затруднения, поскольку наличие разнообразных (не всегда последовательных) подходов и большого количества практических наработок в этой области не всегда помогало оперативно принять оптимальное решение.

Поэтому при проведении энергетических обследований действующих гидравлических сетей возникла необходимость в систематизации теоретических подходов и практических наработок, в зависимости от типа системы.

Именно это и явилось основной причиной разработки «Методики энергетического обследования систем водоснабжения промышленных и коммунальных предприятий». Работа над методикой была начата на основании тендерного договора, заключенного группой по энергетическим обследованиям при СумГУ с Государственным комитетом Украины по энергосбережению.

Началом совместной работы по обследованию действующих систем водоснабжения и проверке основных положений методики стал договор между группой энергетических обследований, существующей при СумГУ и ГКП «Горводоканал», г. Сумы.

Предложенная для апробации методика была составлена таким образом, что позволяет проводить энергетическое обследование как специализированными организациями, так и, что не мало важно, специалистами самих предприятий. Она позволяет, прежде всего, определить энергоеффективность действующих систем водоснабжения, целесообразность их последующей модернизации или даже замены. Она также может быть использована для энергетической оптимизации создающихся систем водоснабжения уже на стадии проектирования.

Данный нормативный документ определяет алгоритмы поведения обследований и предлагает оптимальные методы обследования различных гидравлических систем промышленных и коммунальных предприятий, которые классифицируются по основным типам: забор (подъем) воды, водоподготовка, водораспределение, подача в сеть и водоотведение.

Методика основывается на математическом моделировании гидросистемы с последующим расчетно-теоретическим и (или) экспериментальным определением основных рабочих характеристик и предназначается, главным образом, для предприятий, в структуру которых входит развитая система водоснабжения.

Длительная и поэтапная апробация положений методики энергообследований была начата в 2003 году и проходила на объектах предприятия ГКП «Горводоканал», г. Сумы.

На первом этапе данная методика проведения энергообследований была опробована на очистных сооружениях г.Сумы, для изучения путей снижения энергоемкости этого подразделения.

В результате анализа работы системы распределения сжатого воздуха, было предложено скорректировать количество подаваемого воздуха и вывести в резерв воздухоудку мощностью 400 кВт, которая работала круглосуточно, сохранив при этом хорошее качество очистки стоков. Это позволило снизить удельную энергоемкость процесса очистки стоков. Так же была произведена установка воздухоудки меньшей производительности, что позволило регулировать количество поданного воздуха в систему аэрации, избегая регулирования воздухоудки большей мощности методом дросселирования.

Расчет системы подачи и распределения воздуха на очистных сооружениях показал, что, изменив схему коллектора и подобрав трубы нужного диаметра, можно значительно снизить гидравлические потери энергии в гидравлической сети.

Вторым этапом, на котором была опробована методика обследования, стали насосные станции третьего подъема.

На основании полученных в ходе обследования данных был разработан проект реконструкции насосной станции повышения давления. В рамках этого этапа на ГКП «Горводоканал» в начале 2004 года была создана автоматическая насосная установка повышения давления на базе малорасходных насосов серии 3-Х-ЦНС, производства ОАО «Насосэнергомаш» (г. Сумы).

В результате проведенных работ, согласно положений методики, было достигнуто относительное снижение среднего удельного расхода электроэнергии на 1 м^3 поднятой воды в 12,32 раз. Таким образом, сумма прямой экономии электроэнергии (при средней стоимости $1\text{ кВт}\cdot\text{ч} - 28\text{ коп}$) за год по ЦТП-3 составила около 30,7 тыс. грн, а срок окупаемости проекта, реализованного на ЦТП-3, г.Сумы, составил, с учетом только экономии электроэнергии, менее 12 месяцев.

Следующим объектом, на котором были апробированы положения методики, стала насосная станция повышения давления «ПЭНС - 14 км» городского коммунального предприятия «Инфоксводоканал», г.Одесса.

К началу работ на насосной станции «ПЭНС - 14 км» находились в работе три насосных агрегата типа Д6300-80, с диаметром рабочего колеса 990 мм. В качестве электропривода указанных насосов использовались синхронные двигатели мощностью 1600 кВт каждый. Все насосы работали на открытую задвижку, создавая при этом напор воды в магистрали, непосредственно за насосной станцией, в пределах 35 - 40 м. Анализ фактического режима работы насосной станции и насосных агрегатов в частности дал возможность изучить режим работы оборудования и получить необходимые исходные данные. Сопоставление эксплуатационного режима работы насосных агрегатов с их рабочими характеристиками (рис.1) показало, что при указанных условиях эксплуатации насосы работали вне рабочего интервала характеристики, обеспечивая подачу воды в сеть в пределах $8500-9000\text{ м}^3/\text{час}$.

