

ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

Александр Ткачук

Национальный университет водного хозяйства и природопользования
Адрес: Украина, г. Ровно, ул. Соборная, 11
E-mail: tkachuk_mbg@ukr.net

Аннотация. На основе результатов исследований работы городских систем подачи и распределения воды определены наиболее рациональные пути их усовершенствования с целью улучшения водоснабжения и энергосбережения.

Ключевые слова: водопроводные сети, насосные станции, системы подачи и распределения воды, потери воды, утечки воды, избыточные напоры.

ВВЕДЕНИЕ

Любая система водоснабжения города должна обеспечить качественной водой всех потребителей и, особенно, население. При этом ее работа должна быть надежной, экономичной и эффективной с точки зрения рационального использования воды, охраны окружающей среды и ряда других требований ее функционирования в городских условиях [1, 2, 3]. Эти требования в первую очередь относятся к наиболее стоимостной, масштабной и технологически сложной части системы водоснабжения города – комплексу гидравлически взаимодействующих сооружений в составе водопроводных сетей, насосных станций и напорно-регулирующих емкостей, составляющих систему подачи и распределения воды (СПРВ) [6, 12]. Как технологическая структура она характеризуется конструктивной сложностью, динамичностью состояния и несовершенством работы (даже для небольших объектов – это сотни километров водоводов и водопроводных сетей из труб разных материалов и диаметров, построенных в разные годы, несколько мощных главных насосных станций и подкачки, напорно-регулирующие сооружения, емкостью в десятки тысяч м.куб).

Именуемые недостатки в работе СПРВ вызваны не только неудовлетворительным состоянием сооружений (изношенность и аварийность сетей, утечки воды и др.), что имеет место в практике, но и несоответствием их параметров и конструктивных схем новым условиям функционирования. Это приводит к неудовлетворительному обеспечению водой потребителей, увеличению строительной стоимости СПРВ и эксплуатационных затрат на ее содержание, перерасходу электроэнергии на подачу воды и ее потерь через утечки.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ, МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Проведённые исследования [4..22] указывают, что функционирование СПРВ в нынешних условиях имеет свои характерные особенности, повязанные с перманентными изменениями их параметров,

требует детального анализа их тенденций и усовершенствования с целью стабилизации водоснабжения и ресурсосбережения.

Среди основных особенностей функционирования действующих СПРВ населенных пунктов Украины выявлены такие [6, 12]:

- *уменьшение объемов поданной воды* (обусловлено сокращением расходов воды промышленностью, внедрением водомерного учета и постоянным удорожанием электроэнергии, как основного энергоносителя);
- *увеличение неучтенных потерь воды* (утечек, нерационального водопотребления, как разницы между фактическими расходами и рассчитанными по нормам водопотребления, несанкционированных отборов воды);
- *увеличение аварийности* трубопроводов и оборудования в связи с их старением, низким уровнем планово-профилактического обслуживания, несвоевременными ремонтами и заменой (иногда практически полной ее отсутствием);
- *ухудшение гидравлических характеристик* водоводов и водопроводных сетей (рост гидравлических сопротивлений труб, неконструктивные изменения в схемах сетей, разборах воды из них и др.);
- *уменьшение общих, но увеличение удельных расходов электроэнергии*, в основном, в связи с изношенностью насосных агрегатов;
- *понижение показателей надежности* в связи со старением и изношенностью сооружений, трубопроводов и оборудования, низким уровнем их замены или восстановления.

В последние годы в Украине среднее удельное водопотребление составляет 320, а в отдельных городах – 173..422 л/сутки на человека. В странах Европы эти показатели намного ниже. На водопроводах городов Украины преобладают отборы воды населением и неучтенные расходы (утечки, нерациональное использование воды, технологические расходы). Из-за неудовлетворительного технического состояния и изношенности трубопроводов, доля неучтенных расходов воды в отдельных городах составляет свыше 80 %.

