



ВТРАТИ ВОДИ З ВОДОПРОВІДНИХ МЕРЕЖ І СПОСОБИ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

Н. Г. Насонкина, В. М. Маслак, Ю. О. Голикова

*Донбаська національна академія будівництва і архітектури,
вул. Державіна, 2, м. Макіївка, 86123, Донецька область, Україна.*

Отримана 5 березня 2007; прийнята 23 березня 2007.

Анотація. Дано характеристику стану питання щодо втрат води і структуру неврахованих витрат у комунальному господарстві, приведений порядок визначення втрат води, стратегія керування і контролю втрат води. Проаналізовано методи визначення і локалізації схованих витоків, розглянутий спосіб акустичного прослуховування, як основний метод визначення витоків, при якому використовуються електронні пристрої, що прослухують. Приведено класифікацію методів для визначення обсягів схованих витоків і викладена їхня суть. Запропоновано перелік робіт зі скорочення витоків води і порядок їхнього проведення. Зниження тиску у водогінній мережі - найбільш ефективний спосіб скорочення витоків і перевитрати води (показана залежність між витокками і тиском води). Розглянуто причини виникнення видимих втрат і види робіт з їхнього скорочення. Проаналізовано фінансові аспекти, пов'язані зі зниженням рівнів неоплаченої води.

Ключові слова: невраховані витрати, утрати води, витокки, лічильники, тиск у мережі.

ПОТЕРИ ВОДЫ ИЗ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И СПОСОБЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Н. Г. Насонкина, В.Н. Маслак, Ю.А. Голикова

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ул. Державина, 2, г. Макеевка, 86123, Донецкая область, Украина.*

Получена 5 марта 2007; принята 23 марта 2007.

Аннотация. Дана характеристика состояния вопроса по потерям воды и структура неучтенных расходов в коммунальном хозяйстве, приведен порядок определения потерь воды, стратегия управления и контроля потерь воды. Проанализированы методы определения и локализации скрытых утечек, рассмотрен способ акустического поточечного прослушивания, как основной метод определения утечек, при котором используются электронные прослушивающие устройства. Приведена классификация методов для определения объемов скрытых утечек и изложена их суть. Предложен перечень работ по сокращению утечек воды и порядок их проведения. Снижения давления в водопроводной сети - наиболее эффективный способ сокращения утечек и перерасхода воды (показана зависимость между утечками и давлением воды). Рассмотрены причины возникновения видимых потерь и виды работ по их сокращению. Проанализированы финансовые аспекты, связанные со снижением уровней неоплаченной воды.

Ключевые слова: неучтенные расходы, потери воды, утечки, счетчики, давление в сети.

WATER- SUPPLY SYSTEM WATER LOSSES AND WAYS OF THEIR DECREASING

N. G. Nasonkina, V. M. Maslak, Yu. O. Golikova

*The Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Derzhavin Street, 2, Makiiivka, 86123, Donetsk region, Ukraine.*

Received 5 March 2007; accepted 23 March 2007.

Abstract. There is characterized the question of water losses and the structure of neglected discharge in public services; there is given an order of determining water losses, a strategy of controlling water losses. There has been analyzed the methods of specifying and localized a hidden leakage; considered the way of an acoustic by-point listening as the main method of determining leakage at which electron listening devices are used. There is given a classification of methods to determine the volume of hidden leakage and why the leakage takes place. There is given a list of works to reduce water leakage and the order of their realization. Pressure decrease in a water-supply system is the most effective way of decreasing water leakage and overdischarge (a relation between water leakage and pressure is shown). There are considered the reasons why visible losses occur and how to reduce them. There have been analyzed financial aspects connected with the decrease of unpaid water levels.

Keywords: neglected discharge, water losses, leakage, meters, pressure in a system.