Анализ режима работы показал, что даже при хорошем техническом состоянии рабочего колеса насоса, его гидравлический КПД в данном режиме эксплуатации не мог превышать 50% из возможных 80%, а рабочая мощность двигателя при этом должна была достигать 1800 кВт.

Из характеристики видно, что в зоне указанных подач кавитационный запас Δh достигает 20 м, что свидетельствует о неблагоприятном кавитационном режиме.

О развитии кавитации во входном патрубке насоса и входной воронке рабочего колеса косвенно подтверждали плохие виброакустические

характеристики агрегата (гидравлические шумы и вибрация), какие имели место при работе агрегата 7.

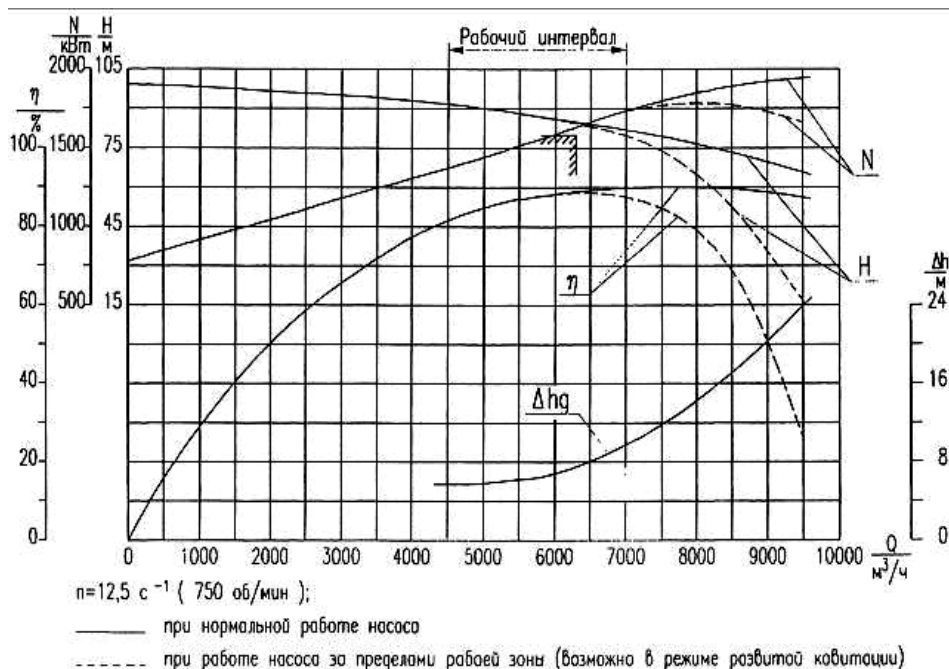


Рисунок 1 - Рабочая характеристика насосного агрегата Д6300-80 ($D_2=990\text{мм}$)

Характерные для кавитационного режима работы разрушения поверхностей рабочих колес были обнаружены при вскрытии насосного агрегата 7 и визуальном осмотре ротора.

Такой режим эксплуатации оборудования неэффективен, поскольку в указанном режиме происходит большой износ в сопряжении уплотняющих поверхностей переднего щелевого уплотнения (работа уплотнения на газожидкостной смеси, как известно, меняет его гидродинамические свойства), что приводит к увеличению зазора [1]. Это, в свою очередь, ощутимо влияет на КПД насоса, снижая его в насосах типа Д6300-80 примерно на 2%, что эквивалентно потере мощности в размере 40 кВт·ч. Полученные в ходе анализа численные данные были подтверждены экспериментально в ходе технических замеров режимов работы указанных насосных агрегатов.

Исследования суточного графика режима работы насосного агрегата 7 до его модернизации показали, что среднечасовой расход электроэнергии составил $P_a=1860$ кВт, воды составил $9080 \text{ м}^3/\text{ч}$. При этом среднесуточный удельный расход электроэнергии на перекачивание 1 м^3 воды агрегатом составил 0.204 кВт·час.

Исследование режимов работы высокорасходных насосов, к которым относится и насос типа Д6300-80, показывают, что выполнение прямых подрезок рабочих колес двустороннего входа со спиральными отводами с удалением поверхностей покрывающих дисков рабочего колеса для согласования характеристики насоса с характеристикой сети приводит к резкому снижению гидравлического КПД насоса. Поэтому уменьшение диаметра рабочего колеса подрезкой целесообразно производить до размера $D_2=900$ мм, а далее только за счет уменьшения длины лопатки рабочего колеса [1,2].