На подачу питьевой воды в СПРВ расходуется свыше 70 % электроэнергии, что потребляется всем водопроводно-канализационным хозяйством городов Украины. При этом средние удельные расходы электроэнергии на подачу воды составляют около 1,0 кВт-год/м³. Они превышают аналогичные показатели европейских государств в 1,8..2,6 раза. Стоимость электроэнергии составляет значительную часть прямых расходов в себестоимости воды (иногда до 70 %).

Статистические данные свидетельствуют, что вследствие неудовлетворительного технического состояния сетей и насосного оборудования нерациональные расходы электроэнергии составляют до 30% и более. Это связано с несовершенством СПРВ, неэффективной работой установленного насосного оборудования, значительными утечками и потерями воды (до 50%). Полностью амортизированы 30% насосных агрегатов, а 98% требуют замены. Основные причины перерасхода электроэнергии заключаются в следующем: значительные потери напора в водоводах и водопроводных сетях за счет увеличения гидравлических сопротивлений труб в связи с их коррозией и наличием дополнительных местных сопротивлений; неконструктивные схемы СПРВ, отсутствие или неэффективность зонирования и расположения напорно-регулирующих сооружений; неоптимальные режимы работы насосных агрегатов на сеть, особенно при введении графиков подачи воды, эксплуатация изношенного насосного оборудования с низкими КПД; увеличенные расходы воды, подаваемой в сеть, за счет утечек и нерационального ее использования потребителями и др.

Треть коммунальных водопроводных сетей (более 37 тыс. км) требует замены из-за интенсивного старения и изношенности трубопроводов. При этом потери воды в них из-за утечек составляют более 25%. Большинство водопроводных труб эксплуатируется более 30 лет, что негативно отражается не только на их гидравлических характеристиках, но и на показателях надежности. Установлено, что с увеличением срока эксплуатации аварийность труб, особенно стальных, возрастает из-за их коррозии. Так, на трубы, эксплуатируемых более 20 лет, приходится более половины всех отказов из-за аварий, ликвидация которых требует раскопок. В основном трубы (более 80%) имеют на внутренней поверхности отложения коррозионного характера, которые приводят к увеличению гидравлических сопротивлений труб в 1,5..5,0 и более раз. На степень увеличения сопротивлений труб, кроме их материала и химического состава воды, существенно влияют режимы подачи воды по трубопроводам и срок эксплуатации. При этом важным является местонахождение участка трубопровода в системе, скорость движения воды, характер их изменения во времени и т.п.

Одним из наиболее влиятельных факторов на аварийность сетей и величины утечек воды из них - есть напор воды [4, 6, 12, 17, 18, 21]. Поэтому во многих странах мира величины максимально допустимых напоров в водопроводных сетях нормируются. В частности, в Италии они составляют 61,2 м.вод.ст., в Великобритании, Ирландии - 30, в Нидерландах - 20. В Украине до недавнего времени было 60 м.вод.ст. [3], а с января 2014г. составляет 45 м.вод.ст. [1]. Соблюдение этих нормативных величин напоров значительно снижает аварийность трубопроводов, уменьшает утечки и нерациональные отборы воды.

В работе современных СПРВ наблюдается вторичное загрязнение воды при транспортировке ее по водопроводным трубам. Вследствие этого, качественно подготовленная питьевая вода на водопроводных очистных сооружениях после подачи в сеть не соответствует современным нормативным требованиям в местах ее разбора. Вторичное загрязнение связано с состоянием водопроводных сетей и режимами их работы. Среди основных факторов, влияющих на вторичное загрязнение воды - время пребывания воды в трубах, образование вакуума в них, коррозионные свойства воды, качество материала труб и др.

Такое состояние СПРВ указывает на необходимость их усовершенствования и полной реновации трубопроводов и оборудования. Важным есть изменение условий проектирования их реконструкции и модернизации с учетом существующих проблем и тенденций развития, изменение основных параметров в процессе эксплуатации, а также ресурсосбережения.