Проблема рационального использования воды и устранения ее потерь представляет в настоящее время одну из актуальнейших задач жилищно-коммунальной реформы. Утечки воды в системах водоснабжения огромны, сети изношены, арматура 30-х годов и зачастую не действует, наблюдаются сверхнормативные напоры, нет управления потоками воды, практически отсутствует учет воды. Установленные счетчики устаревших конструкций не обеспечивают объективных данных расхода. Недоучет в среднем по отрасли составляет 8-12%.

Потери и нерациональное расходование воды приводят к ухудшению экономических показателей работы предприятий, увеличению себестоимости продукции, росту накладных расходов.

Ущерб наносится и водопроводно-канализационным хозяйствам, т.к. прибыль от продажи не может компенсировать неоправданные издержки на дополнительные работы эксплуатационных служб водопровода. В данном случае к нерациональному расходованию средств и материальных ресурсов на реагенты и электроэнергию для очистки и перекачки теряемой воды, амортизацию и текущий ремонт необходимых для этого сооружений добавляются расходы на отведение и очистку соответственно возросшего количества сточных вод.

Организация рационального использования воды, сокращение ее потерь требуют направленного управления процессами водопотребления. Оно может быть обеспечено только при условии разработки и широкого внедрения комплекса взаимосвязанных технико-организационных мероприятий по оптимизации систем водоснабжения, совершенствованию методов планирования и экономического стимулирования, как у водоканалов, так и у потребителей, дальнейшего улучшения нормирования, повышения эффективности учета и контроля расходования воды.

Среди мероприятий по сокращению потерь воды важнейшим является создание и внедрение автоматического контроля и централизованного управления, охватывающее все действующие сети и водопроводные узлы.

Ликвидация потерь и утечек в жилищном фонде позволит увеличить полезную мощность внутреннего водопровода и канализации, исключить отрицательное воздействие утечек воды на фундаменты и другие строительные конструкции зданий.

Цель работы: анализ состояния водопроводных сетей и основных тенденций сокращения потерь в секторе водоснабжения.

Потери воды в системах водоснабжения (таблица 1) можно классифицировать на сле-

дующие две основные группы: потребительские (потери реализованной товарной продукции) и технологические (потери питьевой воды в процессах ее добычи, производства и транспортирования к потребителям).

Объем потерь воды зависит в основном от возраста сети, материала труб, специфики работы предприятия и т.д. Как следует из таблицы 2, величина потерь воды значительно различается для

стран. В Дании, например, она изменяется от 6 до 18 % от объема воды, поданной в сеть, независимо от крупности системы водоснабжения. В то же время по Украине величина потерь воды достигает 49%. Сложившаяся ситуация на Украине в первую очередь объясняется сильным износом трубопроводов. Почти 65% водопроводных сетей фактически отработали срок амортизации, а 22,1% — находятся в аварийном состоянии.

Таблица 1. Стандартная схема водопотребления

Объем притока системы (с учетом погрешностей) (вода произведенная + вода импортированная)	Санкционированное потребление	Начисленное санкционированное потребление	Начисленное измеренное потребление (с учетом экспортируемой воды)	Оплаченная вода
			Начисленное не измеренное потребление	
		Не начисленное санкционированное потребление	Не начисленное измеренное потребление	Неоплаченная вода
			Не начисленное не измеренное потребление	
	Потери воды	Видимые потери	Несанкционированное потребление	
			Погрешности измерения /неправильное начисление	
		Реальные потери	Утечки в магистральных	
			Утечки и переливы резервуаров	
			Утечки на подключениях (до прибора учета потребителя)	

Таблица 2. Характеристика потерь воды [1]

Страна	Потери воды, %
Российская Федерация	14,2
Германия	8
Италия	18
Испания	11
Швеция	20
Япония	11,7
Бразилия	20
Украина	38

К концу нормативного срока службы скрытые потери воды увеличиваются более чем в 6 раз по сравнению с допустимым уровнем и могут достигать 30 тыс. м³ в год на километр трубопровода. Если учитывать, что магистральные и распределительные системы коммунального водоснабжения в городах и поселках Украины ежедневно подают в среднем 17 млн. м³ воды [2], то можно отметить, что величина ущерба принимает катастрофические значения.

