

## **СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ ПОВЫСИТЕЛЬНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПУТЕМ ИСКЛЮЧЕНИЯ ЗАВЫШЕННОГО ДАВЛЕНИЯ В ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

**Докт. техн. наук, проф. ЗДОР Г. Н., асп. СИНИЦЫН А. В.**

*Белорусский национальный технический университет*

E-mail: sinitsinav@tut.by

Повышение энергоэффективности работы жилищно-коммунального хозяйства и систем водоснабжения и водоотведения городов является актуальной задачей. Значительная часть энергопотребления систем водоснабжения приходится на насосные станции. В статье рассматриваются вопросы управления режимами работы существующих повысительных насосных станций, оборудованных группой насосных агрегатов, регулируемых с помощью преобразователей частоты. Одно из направлений оптимизации их энергопотребления – снижение избыточного давления в водопроводной сети и поддержание его в пределах нормативных значений. Предложены структура и методология использования автоматизированной системы сбора и анализа данных для выявления и устранения излишнего давления в водопроводной сети. Данная система рассчитана на групповое управление режимами работы повысительных насосных станций на основании информации, полученной с устройств контроля давления у потребителей. Обмен информацией в системе осуществляется по сети GSM.

Приведены данные по результатам испытаний на повысительных насосных станциях в ряде крупных городов Беларуси. Проанализирована зависимость величины излишнего давления в сети от способа поддержания давления на выходе насосной станции (суточный график или постоянное давление). Изучено влияние исключения излишнего давления в водопроводной сети на изменение рабочих режимов насосных агрегатов на повысительной станции. Исследование показало, что исключение излишнего давления в водопроводной сети приводит к уменьшению давления на повысительной насосной станции. Это, в свою очередь, на 15–20 % снижает ее энергопотребление в зависимости от величины зафиксированного излишнего давления.

**Ключевые слова:** повысительные насосные станции, водопроводная сеть, излишнее давление, «диктующая» точка, энергоэффективность, автоматическое управление, Scada-система.

Ил. 4. Табл. 1. Библиограф.: 10 назв.

## **REDUCING THE BOOSTER STATIONS ENERGY CONSUMPTION BY WAY OF ELIMINATING OVERPRESSURE IN THE WATER SUPPLY NETWORK**

**ZDOR G. N., SINITSYN A. V.**

*Belarusian National Technical University*

The energy efficiency improvement of the city housing-and-utilities infrastructure and water-supply and water-disposal systems poses an occurrent problem. The water-supply systems energy consumption sizable share falls on the pump plants. The article deals with the issues of the operating regime management of the existing booster stations equipped with a group of pumping units regulated with frequency converters. One of the optimization directions of their energy consumption is the reduction of over-pressure in the water-distribution network and its sustentation within the regulatory values. The authors offer the structure and methodology of the data collection-and-analysis automated system utilization for revealing and eliminating the overpressure in the water-supply network. This system is designed for the group management of booster-stations operating regimes on the ground of data obtained from the pressure controlling devices at the consumers. The data exchange in the system is realized via GSM.

The paper presents results of the tests carried out at the booster stations in some major cities of the Republic of Belarus. The authors analyze dependence of overpressure in the network on the methods of the plant output pressure sustention (daily graph or constant pressure). The authors study the elimination effect of over-pressure in the water distribution network on changing the booster station pumping units operation regimes. The study shows that eliminating over pressure in the water distributing network leads to lowering the booster station pressure. This in its turn decreases its energy consumption by 15–20 % depending on the over pressure fixed level.

**Keywords:** booster station, water distributive network, over pressure, pressure control point, energy efficiency, automatic control, the Scada system.

Fig. 4. Tab. 1. Ref.: 10 titles.