Для этого на действующих СПРВ проводят работы по диагностике, наладке и оптимизации их работы. Они проводятся комплексно, в определенной последовательности и предусматривают [10, 12]:

- *анализ СПРВ* (экспертная оценка информации о параметрах СПРВ и проверка на местах состояния насосных станций, РЧВ, водоводов, сетей и оборудования на них, анализ баланса подачи и потребления воды, выявления конструктивных недостатков в схеме и работе СПРВ и т.п.);
- *исследования СПРВ* (манометрическая съемка, определение фактических характеристик насосов и трубопроводов, выявление причин их изменений во времени, изучение режимов водопотребления);
- *моделирования СПРВ и ее расчет на ЭВМ* с целью определения наиболее рациональных путей совершенствования СПРВ, повышение надежности и экономичности ее работы;
- *наладка и (или) реконструкция СПРВ* (устранение выявленных "узких" мест, переоборудование насосных станций; поэтапная реконструкция СПРВ; санация и реновация трубопроводов и т.п.).

Работы по оптимизации СПРВ предусматривают определение наиболее целесообразного варианта усовершенствования ее схемы, параметров и режимов работы при нормативных технических ограничениях, в частности обеспечение всех потребителей водой при напорах, не превышающих допустимые, условий экономичности и надежности. Для этого проводится моделирование отдельных элементов СПРВ и режимов их совместной работы, а на их основе проводятся все расчеты, как при проектировании новых или реконструкции действующих СПРВ, так и оценке их эффективности в процессе эксплуатации. Основные вопросы моделирования и расчетов СПРВ можно отнести к трем группам [12]:

- *водопотребления* и формирования разбора воды из водопроводных сетей (установка расчетной нагрузки на систему);
- *гидравлические расчеты* отдельных элементов СПРВ и их совместной работы (так называемые «проверочные» расчеты);
- *техничко-экономические расчеты* (установление схем СПРВ, диаметров трубопроводов, размеров сооружений и т.п.).

Оценку режимов водопотребления, как случайных процессов, осуществляют на основании двух основных методов - вероятностном и статистическом. Однако, имеющиеся в нормативах требования [1, 3] не позволяют достоверно оценить нагрузку на систему для различных уровней обеспеченности, что важно как для системы в целом, так и для отдельных ее элементов. Кроме того, уровни обеспеченности вообще не нормируются.

Гидравлические расчеты водопроводных сетей проводят с 30-х годов прошлого века. Современная компьютерная техника позволяет эффективно проводить высокопроизводительные гидравлические расчеты совместной работы водопроводных сетей и взаимодействующих с ними сооружений, входящих в состав систем подачи и распределения воды, с максимальным учетом их особенностей и сервиса для пользователей. Программы для ЭВМ ориентированы на ГИС-технологии, что создает условия для качественного и быстрого формирования исходных данных путем импорта файлов с других ГИС-моделей. Это программные комплексы WaterCAD® 6.0 компании Haestad Methods, EPANET Льюиса А. Росмана, ZuluHydro ООО «Политерм» и др. [12].

Наряду с весомыми положительными сторонами, эти компьютерные программы не учитывают изменения величин отборов воды от напоров в узлах, имеют трудности определения изменений гидравлических сопротивлений во времени. При их использовании возникают проблемы с точностью оптимизационных расчётов из-за отсутствия надлежащего математического аппарата и моделирования изменений влиятельных параметров в процессе эксплуатации.

Техничко-экономические расчеты, в ходе которых определяют экономически выгодные параметры сооружений водопроводных сетей, обычно проводят без достаточного учета взаимовлияния других сооружений СПРВ и показателей их надежности. Но наибольшим недостатком существующих методов является то, что они не учитывают изменения параметров сооружений и трубопроводов в процессе эксплуатации, стохастический характер влияющих факторов на режимы работы, взаимосвязей между рабочими параметрами отдельных элементов СПРВ.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оптимизация сетей водоснабжения города требует учета многих факторов, определяющих их состояние, взаимосвязь с другими влияющими сооружениями СПРВ и должна базироваться на современном математическом аппарате, позволяющем моделировать большое количество элементов и режимов работы СПРВ. Используемые с целью оптимизации существующие методы расчетов СПРВ не учитывают изменения влиятельных параметров в процессе эксплуатации, зависимость отборов воды от напоров. Кроме того, отсутствуют методики определения расчетных расходов воды в зависимости от заданных уровней обеспеченности и категорий СПРВ; расчеты экономически выгодных диаметров трубопроводов и определения конструктивных схем СПРВ проводят без учета их показателей надежности и стохастических изменений в режимах их работы.