В сложившихся условиях особенно важна разработка стратегии сокращения потерь.

Самой важной задачей при составлении стратегии является определение реального состояния сети, анализ ее аварийности.

Анализ порывов позволяет прогнозировать аварийность на ближайшие 5–10 лет. Надежность прогноза повышается с увеличением отношения продолжительностей предпрогнозного и прогнозируемого периодов. Возможны два метода прогнозирования: прямой прогноз с использованием тенденции роста суммарного количества ежегодных порывов (предпрогнозный период не менее 6 лет), и расчетный прогноз с использованием зависимости $N(t)$ для всех однородных объектов, сооружений в разные периоды времени (предпрогнозный период не менее 20 лет). Судя по продолжительности предпрогнозного периода надежность второго метода должна быть выше.

Расчетное прогнозирование проводится по формуле:

$$N_c(T) = \sum_{i=1}^n N(t_i^T); t_i^T = T - T_{oi}, \quad (1)$$

где $N_c(T)$ — суммарное количество ежедневных порывов в прогнозном календарном году T ,
 t_i^T — срок службы i -й нитки к прогнозному году T , лет;

n — число ниток, шт.;

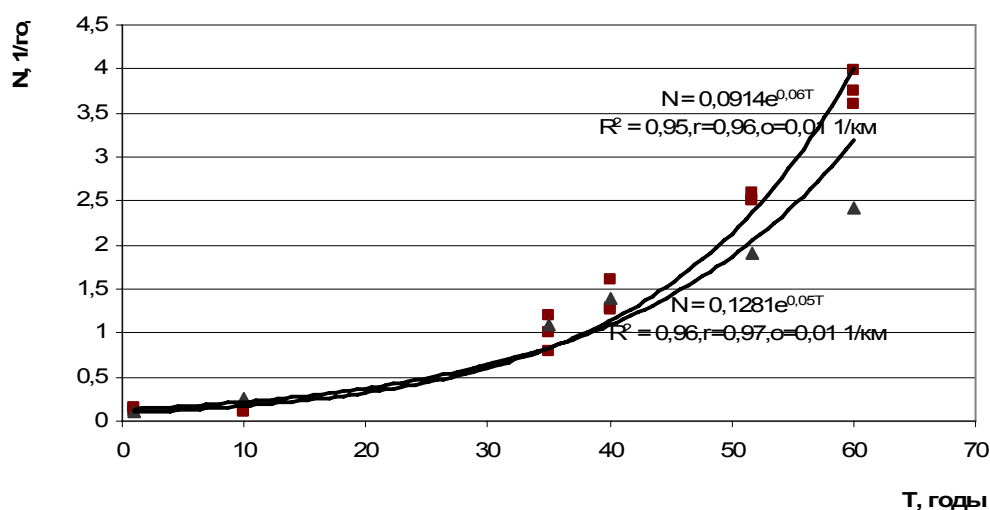
T_{oi} — календарный год сооружения i -й нитки,

$N(t)$ — количество ежегодных порывов, шт.

Результаты прогнозирования по обоим методам для Донецкой области приведены на рисунке 1.

Более низкая аварийность по прямому прогнозу объясняется снижением нагрузки на сеть на протяжении последнего десятилетия.

При составлении прогнозов необходимо также учитывать влияние механических нагрузок и циклических изменений температуры воздуха и воды в различные сезоны года. Кроме того, осложняется работа водопроводов в последние годы из-за сильного изменения водопотребления городов и перехода на почасовые графики подачи. Сегодня система подачи и распределения воды в ряде городов Украины работает в условиях неустановившегося движения. Трубопроводы на протяжении суток постоянно работают с переменным режимом как по расходу, так и по давлению на сеть, что приводит к увеличению их повреждаемости (таблица 3).