**Введение.** Объектом исследования являлись повысительные насосные станции (ПНС), которые предназначены для подачи чистой воды потребителям под необходимым давлением. СНБ 4.01.01–03 [1] определяет требуемое минимальное избыточное давление в водопроводной сети на вводе в здание при максимальных и минимальных часовых расходах. Областью исследования были режимы работы ПНС.

Давление на выходе ПНС рассчитывали исходя из необходимости обеспечить нормативное давление в наиболее удаленной либо наиболее высокой точке водопроводной сети (в «диктующей» точке). При этом на некоторых участках в сети наблюдали превышение давления над требуемым значением – излишнее давление. В некоторых случаях излишнее давление неизбежно, что вызвано конструктивными особенностями сети или режимами работы самой насосной станции [2].

Излишнее давление в водопроводной сети приводит к перерасходу электроэнергии на его поддержание, а также к повышению объема утечек. Исследования [3, 4] показывают, что наличие излишнего давления увеличивает утечки и непроизводительные расходы на 13–20 %, а общий расход воды – на 2–5 %. Так, повышение давления на 0,1 МПа приводит к увеличению расхода воды у потребителей на 5–8 %.

Подача воды – энергоемкий процесс, поэтому для снижения энергопотребления существующих ПНС можно выделить следующие основные направления [5, 6]:

- определение величины давления воды на выходе ПНС, которая обеспечивает наименьшее излишнее давление в водопроводной сети;
- разработка алгоритмов управления режимами работы насосных агрегатов на ПНС, которые обеспечат минимальные издержки на поддержание оптимальных режимов давления и расхода.

Цель настоящей статьи – исследование возможностей повышения энергоэффективности работы существующих ПНС путем снижения излишнего давления в водопроводной сети с использованием автоматизированных систем управления (АСУ), а также изучение влияния величины снижения излишнего давления на режимы работы насосных агрегатов, установленных на повысительной станции.

В состав системы водоснабжения городов входит большое количество однотипных ПНС, расположенных на обширной территории и работающих в автоматическом режиме без присутствия персонала. В зоне влияния каждой ПНС может быть одна либо несколько «диктующих» точек. Поэтому для поддержания требуемого давления у потребителей и эффективного

управления режимами работы ПНС предлагается использовать распределенные АСУ, состоящие из центральной диспетчерской системы управления, локальных систем управления ПНС и устройств контроля давления у потребителей. Организация подобной АСУ и способы информационного взаимодействия между ее элементами также являлись важнейшей частью проводимых исследований.

**Методология и методы исследования.** Для достоверного расчета величины излишнего давления в сети необходимо:

- определить места установки контрольных датчиков давления у потребителя, находящегося в наихудших условиях по обеспечению водой. Выбор места установки выполняется на основании расчетов и моделирования гидравлической сети конкретной станции в геоинформационных системах (ГИС);

- обеспечить надежный и непрерывный сбор данных об уровне давления у потребителя (в «диктующей» точке) за период времени, позволяющий оценить величину излишнего давления в различных режимах работы станции;

- вычислить фактический режим водопотребления в сети путем установки расходомеров на насосной станции либо методом расчета расхода с помощью математической модели напорной характеристики насосного агрегата.

При проведении исследования использовали централизованную систему сбора и обработки данных на базе Scada-системы. Схема организации сбора данных представлена на рис. 1. Поскольку ПНС являются однотипными объектами управления, в приведенном далее в статье примере для упрощения рассматривали лишь одну ПНС. Однако предлагаемые принципы могут быть применены для управления большим количеством ПНС.