Настоящим исследованием предусмотрено определение наиболее эффективных путей решения указанных вопросов и обоснование возможности применения полученных ранее результатов при проведении оптимизации сетей водоснабжения города.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Критерием оптимизации водопроводной сети города с целью определения наиболее целесообразного варианта ее усовершенствования при соответствии параметров сети нормированным техническим ограничениям и условиям надежности может выступать дисконтированная величина суммарных финансовых расходов на строительство и содержание сети и взаимодействующих с ней сооружений, то есть всей СПРВ [12]:

$$B_n = \sum_{t=0}^T \frac{K_t + B_{\text{эспл}t}}{(1+e)^t} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где: K_t – стоимость строительных работ в t -й год; $B_{\text{эспл}t}$ – эксплуатационные расходы в t -й год; T – срок реализации проекта, год; e – коэффициент дисконтирования.

Поиск оптимальных параметров сети или ее схемы сводится к нахождению минимальных величин B_n дисконтированных к началу реализации проекта. Для этого производится сравнение нескольких технически равнозначных вариантов или нахождение экстремума функции цели. В первом случае, например, при рассмотрении схем сети, определяются численные значения B_n для разных вариантов. Во втором – все величины, входящие в формулу (1) рассматриваются как математические зависимости, и производится исследование общего их выражения (функции цели) на экстремум. На основании этого способа определены аналитические выражения для нахождения экономически выгодных диаметров труб сети, параметров насосных станций, питающих водопроводную сеть, станций подкачки и др.

Для определения экономически выгодных диаметров труб сети и водоводов получена формула:

$$d_{ек} = E \cdot k_{qt} \cdot Q_{cp.нс.о}^{\frac{\beta+1}{\alpha+m}}, \quad (2)$$

где: E – параметр, учитывающий показатели стоимости строительства и эксплуатации трубопровода (экономический фактор); для условий Украины можно принимать равными: $E = 0,8...1,1$; k_{qt} – обобщенный коэффициент относительной загрузки участка сети; $Q_{cp.нс.о}$ – средняя (за год) подача воды в сеть в начальный период, м³/с; α , β , m – показатели степени, зависящие от материала труб, приведенные в табл. 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов и показателей степеней для труб из разных материалов [12]

Table 1. Values of the coefficients and exponents for pipes of different materials

Трубы	k	β	m	α
Стальные	0,00148	1,93	5,08	1,1/1,15
Чугунные	0,00163	1,81	4,90	1,6/1,5
Железобетонные	0,00169	1,85	4,89	2,05/2,4
Пластмассовые	0,00105	1,774	4,774	1,8/1,5

Примечания: 1. Коэффициенты k принимают для q , м³/с, и d , м; 2. Над чертой приведены величины параметра α для водоводов, а под чертой – для водопроводных сетей.

Обобщенный коэффициент относительной загрузки участка k_{qt} определяют по формуле:

$$k_{qt} = \left(\frac{k_d \beta}{n} \right)^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot k'_{qt}, \quad (3)$$

где: k_d – коэффициент загрузки участка, определяемый как отношение суммы расходов воды на участке до подачи насосной станцией для расчетного случая на среднее водопотребление в начальный период;

n – количество ниток трубопроводов в сечении сети с данным участком;

k'_{qt} – множитель, учитывающий изменение влиятельных параметров, который рассчитывают по формуле:

$$k'_{qt} = k_{q\sigma} \cdot k_{q\eta} \cdot k_{qt} \cdot k_{qK}^2 \cdot k_{qe} \cdot k_{qT}, \quad (4)$$

где: $k_{q\sigma}$, $k_{q\eta}$, k_{qt} , k_{qK} , k_{qe} и k_{qT} – коэффициенты, учитывающие изменение стоимости электроэнергии, коэффициентов полезного действия насосных агрегатов, размеров водопотребления, неравномерности подачи воды, коэффициента дисконтирования и сроков реализации проектов, которые определяют по эмпирическим формулам и номограммами [12, с. 100...104].