Риснок 1. Зависимость количества порывов N от срока службы T трубопровода при: 1 — прямом прогнозе, 2 — расчетном прогнозе

Таблиця 3. Повреждаемость трубопроводов систем водоснабжения в средних условиях эксплуатации, 1/км год [3, 4]

Диаметр трубопровода, мм	Вид материала труб			
	сталь		чугун	
	среднее значение по городам мира	по Донецкой области	среднее значение по городам мира	по Донецкой области
ниже 100	0,71-0,80	21,70	0,50-0,60	54,40
100-125	0,65-0,70	1,50	0,42-0,46	2,10
150-200	0,34-0,40	0,70	0,30-0,35	1,10
400-500	0,22-0,25	4,60	0,23-0,25	22,10
свыше 600	0,10-0,20	0,80	0,20-0,30	28,60

Для повышения надежности водопроводной сети сегодня необходимо провести паспортизацию и обследование трубопроводов. Зная износ стенки труб и срок эксплуатации, можно рассчитать среднюю внутреннюю скорость коррозии и принять решение о замене или санации трубопровода.

Как следует из таблицы 3, повреждаемость зависит от диаметра труб. По результатам обследования трубопроводов $D=100-1200$ мм построена зависимость изменения параметра потока отказов от диаметра элементов (рис. 2).

Полученные данные аппроксимированы зависимостью:

$$\lambda = A \cdot \exp(-B \cdot D), \quad (2)$$

где A, B — коэффициенты, зависящие от условий прокладки и эксплуатации трубопровода;

λ — параметр потока отказов, 1/год км.

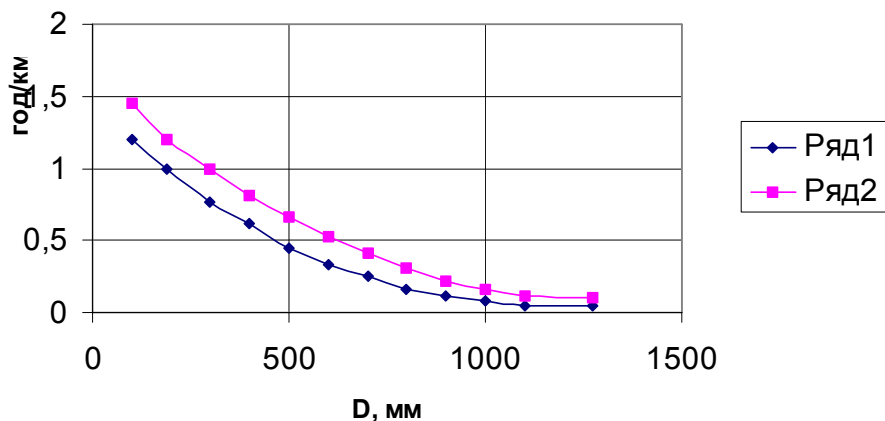
Характер зависимости $\lambda = f(D)$ показывает увеличение параметра потока отказов при

уменьшении их диаметров, что может быть объяснено уменьшением толщины стенок труб с уменьшением диаметров, условиями эксплуатации и прокладки трубопроводов малых диаметров.

Кроме оценки состояния систем подачи и распределения воды необходимо проводить изучение режима ее работы и выявлять скрытые утечки. Для этого проводятся следующие виды обследований и измерений на сети:

- измерение расходов и напоров на определенных участках сети;
- телевизионный контроль внутреннего состояния трубопроводов;
- проведение манометрической съемки сети;
- определение повреждений на сети.

Определение мест повреждений на сети в последние годы производится путем фиксирования места возникновения акустических сигналов (рис. 3), которые возникают при истечении воды при повреждении напорных трубопроводов (свищ, расстыковка, трещина и т.д.).

**Рисунок 2.** Зависимость изменения параметра от D для трубопроводов: 1 — стальных, 2 — чугунных

Разделение сети на зоны определенного размера позволяет упростить работу. Помимо этого необходимо организовывать два-три экспериментальных проекта. При таком подходе можно снизить затраты на проведение работ по сокращению утечек.