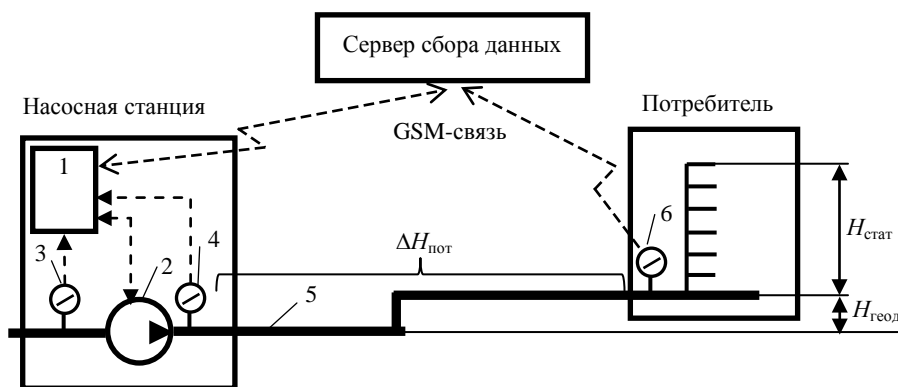


Рис. 1. Схема организации сбора данных

Исследования проводили на ПНС с одним или несколькими насосными агрегатами, работающими на изолированную сеть. Станции оснащены современными системами управления 1 на базе программируемых логических контроллеров, а также преобразователями частоты для регулирования производительности насосных агрегатов 2. Система управления на основании показаний датчиков входного 3, выходного 4 и заданного выходного давления регулирует производительность насосных агрегатов. Заданное давление на выходе станции обычно рассчитывается технологом с учетом

следующих параметров:  $\Delta H_{\text{пот}}$  – потери давления в трубопроводе 5;  $H_{\text{геод}}$  – разница геодезических отметок выходного трубопровода станции и отметки трубопровода на входе в здание;  $H_{\text{стат}}$  – статический напор, необходимый для подъема воды на верхний этаж здания.

Для измерения избыточного давления в водопроводной сети у потребителя на трубопроводе на вводе в здание размещали устройство сбора и передачи данных с датчиком давления. Информация о режимах работы насосной станции и давлении у потребителя передавалась по GSM-связи на сервер сбора данных (Scada-систему). В последующем проводили сравнение давления у потребителя с нормативными значениями и рассчитывали потери давления в сети. Также устанавливали взаимосвязь между выходным давлением на ПНС и давлением у потребителя. Производили расчет необходимого изменения давления на выходе ПНС для обеспечения нормативного давления у потребителей.

Традиционный метод предполагает использование автономных самописцев, которые осуществляют измерения давления и сохранение их результатов на носитель без непрерывной передачи данных. Анализируя сохраненные данные, технолог может определить величину избыточного давления и скорректировать режим работы насосной станции. Однако такой метод имеет ряд недостатков:

- данные анализируются не в режиме реального времени;
- анализ и расчеты, как правило, производятся технологом вручную.

Существуют системы сбора данных с «диктующих» точек, которые обеспечивают мониторинг давления в сети, однако напрямую данные из них не используются в управлении. Предлагается применять АСУ на базе Scada-системы, которая осуществляет сбор данных с «диктующих» точек, определяет фактические режимы водопотребления и на основании этих данных управляет процессом поддержания давления у потребителя.

Важным аспектом установления необходимых режимов работы насосных станций является синхронизация данных: давление на выходе станции и давление у потребителя должны измеряться одновременно. Без этого составить математическое описание зависимости между ними сложно и достоверность расчетов существенно снижается.

В ходе исследования все данные о работе станций и давлении у потребителя поступали в центральную базу данных. Поскольку не все ПНС оснащены проводными линиями связи, а в местах установки «диктующих» точек проводную связь также организовать невозможно, то в системе обмен данными осуществлялся только через GSM-связь. Она обладает рядом преимуществ, таких как широкая зона покрытия, низкая стоимость передачи данных, небольшие затраты на оборудование. Существенными недостатками в ее работе являются возможность обрывов связи и потери данных. Чтобы снизить влияние этих факторов, в системе сбора использовали специализированный протокол передачи данных со штампом времени [7]. Такая структура системы позволила существенно повысить достоверность проведения исследования, а также организовать надежное управление режимом работы насосных станций.