Указанные коэффициенты определяются как соотношение расчетных величин параметров к предварительно заданным (k_{qK} , k_{qe} и k_{qT}) или по формулам ($k_{q\sigma}$, $k_{q\eta}$ и k_{qt})

$$k_{qt} = 1 + a \cdot t, \quad (5)$$

где: a – коэффициент изменения за год стоимости электроэнергии, коэффициентов полезного действия насосов или размеров водопотребления, 1/год; t – срок эксплуатации, годы.

Для вычисления коэффициентов увеличения гидравлических сопротивлений труб получена формула [6, 10, 12]:

$$K_s = 1 + a_2 \cdot \left(1 + \frac{0,02554}{d_p} \right) \cdot \lg(1 + a_1 \cdot t), \quad (6)$$

где: a_1 – параметр, учитывающий непрерывность работы трубопровода в «основном режиме», 1/год; a_2 – коэффициент, учитывающий влияние основных факторов на рост гидравлических сопротивлений; d_p – расчетная величина внутреннего диаметра трубы (равна диаметру новых труб $d_p = d$), м.

Для удобства пользования созданы компьютерные программы (*UWM*, *GRS*, *PWS* и др.) и программные модули в среде *Microsoft Excel* (*TEP_dek.xls*, *kfQ.xls*, *Пог_vump.xls* и др.) [6, 12], позволяющие автоматизировать указанные расчеты.

Для моделирования водопотребления на действующих водопроводных сетях получена аналитическая функция интегрального распределения расходов воды, которая устанавливает адекватную зависимость вероятности водоразбора P от коэффициентов его неравномерности K с учетом наиболее характерных местных факторов в режимах подачи и разбора воды:

$$P = \frac{e^{\alpha(K-a)} + c}{e^{\alpha(K-a)} + e^{b/K}}, \quad (7)$$

где: α, a, b и c – параметры, зависящие от дисперсии σ^2 функции плотности распределения расходов воды, вида ее интегральной кривой, ее смещения (асимметрии) и определяются путем аппроксимации статистических данных (рис. 1).

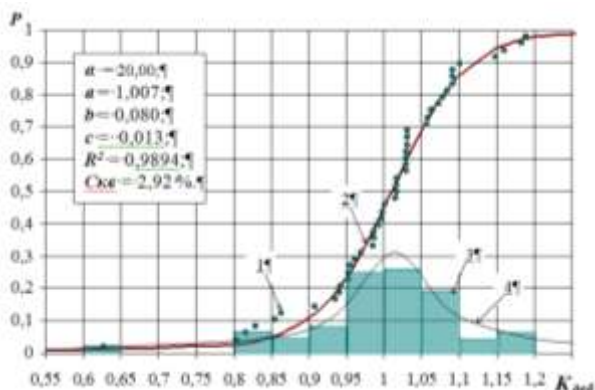


Рис. 1. Характерный график интегрального распределения коэффициентов суточной неравномерности водопотребления:

- 1 - экспериментальные; 2 - аналитическая функция распределения (по формуле 7); 3 - экспериментальная зависимость функции плотности распределения;
- 4 - то же, теоретическая

Fig. 1. Characteristic graph of the cumulative distribution coefficients of daily water consumption of non-uniformity

Для практического применения предложен метод статистического анализа водоразбора в диапазоне расчетных величин его обеспеченности $P_o = 0,95..0,999$ с вычислением максимальных коэффициентов неравномерности водопотребления по формуле:

$$K_{\max} = 1 + \frac{1}{\alpha} \cdot \ln\left(\frac{1 - P_o}{P_o}\right), \quad (8)$$

где: α – показатель в формуле 7, который определяется по статистическим данным водопотребления.

На основе оценки влияния потоков аварийности и технического состояния водопроводных сетей на надежность СПРВ в целом и соответствия их конструктивных схем заданным уровням обеспеченности потребителей водой определены числовые значения коэффициентов готовности и уровней обеспеченности (табл. 2).