Работы по снижению величины потерь выполняются в следующей последовательности:

- составляется схема участка зональных измерений (М 1:500, или 1:2000) с нанесенной водопроводной сетью, гидрантами, запорной арматурой, измерительными камерами и потребителями (рис. 4);
- заполняется паспорт участка зональных измерений, включающий сведения о потребителях (степень благоустройства, вид системы горячего водоснабжения, этажность домов, количество жителей в домах), описание водопроводной сети (ведомость водопроводных труб с указанием материала, диаметра, года прокладки и общей протяженности труб в пределах зоны измерений);
- проводится обследование и подготовка сети, включающие выявление и устранение видимых утечек; пробную изоляцию измерительной зоны и проверку отсутствия притока в нее воды через отключающую арматуру с ремонтом или заменой негерметичных задвижек, проверку пригодности узлов учета у всех абонентов, входящих в зону измерений;
- оборудуются измерительные камеры на питающем вводе участка зональных измерений;
- выполняется измерение притока воды в зону замеров;

- проводятся одновременно измерения потребления воды у всех входящих в зону абонентов;
- обрабатываются результаты;
- определяется объем скрытых утечек (разность показаний расходомеров, установленных на питающих вводах зоны и расходомеров, установленных у абонентов за один и тот же промежуток времени);
- по мере накопления данных строятся регрессионные зависимости, позволяющие определить удельную величину скрытой утечки в зависимости от года прокладки, материала и диаметра труб и от интенсивности проведения ремонтных работ.

Определение скрытых утечек в отдельных районах выполняется в следующей последовательности:

- выбирается изолированный район;
- определяется мгновенный ночной расход (за период не менее 7 суток);
- рассчитываются общие ночные утечки в жилых домах;
- находятся ночные расходы;
- рассчитывается величина средней утечки за ночь;
- определяется суточная скрытая утечка,
- на основании скрытой суточной утечки и протяженности трубопроводов в зоне водоснабжения рассчитывается удельная скрытая утечка на 1 км сети.

Работы по сокращению утечек лучше проводить параллельно с сокращением видимых потерь. Перечень работ приведен ниже:

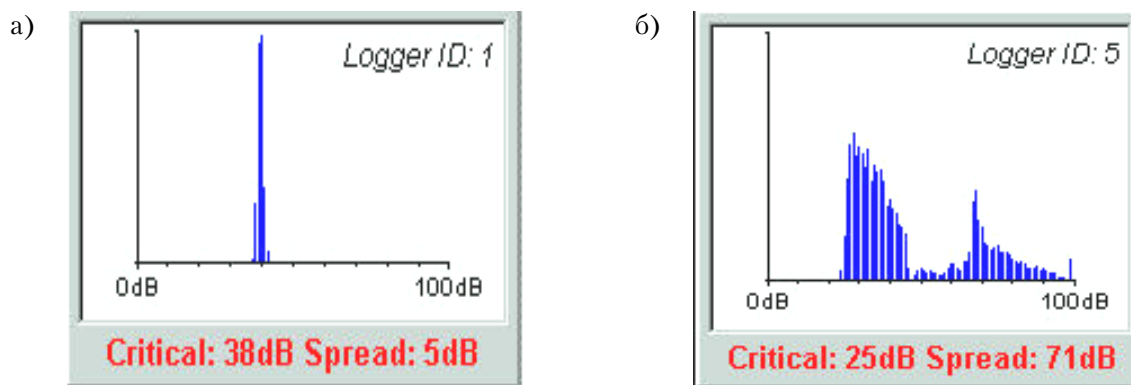


Рисунок 3. Диаграмма шумов: а — шум при наличии утечки; б — шум при отсутствии утечек