**Организация исследования.** По предложенной структуре построена система сбора данных и проведены замеры давления воды в трубопроводе

на входе в здание. Исследования проводили в ряде крупных городов Республики Беларусь.

Баланс между энергопотреблением ПНС и качеством водоснабжения достигается, если давление у потребителя находится в пределах норм [1]. Для многоэтажной застройки требуемое минимальное избыточное давление следует определять:

- при максимальном часовом расходе

$$p_{\max} = 0,1 + (n - 1) \cdot 0,04; \quad (1)$$

- при минимальном часовом расходе

$$p_{\min} = 0,1 + (n - 1) \cdot 0,03; \quad (2)$$

где  $n$  – число этажей в здании.

По результатам исследования можно выделить два вида графиков изменения давления у потребителей: при постоянном и переменном выходном давлении на станции (в соответствии с суточным графиком давления). Примеры графиков представлены на рис. 2.

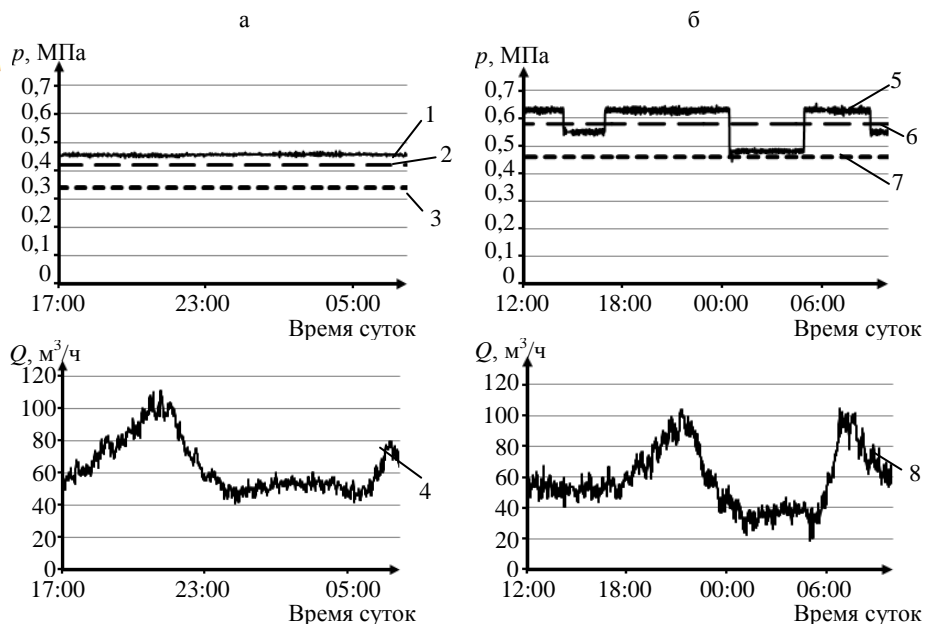


Рис. 2. Изменение давления воды в «диктующей» точке и расхода воды на станции: а – при постоянном давлении на выходе станции; б – при переменном выходном давлении в соответствии с суточным графиком

На рис. 2а показано изменение давления воды в трубопроводе 1 на входе в девятиэтажное здание («диктующая» точка). Измеренное давление постоянно превышает минимальное и максимальное нормативные значения давления (линии 3 и 2). Давление на выходе станции поддерживается постоянным в независимости от изменения расхода (кривая 4).

На рис. 2б показано изменение давления воды в трубопроводе 5 на входе в тринадцатипятиэтажное здание («диктующая» точка). Измеренное давление периодически превышает максимальное нормативное значение давления (линия 6). При этом в ночной период измеренное давление близко

к минимальному нормативному давлению 7. Нормативные значения давления для заданной этажности рассчитаны по формулам (1) и (2).