Таблица 2. Предлагаемые к нормативам величины времени снижения подачи воды $T_{зн}$, коэффициентов готовности $K_{z,p}$ и уровней обеспеченности P_o

Table 2. Proposed regulations to reduce the amount of the time the water supply, the coefficients of preparedness and security levels

Категория	Время снижения подачи воды				Уровни обеспеченности P_o для расходов воды	
	до 30 %		на 30..100%		суточных	часовых
	$T_{зн(30)}$, сутки	$K_{z,p}$	$T_{зн(>30)}$, час	$K_{z,p}$		
1	3	0,90	6	0,99	0,01	0,005

2	10	0,75	12	0,98	0,03	0,01
3	15	0,60	24	0,97	0,04	0,015

Для учета увеличения расходов воды от величин свободных напоров за счет утечек воды и непроизводительных расходов воды получены аналитические зависимости:

$$q_{\text{общ}} = q_n \cdot k = q_n \cdot \left(\frac{H}{H_n}\right)^\chi, \quad (9)$$

где: q_n – суммарный расход воды при напоре равном нормированному $H=H_n$; H – свободный напор в сети, м; χ – показатель степени, который зависит от технического состояния трубопроводов, водоразборной арматуры и местных условий водоразбора из сети.

Показатель степени χ определяет характер изменений расходов от напоров в сети, находится в диапазоне $\chi = 0,5..2,6$ и определяется на основании натурных исследований. Предварительно показатель степени χ при напорах больше нормативных $H > H_n$ определяется по формуле:

$$\chi = 0,95 \cdot K_m^{0,65}, \quad (10)$$

где: K_m – коэффициент регрессии, который зависят от условий разбора воды, общих утечек воды и ее потерь у потребителя, и может определяется по формуле:

$$K_m = 6,36 \cdot \alpha \cdot \gamma + 0,26, \quad (11)$$

где: α и γ – коэффициенты, которые учитывают соответственно соотношение суммарных утечек к общему разбору воды и ее потерь в зданиях (у потребителей) к суммарным утечкам.

Коэффициент K_m равняется нулю для зависимостей, которые не учитывают увеличения расходов воды при росте напоров воды, и при α от 0 до 1 находятся в пределах 0,26..6,62.

Значения коэффициентов α та γ теоретически находятся в пределах 0 до 1. В реальных условиях эксплуатации СПРВ их величины варьируются: α – от 0,1 до 0,9; γ – от 0,4 до 0,8. Для оценки утечек только в жилых зданиях значения γ следует принимать равным 1, а в случае утечек только из внешних водопроводных сетей $\gamma = 0$.

Проведенный на основе полученных результатов исследований анализ позволил определить основные положения экономической целесообразности устройства СПРВ с использованием наиболее распространенных их схем. В частности установлено, что при обосновании схем водоводов и водопроводных сетей в СПРВ всегда целесообразно устраивать основную часть водопроводных линий с минимально допустимыми диаметрами, а наиболее важные магистрали - с увеличенными экономически обоснованными минимальной длины. Наиболее экономичным является тот вариант, в котором

соотношение между диаметрами водопроводных линий, проложенных в одном направлении, больше отличаются от единичного значения. Это дает подоплеку для устройства СПРВ нового типа - с районированием водопроводных сетей [6, 12]. При определении схем питания СПРВ в первую очередь следует учитывать нормативные требования и технические ограничения, а оптимизационные расчеты имеют место только при технической равнозначности возможных вариантов подачи воды с наиболее полным учетом влиятельных факторов и местных условий (планы сетей, расположение водопотребителей, рельеф и др.).

Такие подходы к оптимизации действующих водопроводных сетей позволяют в каждом районе сети поддерживать свободные напоры максимально приближенными к требуемым. В результате достигается минимизация избыточных свободных напоров и, как следствие, снижение потерь воды из-за утечек, снижение аварийности сети и уменьшение расхода электроэнергии на подъем воды.