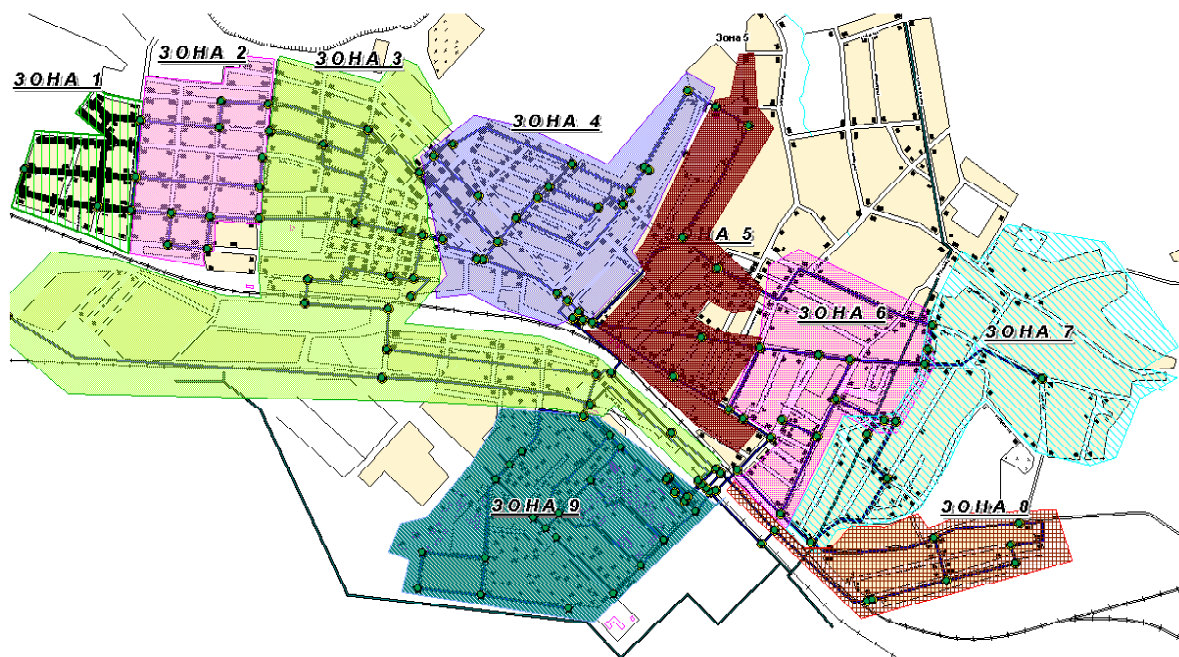


Рисунок 4. Зонирование населенного пункта

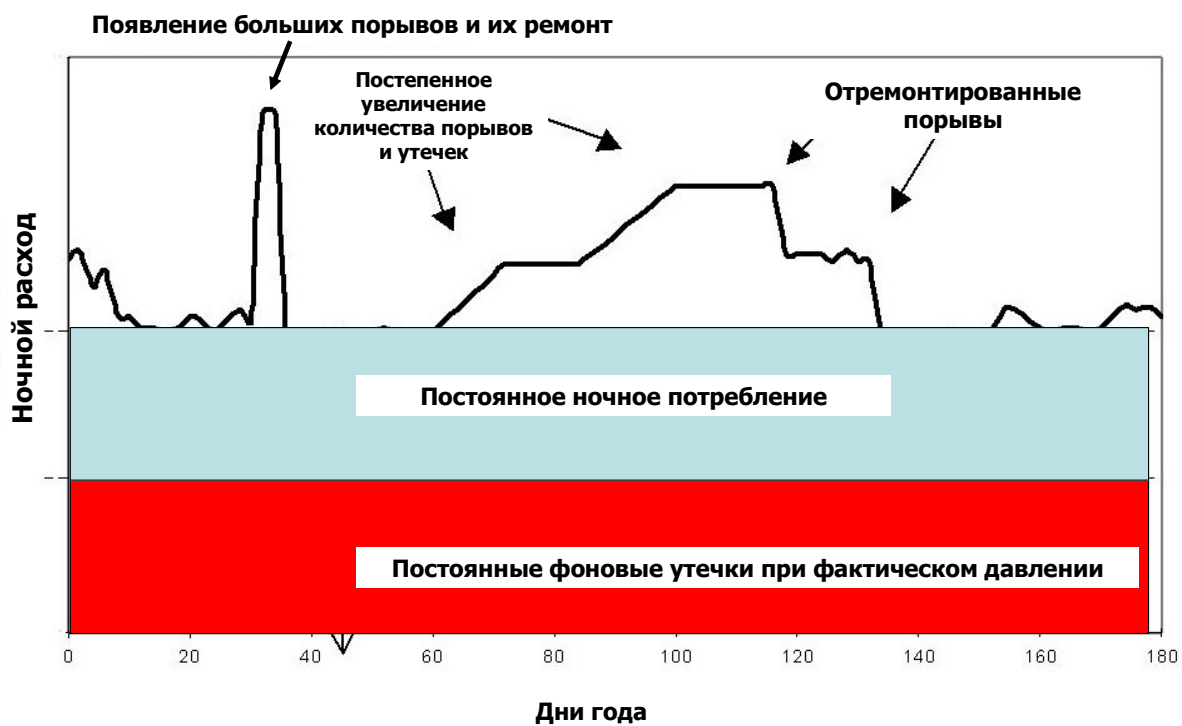


Рисунок 5. Определение утечек в ночное время

- измерения проводятся и фиксируются ежедневно;
- каждый доступный фитинг должен быть "прослушан". Прослушивание можно проводить посредством обыкновенных стетоскопов или электронных прослушивающих устройств;
- электронное оборудование применяется дополнительно к основному оборудованию;
- прослушивание лучше всего проводить в ночное время (между 2 и 4 часами), но этот параметр зависит от индивидуальных факторов;
- проведение пошагового теста возможно лишь при закрытии клапанов внутри РИО; полученные данные о расходе анализируются;
- после определения ночного расхода, выполняется анализ общего потребления во время проведения теста. Данные об общем водопотреблении можно получить, проводя регулярные проверки;
- все обнаруженные утечки должны быть локализованы и устранены в течение следующих нескольких дней;
- процедура повторяется до тех пор, пока не останутся необнаруженных утечек. На этой стадии работы приборы РИО будут фиксировать минимальный ночной поток.

Необходимо проводить замеры ночного водопотребления. Если в зоне есть крупные потребители, то показания с их счетчиков должны сниматься постоянно во время проведения обследований.

При наличии объективных данных, при исправно работающих приборах учета, при отключенных неоводомеренных потребителях, а также при устраненных видимых утечках, можно использовать показания счетчиков для определения скрытых утечек в сети.