Для оценки снижения энергопотребления ПНС использовали относительную величину превышения давления над нормативным значением и длительность наблюдавшегося превышения. При таком подходе этажность здания не влияет на результат. Поддержание постоянного давления на выходе ПНС нерационально для исключения излишнего давления, поскольку даже в случаях минимального водоразбора в дневные или ночные часы у потребителя давление превышает нормативное значение.

Поддержание выходного давления по расчетному суточному графику позволяет добиться существенного снижения излишнего давления. Но на динамику водопотребления оказывает влияние множество внешних факторов: погодные, временные, социальные и т. д. Кроме этого, на величину давления у потребителя может влиять и изменение состояния (износ или зарастание) трубопроводов. При теоретических расчетах это учитывается путем использования различных суточных и часовых коэффициентов неравномерности [1].

Проведенные исследования также подтверждают наличие существенных различий между расчетным суточным графиком давления и реальным режимом водопотребления. Как видно из рис. 2б, форма суточного графика давления 5 не совпадает с формой фактического расхода воды 8.

Рассмотрим, как изменяется режим работы ПНС при исключении излишнего давления на следующем примере. Исходная информация о ПНС:

- высота жилой застройки – 9 этажей;
- тип насосного агрегата КМ100-80-160, мощность 15 кВт;
- режим работы ПНС – постоянное давление на выходе станции;
- регулирование производительности насосного агрегата осуществляется с помощью преобразователя частоты;
- график давления в «диктующей» точке приведен на рис. 2а.

В ходе исследования на данной станции выходное давление было снижено. В этом случае добивались того, чтобы давление в «диктующей» точке удерживалось в пределах зоны нормативного давления в дневное время и равнялось минимальному нормативному значению в ночное время. Управление давлением на выходе насосной станции реализовывали следующим образом. Scada-система получала информацию о текущем давлении на выходе станции и фактическом давлении у потребителя. По полученным данным она производила расчет заданного выходного давления для насосной станции, чтобы у потребителя было необходимое давление. Результаты расчета поступали в программируемый логический контроллер локальной системы управления, который, в свою очередь, осуществлял поддержание этого задания.

Зависимости изменения давления воды в «диктующей» точке и расхода воды на насосной станции в обоих режимах представлены на рис. 3. Как видно из графиков, исключение излишнего давления в водопроводной сети незначительно повлияло на расход воды в периоды максимального разбора. При этом уменьшение давления в ночное время привело к существенному снижению расходов воды. Ночные расходы воды обычно являются индикатором наличия утечек. Таким образом, снижение расхода в ночное время свидетельствует и об уменьшении утечек.

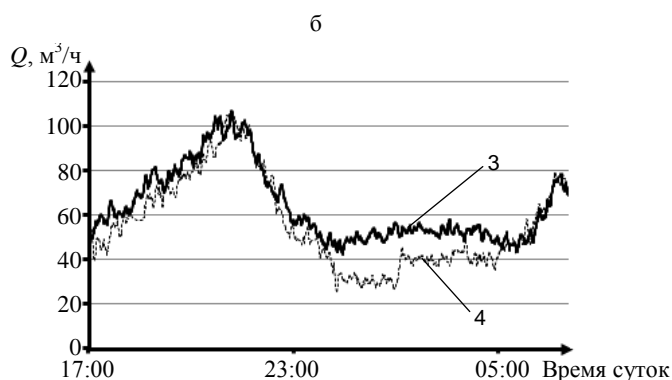
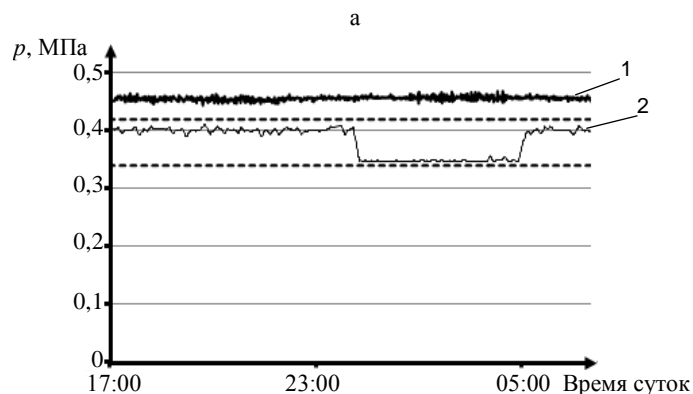