Целесообразность применения результатов проведенных исследований, подтверждается данными анализа функционирования действующих СПРВ (более 30 городов) с изменениями их схем районированием [4..14]. Такие СПРВ являются ресурсосберегающими, имеют высокие уровни надежности и водообеспечения потребителей. Применение предложенных методов при реконструкции и интенсификации работы СПРВ позволяет стабилизировать водоснабжения, снизить затраты электроэнергии и потери воды, что подтверждено расчетами и реальными результатами на действующих СПРВ.

На основании многолетних исследований работы системы водоснабжения г. Ровно предложено разделение водопроводной сети на зоны и районы. Этой схемой определены четыре основные зоны (рис. 2), которые питаются отдельными водопроводными насосными станциями, и три района с подключением сетей через регуляторы давления.



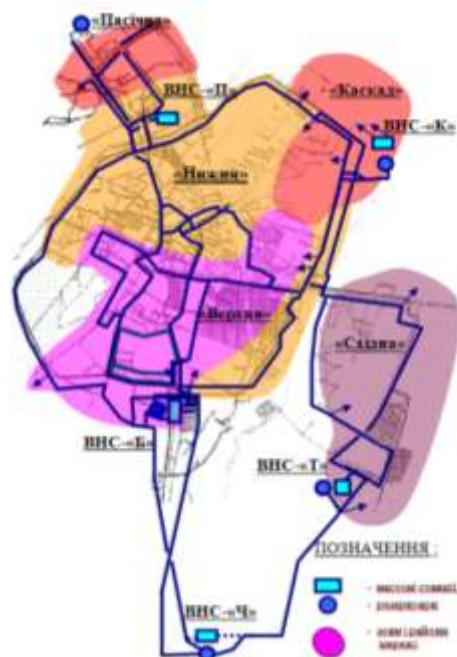
Рис. 2. Схема зонирования водопроводной сети г. Ровно
Fig. 2. Zoning scheme water mains Rivne

Предусмотрено, что напоры в водопроводных сетях каждой зоны и района должны быть

максимально приближены к необходимым при различных режимах водопотребления. Поэтому, предложено проводить регулирования напоров на выходе из насосных станций в зависимости от напоров в контрольных точках водопроводных сетей каждой зоны. С целью максимального приближения напоров к необходимым в пределах всей сети каждой зоны для групп высоких домов выделено районы сети, в которые подача воды осуществляется насосными станциями подкачки.

Изменения в технологии подачи воды потребителям города предусматривали восстановление круглосуточной подачи воды, регулирование напоров в сети, реновацию изношенного насосного оборудования. Для уменьшения потерь воды из-за утечек из изношенных трубопроводов водопроводной сети, проводится их санация (цементирование внутренней поверхности труб, введение полиэтиленовых труб внутрь изношенных металлических) и замена, в частности, пластмассовыми трубами. Кроме того, проводится значительная работа по рационализации водопотребления в жилом секторе (установление домовых и квартирных водомеров, их бесплатные проверки, замены внутренних домовых сетей и водоразборных приборов, пропаганда культуры водопотребления в СМИ и др.).

Внедрение этих мероприятий на Ивано-Франковском водопроводе (рис. 3) позволило стабилизировать водоснабжение города, значительно расширив границы графиков подачи воды, а для отдельных районов - круглосуточно. Стабилизированы объемы реализации воды, уменьшены ее потери из-за утечек, общие и удельные расходы электроэнергии, которые сократились на 24% по сравнению с периодом до внедрения оптимизационных мероприятий.