Для более точного исследования и анализа рабочего процесса в рабочем колесе насосов была создана математическая модель рабочего колеса. После введения в нее необходимых технических данных о рабочих режимах работы из опросного листа и технического задания, была получена рабочая характеристика насосного агрегата, которая соответствует представленной на рисунке 1.

Исследования, проведенные с помощью данной математической модели, в которую были заложены особенности подрезки рабочего колеса, согласно изложенных выше результатов исследований, и некоторые известные характеристики сети, дали возможность получить предполагаемые характеристики модернизированного насоса, которые представлены на рис. 2.

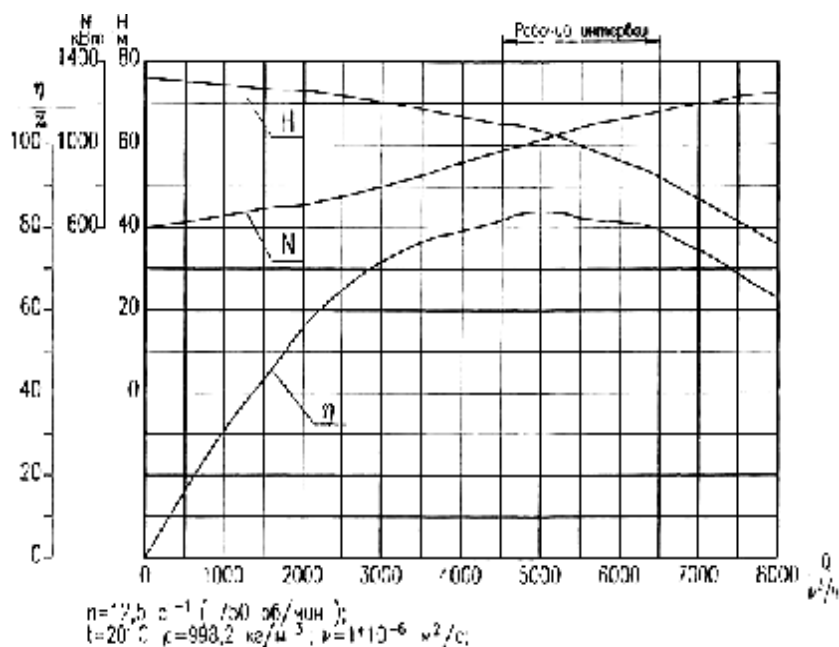


Рисунок 2 - Рабочая характеристика модернизированного насоса Д 6300-80 (D₂=900 мм)

Представленные на рисунке 2 характеристики показывают, что при специальной подрезке стандартного рабочего колеса до диаметра D₂=900 мм и работе его на существующую сеть можно получить следующие параметры:

- подачу $Q = (7500-8000) \text{ м}^3/\text{час}$;
- напор $H = (35-40) \text{ м}$;
- КПД $\eta_r = 63,1\%$;
- рабочую мощность двигателя $N = (1280-1320) \text{ кВт}$.

Модернизация первого насосного агрегата 7 была завершена 15.10.2004г.. Измерения, проведенные во время опытной эксплуатации в течение первых суток 15-16.10.2004 г., дали следующий результат:

- подача воды за 1 час — около 8000 м^3 ;
- напор в магистрали $35-40 \text{ м}$;
- рабочая мощность двигателя — около 1310 кВт .

Показатель эффективности работы насосного агрегата 7 «ПЭНС – 14 км» после модернизации (по удельному расходу электроэнергии на 1 м^3 перекачиваемой воды) составил $0.169 \text{ кВт} \cdot \text{час}$, что примерно на

16% лучше аналогичного показателя до модернизации, составлявшего 0.204 кВт·час на 1 м³ перекачиваемой воды.

По данным замеров за 15-16.10.2004 г. рабочая мощность двигателя насоса в течение суток изменялась от 1296 кВт до 1320 кВт. Учитывая, что до модернизации она составляла 1800 кВт, результатом проведенной работы по модернизации агрегата 7, согласно методике обследования гидравлических сетей, является уменьшение мощности двигателя на 480 кВт.

Поскольку модернизированный агрегат работает параллельно с двумя штатными агрегатами насосной станций, то на такую же величину должна уменьшиться ее суммарная электрическая нагрузка (суммарная мощность).

На рисунке 3 приведен суточный график электрической нагрузки насосной станции «ПЭНС-14 км» за 03.10.2004 г., - до модернизации насосного агрегата 7.