Рис. 3. 1, 2 – давление воды в «диктующей» точке; 3, 4 – расход воды на насосной станции при постоянном давлении на выходе станции и при исключении излишнего давления соответственно

Сводные параметры режимов работы станций приведены в табл. 1.

Таблица 1

Параметры работы насосной станции

Наименование режима	Среднее давление в «диктующей» точке, МПа	Средний расход воды, м <sup>3</sup> /ч	Суточное потребление электроэнергии, кВт·ч
С излишним давлением в сети	0,451	62,0	108,4
Без излишнего давления в сети	0,381	56,1	85,6

По результатам эксперимента среднее давление в «диктующей» точке снизилось на 15,5 %, затраты электроэнергии – на 21,0 %.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Проведенные исследования показали: в большинстве случаев режимы работы повысительных насосных станций таковы, что в гидравлической сети присутствует излишнее давление. Величина этого излишнего давления зависит от способа поддержания выходного давления на станции (постоянное давление или суточный график), а также от фактического режима водопотребления. Кроме того, очень важную роль играет точность расчетов, произведенных технологом при определении требуемого давления на выходе насосной станции. В данных расчетах основными параметрами являются максимальные и ми-

нимальные часовых расходы воды, а также потери на трение в трубопроводе. Такие параметры рассчитываются с помощью различных эмпирических коэффициентов [1]. На эти характеристики оказывает влияние множество внешних факторов, которые весьма сложно учесть. Поэтому предлагается использовать распределенные АСУ с контролем давления у потребителя и учетом фактических расходов воды для определения требуемого давления на насосной станции. Под распределенными системами управления в данном случае понимается сочетание локальных систем управления насосными станциями (отвечающих за базовое управление ее работой) и центральной диспетчерской системы управления (осуществляющей сбор данных о реальном давлении у потребителей и рассчитывающей заданное давление для насосных станций).

Выполненные эксперименты показали, что исключение излишнего давления приводит к снижению энергопотребления насосных агрегатов. В рассматриваемом примере снижение энергопотребления насосной станции составило 21 %. В среднем, исходя из анализа данных, полученных при испытаниях на ПНС, их энергопотребление снизилось на 18 %.

Однако важным фактором, который необходимо учитывать для расчета экономии электроэнергии при исключении излишнего давления, является смещение рабочих режимов существующих насосных агрегатов. При исключении излишнего давления в сети, как правило, происходит значительное уменьшение выходного давления станции. В этом случае снижается давление, развиваемое насосным агрегатом, а при частотном регулировании производительности насосного агрегата – и частота его вращения. Поэтому режимные точки станции могут перемещаться в зону меньшей эффективности насосного агрегата. Под режимными точками станции в данном случае понимаются расход и давление, развиваемые насосным агрегатом в каждый момент времени. Массивы режимных точек до и после исключения излишнего давления для исследуемой ПНС показаны на рис. 4.

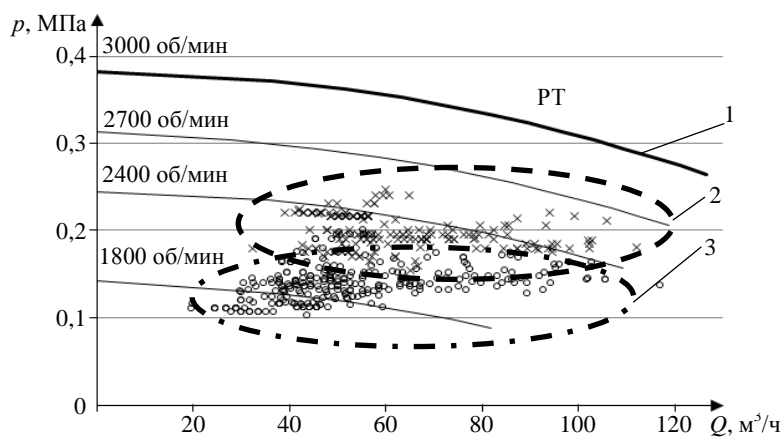


Рис. 4. Режимные точки работы насоса:  
 × – до исключения излишнего давления; о – то же после