электроэнергии и потери воды, что подтверждено расчетами и реальными результатами на действующих СПРВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К.: Мінрегіонбуд, 2013. – 172.
2. Методичні рекомендації з розроблення схем оптимізації роботи систем централізованого водопостачання і водовідведення. Затв. наказом МЖКГ України 23.12.2010 № 476. м.Київ. - 9.
3. СНиП 2.04. 02 - 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М.: Стройиздат, 1985. - 136.
4. Ткачук А., Новицкая О., 2009. Гидравлические расчеты водопроводных сетей систем подачи и распределения воды // «Вода Magazine», № 10 (26). М. – 50 – 53.
5. Ткачук О., 2008. Гідравлічні розрахунки діючих водопровідних труб // «Водопостачання і водовідведення». Виробничо-практичний журнал. № 2. К. – 2 – 6.
6. Ткачук О., Косінов В., Новицька О., 2011. Системи подачі та розподілення води населених пунктів. – Рівне: НУВГП. - 273.
7. Ткачук О., Орлов В., Ткачук А. Оцінка впливу потоків аварійності на надійність систем подачі і розподілення води // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наук. пр. Вип. 1 (37). Рівне: НУВГП. -189 – 195.
8. Ткачук О., 2008. Особливості моніторингу міських інженерних мереж // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наук. пр. Вип. 3 (43). Рівне: НУВГП. – 228 – 233.
9. Ткачук О., 2009. Рекомендації з визначення економічно вигідних діаметрів трубопроводів водопровідних систем // «Водопостачання і водовідведення». Виробничо-практичний журнал. № 1. К.-2 – 6.
10. Ткачук О., 2007. Структурно-функціональне удосконалення систем подачі та розподілення води. Автореф. дис. ... докт. техн. наук. Рівне: НУВГП. 32.
11. Ткачук О., Ткачук А., 2012. Оптимізація роботи системи подачі та розподілення води м. Хмельницький // Науковий вісник будівництва. Вип. 69. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 338 – 342.
12. Ткачук О., 2008. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. Монографія. Рівне: НУВГП. – 301.
13. Ткачук О., Хомко В., 2008. Оцінка ефективності регулювання напорів у водопровідній мережі м. Рівного // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Зб. наук. пр. Вип. 2 (42). Рівне: НУВГП. -346 – 353.
14. Ткачук О., 2004. Шляхи забезпечення функціонування систем подачі і розподілу води в умовах їх старіння й зношення. // Науковий вісник будівництва. Вип. 26. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. –69 – 74.
15. David Inman & Paul Jeffrey: A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness, *Urban Water Journal*, 2006, 3:3, 127-143
16. Dohnalik P., Jedrzejewski Z. Efektywna eksploatacja wodociagow. Ograniczanie strat wody. – Krakow: LEMTECH, 2004. – 285 p.
17. Emanoil Barsan, Calin Ignat, Romania. Development of existed water supply networks. // Water management and hydraulic engineering: Proceeding of the VII International symposium on water management and hydraulic engineering. Poland, 10-12.09.2001 / Technical University of Gdansk. Faculty of hydro and environmental engineering., 2001, Gdansk, - p. 397-404.
18. Novytska Olha. Determination of per capital water demand rates of a community // Collected articles of young scientists “Innovative technologies in water management complex” – NUWMNRU, Issue 2. – Rivne, 2012. – P. 150-152.
19. H. Motiee , E. McBean & A. Motiei (2007): Estimating physical unaccounted for water (UFW) in distribution networks using simulation models and GIS, *Urban Water Journal*, *Urban Water Journal*, Vol. 4, No. 1, March 2007, 4:1, 43-52
20. R. Puusta, Z. Kapelanb, D.A. Savicb and T. Koppel. A review of methods for leakage management in pipe networks // *Urban Water Journal*, February 2010. – Vol. 7, Issue 1. – P.25–45
21. Zbigniew Siwon. Problemy modelowania i eksploatacji systemow dystrybucji Wody // IV Miedzynarodowa konferencja “Zaopartzenie w wode, jakosc i ochrona wod”. – Krakow, 11 – 13 wrzesnia 2000. – P.735–754.
22. Zivko Veljanoski, Petko Pelivanoski. Lessening the leakage of water by reduction the pressure in the water supply systems // Water management and hydraulic engineering: Proceeding of the VII International symposium on water management and hydraulic engineering. Poland, 10-12.09.2001 / Technical University of Gdansk. Faculty of hydro and environmental engineering. – Gdansk, 2001. – P.391–396.

OPTIMIZATION OF WATER SUPPLY CITY

Summary. Based on research robots urban systems water supply and distribution determine the most efficient ways to improve them in order to improve water and energy efficiency.

Key words: water mains, pumping stations, supply and distribution system water, water loss, water leaks, excessive head.