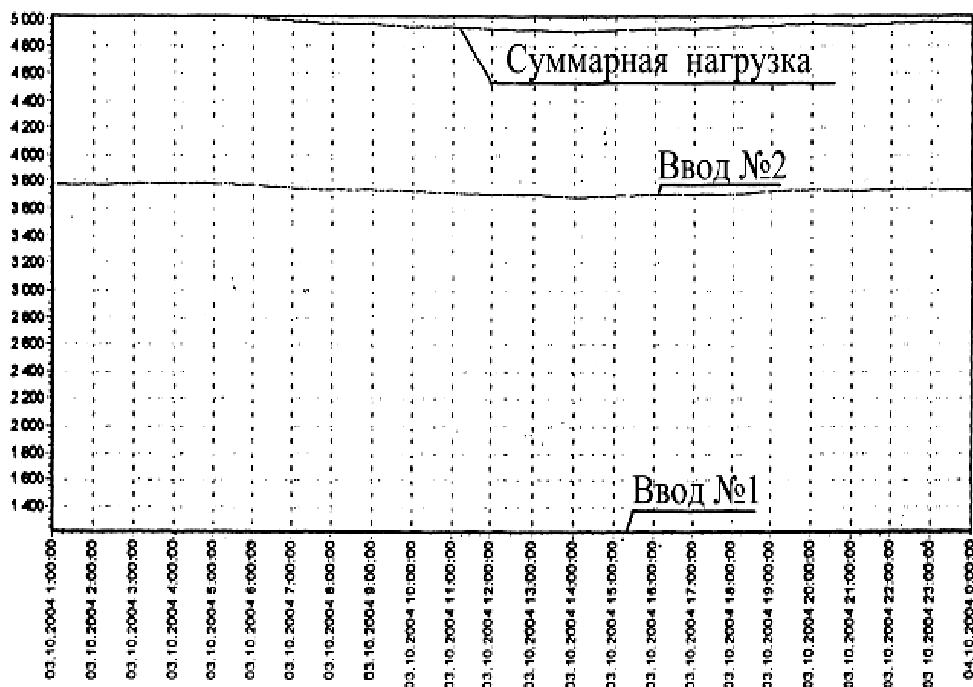


Рисунок 3 - Суточный график нагрузки станции ПЭНС-14 до модернизации агрегата 7

Суточный график электрической нагрузки за 3.11.2004 г., - после модернизации насосного агрегата 7 - приведен на рисунке 4.

Приведенные графики подтверждают факт уменьшения электрической нагрузки как по вводу 2, куда подключен модернизированный насосный агрегат 7, так и по всей насосной станции ПЭНС-14 км (см. график суммарной нагрузки). Учет потребления электрической энергии по насосной станции ПЭНС-14 км осуществляется электронной системой учета электроэнергии с выводом оперативных данных на экран персонального компьютера.

Модернизированный насосный агрегат № 7 включен в опытную эксплуатацию в 15 часов 15.10.2004 г. За первые 15 дней октября месяца потребление активной электроэнергии насосной станцией составило 1773990.1 кВт·час. Среднесуточное потребление электроэнергии в указанный период равно 118266 кВт·час. Этому электропотреблению соответствует среднее значение активной

электрической нагрузки $P = 4927.75$ кВт. Это значение подтверждается графиком на рис.3, где суммарная электрическая нагрузка несколько меньше 5000 кВт.

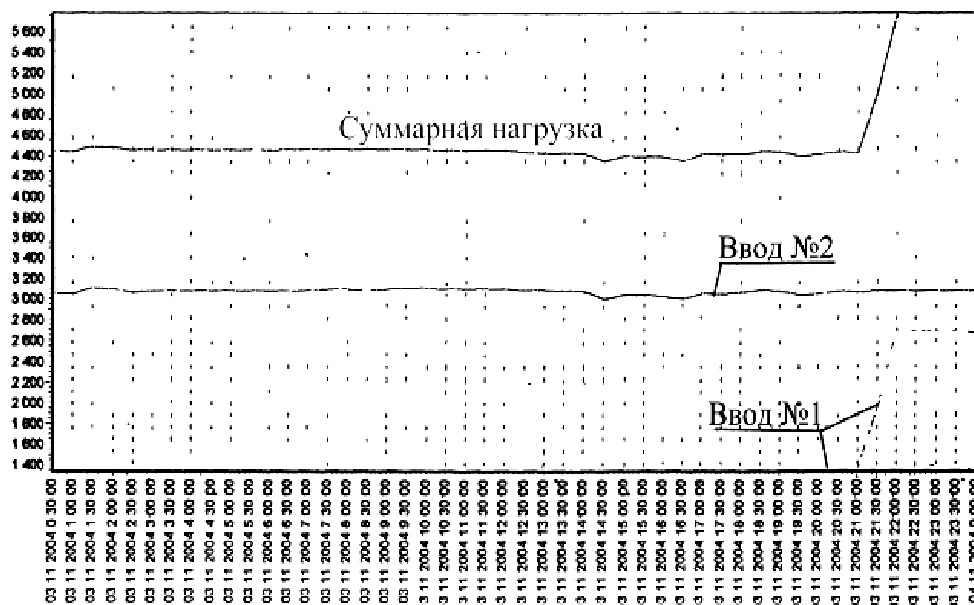


Рисунок 4 - Суточный график нагрузки станции ПЭНС-14 после модернизации агрегата 7