Также на рис. 4 показаны: паспортная напорная характеристика 1 насосного агрегата КМ-100-80-160, работающего на станции, тонкими линиями – напорные характеристики насосного агрегата при его работе с различными скоростями вращения (1800–3000 об/мин). Эллипсы 2 и 3 –



это границы нахождения режимных точек работы станции до и после включения давления.

Согласно [8] при регулировании скорости вращения насосного агрегата его напорная характеристика станет смещаться параллельно вниз. При этом насос не будет сохранять постоянный КПД [8–10]. Максимальной величины КПД достигает при расчетном значении скорости вращения в рабочей точке (РТ). При других скоростях, меньших или больших номинальной, КПД будет уменьшаться по мере увеличения отклонения скорости от номинальной. При малых скоростях вращения заметнее сказываются механические потери.

Зона 2 распределения режимных точек насоса до оптимизации давления у потребителя находится в зоне относительно высоких скоростей вращения – 2100–2700 об/мин, а соответственно и относительно высоких КПД – около 50–70 % (номинальный КПД насоса 76 %). После проведения оптимизации давления фактические режимные точки насоса переходят в зону 3, смещаясь вниз и влево. Величина смещения фактических режимных точек зависит от значения выявленного излишнего давления и характеристики водопроводной сети. Насос работал на скоростях 1620–2400 об/мин, в этой зоне КПД насоса менее 50 %. Это приводит к снижению общего энергосберегающего эффекта, полученного от исключения излишнего давления в сети. Таким образом, исключение излишнего давления изменяет режим работы насосных агрегатов, установленных на ПНС. Поэтому дополнительный энергосберегающий эффект может быть получен за счет установки насосного агрегата, соответствующего новым режимам работы.

Основная функция системы водоснабжения – бесперебойное обеспечение потребителей питьевой водой высокого качества. Поэтому при проведении оптимизации режимов работы насосных станций и исключении излишнего давления в сети не должно происходить сбоев в водоснабжении. Давление в сети следует снижать не только с учетом нормативных требований СНБ, но и жалоб потребителей. Поэтому АСУ водоснабжения должна осуществлять поддержание давления у потребителей с учетом фактической информации о режимах водопотребления, чтобы во время повышенного водопотребления в сети было достаточно высокое давление.

## **ВЫВОД**

Согласно проведенному анализу данных о режимах работы существующих повысительных насосных станций, более 80 % из них поддерживают излишнее давление в сети. В среднем величина излишнего давления составляет 8,6 %. При исключении излишнего давления энергопотребление насосных станций может снижаться на 15–20 %. Если производительность насоса, установленного на станции, превышает требуемые значения (расхода и давления), снижение выходного давления приводит к уменьшению его КПД и КПД повысительных насосных станций в целом. Для повышения КПД повысительных насосных станций при сохранении новых режимов работы станции целесообразно заменить насос на менее производительный, что позволит дополнительно снизить энергопотребление станции на 5–10 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы Республики Беларусь. Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования: СНБ 4.01.01–03: утв. Минстройархитектуры Республики Беларусь 30.12.05: взамен разд. 1, подразделов «Расчетные расходы» и «Свободные напоры» разд. 2, разд. 3 и 4: введ. 01.01.05. – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 22 с.
2. П о с о б и е по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения: СНиП 2.04.02–84. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 30 с.
3. Л е з н о в, Б. С. Экономия электроэнергии в насосных установках / Б. С. Лезнов. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
4. Э г и л ь с к и й, И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды / И. С. Эгильский. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 216 с.
5. З д о р, Г. Н. Задачи оптимального управления на локальных повысительных насосных станциях / Г. Н. Здор, А. В. Синицын // Автоматизация и роботизация процессов и производств: материалы Республ. науч.-практ. семинара / редкол.: Ф. И. Пантелеенко [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2014. – С. 127.
6. З д о р, Г. Н. Управление режимами работы повысительных насосных станций в функции реального давления у потребителя / Г. Н. Здор, А. В. Синицын, Р. С. Кадемик // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / редкол.: Ф. И. Пантелеенко [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2015. – С. 150.
7. У с т р о й с т в а и системы телемеханики. – Ч. 5: Протоколы передачи. Разд. 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей: ГОСТ Р МЭК 60870-5-104–2004. – Введ. 01.07.2005. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 45 с.
8. К а р е л и н, В. Я. Насосы и насосные станции: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
9. П е т р о с о в, В. А. Устойчивость водоснабжения / В. А. Петросов. – Харьков: Издательский дом «Фактор», 2007. – 360 с.
10. Г о р ш к о в, А. М. Насосы / А. М. Горшков. – М.: Госэнергоиздат, 1947. – 190 с.

## REFERENCES

1. C o n s t r u c t i o n Norms of the Republic of Belarus 4.01.01–03. Drinking Water-Supply. General Provisions And Requirements. Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2004. 22 p. (In Russian).
2. C o n s t r u c t i o n Norms and Rules 2.04.02–84. Manual for Design of Automation and Control Systems of Water Supply Systems. Moscow, Central University of Standard Design. USSR State Construction Committee, 1989. 30 p. (in Russian).
3. L e z n o v, B. S. (1991) *Electricity Saving in the Pumping Station*. Moscow, Energoatomizdat. 144 p. (in Russian).
4. E g i l s k i, I. S. (1988) *Automated Process-Control Systems for the Water Supply and Distribution Technological Processes*. Leningrad, Stroiizdat. 216 p. (in Russian).
5. Z d o r, G. N., & Sinitsyn, A. V. (2014) Objectives of the Optimal Control in the Local Boosting Pump Stations. *Materials of the Republic Scientific-Practical Seminar 'Processes and Production Automation and Robotization'*. Minsk, Biznesofset, 127 (in Russian).
6. Z d o r, G. N., Sinitsyn, A. V., & Kademik, R. S. (2015) Operating Mode Control of the Booster Pump Station as a Function of the Actual Pressure at the Side of the Customer. *Innovatsionnye Tekhnologii, Avtomatizatsiia i Mekhatronika v Mashino- i Priborostroenii: Materialy III Mezhdunar. Nauch.-Prakt. Konf.* [Innovation Technologies, Automation and Mechatronics in Mechanical and Instrument Engineering: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Scientific-Practical Conference]. Minsk, Biznesofset, 150 (in Russian).
7. G O S T R I E C 60870-5-104–2004. Telecontrol Equipment and Systems. Part 5. Transmission Protocols. Section 104. Network Access for IEC 60870-5-101 Using Standard Transport Profiles. Moscow, IPK Izdatelstvo Standartov. 45 p. (in Russian).
8. K a r e l i n, V. Ya., & Minaev, A. V. (1986) *Pumps and Pump Stations*. Moscow, Stroyizdat. 320 p. (in Russian).
9. P e t r o s o v, V. A. (2007) *Sustainability of Water Supply*. Kharkov, Factor. 360 p. (in Russian).
10. G o r s h k o v, A. M. (1947) *Pumps*. Moscow, Gosenergoizdat. 190 p. (in Russian).

Представлена кафедрой  
робототехнических систем

Поступила 31.03.2015