За остальные 16 дней октября месяца потребление активной электроэнергии насосной станцией составило 1741669.1 кВт·час. Среднесуточное потребление электроэнергии в указанный период равно 108854 кВт·час. Этому электропотреблению соответствует среднее значение активной электрической нагрузки $P = 4535,59$ кВт. Последнее подтверждается графиком на рис. 4.

Таким образом, за счет модернизации насосного агрегата 7 среднесуточное потребление активной электроэнергии по насосной станции ПЭНС-14 км снизилось на 9412 кВт·час, что по отношению к среднесуточному потреблению активной электроэнергии до модернизации составляет 7,95%.

ВЫВОДЫ

Подводя итоги, можно отметить, что рассмотренные нами проекты реконструкции насосных станций третьего подъема предприятий, работающих в сфере жилищно-коммунального хозяйства, наглядно демонстрируют эффективное выявление и использование с помощью «Методики энергетического обследования систем водоснабжения промышленных и коммунальных предприятий» имеющегося потенциала энергосбережения на коммунальных водоснабжающих предприятиях городов. Учитывая, что резервы снижения электропотребления, связанные с установлением высокой степени соответствия между фактическим расходом воды в системе и потребляемой электрической мощностью, можно считать показателем эффективности работы как отдельных насосов, так и насосных станций, их практическая реализация путем грамотного подбора насосного оборудования на этапе проектирования при приемлемых сроках окупаемости и сравнительно небольших объемах капитальных вложений может принести значительное сокращение

эксплуатационных расходов при одновременном повышении качества предоставляемых услуг водоснабжения.

Таким образом, при помощи предложенной методики в течение 2003-2004 годов на некоторых действующих объектах ГКП «Горводоканал» г.Сумы и станции повышения давления ПЭНС-14 г. Одессы были обследованы гидравлические сети, в результате чего была улучшена работа насосного оборудования и были получены положительные результаты. Полученные результаты подтверждены соответствующими актами о достигнутых результатах и внедрении методики в производство и апробации ее положений на реальных объектах коммунальных предприятий.

По результатам работы предложенная для обследования гидравлических сетей методика была подана на регистрацию в государственный комитет Украины по энергосбережению, где она была внесена в реестр и ей был присвоен государственный регистрационный номер НДР в УкрІНТЕІ №0204U010757.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник для машиностроительных вузов. /Башта Т.М., Руднев С.С., Некрасов Б.Б. и др.-2-е изд., перераб.-М.: Машиностроение, 1982.-423с.
2. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М.: Машиностроение, 1977.-288 с.

Поступила в редакцию 6декабря 2006 г.

УДК 532.529

О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ КРИТИЧЕСКОГО ИСТЕЧЕНИЯ ВСКИПАЮЩЕЙ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

В.Н. Марченко, канд. техн. наук, доц.; Н.А. Жиленко, инженер
Сумский государственный университет

Обобщены наиболее достоверные экспериментальные данные и внесены коррективы в физическую модель адиабатного истечения вскипающей воды. Предложена методика расчета параметров критического истечения на основе динамической схемы парообразования, моделей спутного течения и термической метастабильности пристенного слоя.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка эффективной струйной термокомпрессорной установки (СТК) [1] для энергосберегающих систем восстановления и производства пара требует создания надежного расчетного метода, позволяющего проектировать проточную часть термокомпрессора. Принцип струйной термокомпрессии предполагает формирование в приемной камере СТК рабочей струи влажного пара, характеризующейся высоким объемным паросодержанием за счет интенсивного вскипания и парообразования в канале активного сопла. Давление в приемной камере P_{II} всегда меньше давления насыщения $P_S(t_0)$, соответствующего начальной температуре подаваемой в активное сопло воды. Течение в канале характеризуется числами Рейнольдса $Re \sim 10^6$. В этих условиях возникает критический режим истечения через активное сопло [2, 3, 4]. При отсутствии общепринятой методики расчета критического истечения двухфазной