Помимо расхода должно быть зафиксировано среднее ночное давление по зоне в этот же период. Эти данные не понадобятся на этой ста-

дии работы, но дадут возможность расчета сокращения давления.

Пример приведен в таблице 4.

Если удалось устранить все утечки до начала снятия показаний по ночному потреблению, то имеющиеся данные могут использоваться как исходные. Данные измерителей по зоне должны анализироваться каждую неделю. Каждое увеличение установленной цифры на 5% должно быть проверено.

Для каждой отдельной области разрабатывается план работ. По результатам работ составляется отчет, в который входят следующие показатели:

- общее количество потребителей;
- число подключений;
- максимальное давление;
- минимальное давление;
- среднее давление;
- количество граничных клапанов;
- длина трубопроводов;
- разрушение материала труб;
- минимальный расход;
- максимальный расход;
- минимальный ночной расход;
- № счетчика РИО;
- дата установки счетчика;
- крупные промышленные потребители;
- дополнительная информация.

Отчет должен постоянно обновляться.

Наиболее эффективным способом сокращения утечек и перерасхода воды потребителями считается снижение давления. Для нормальной работы системы вполне достаточно поддерживать давление на уровне 15 м, хотя на практике оказывается, что более приемлемым является давление — 25 м, поскольку в системе могут присутствовать порывы и другие причины, снижающие давление.

Длительные исследования и проверки помогли доказать четкую зависимость между утечками и давлением (рисунок 6).

Таблица 4. Пример обработки данных

Расход/потребление	л/час
Расход в РИО (между 2 и 4 часами)	5,000
Измеренное ночное водопотребление	4,000
Утечки	1,000

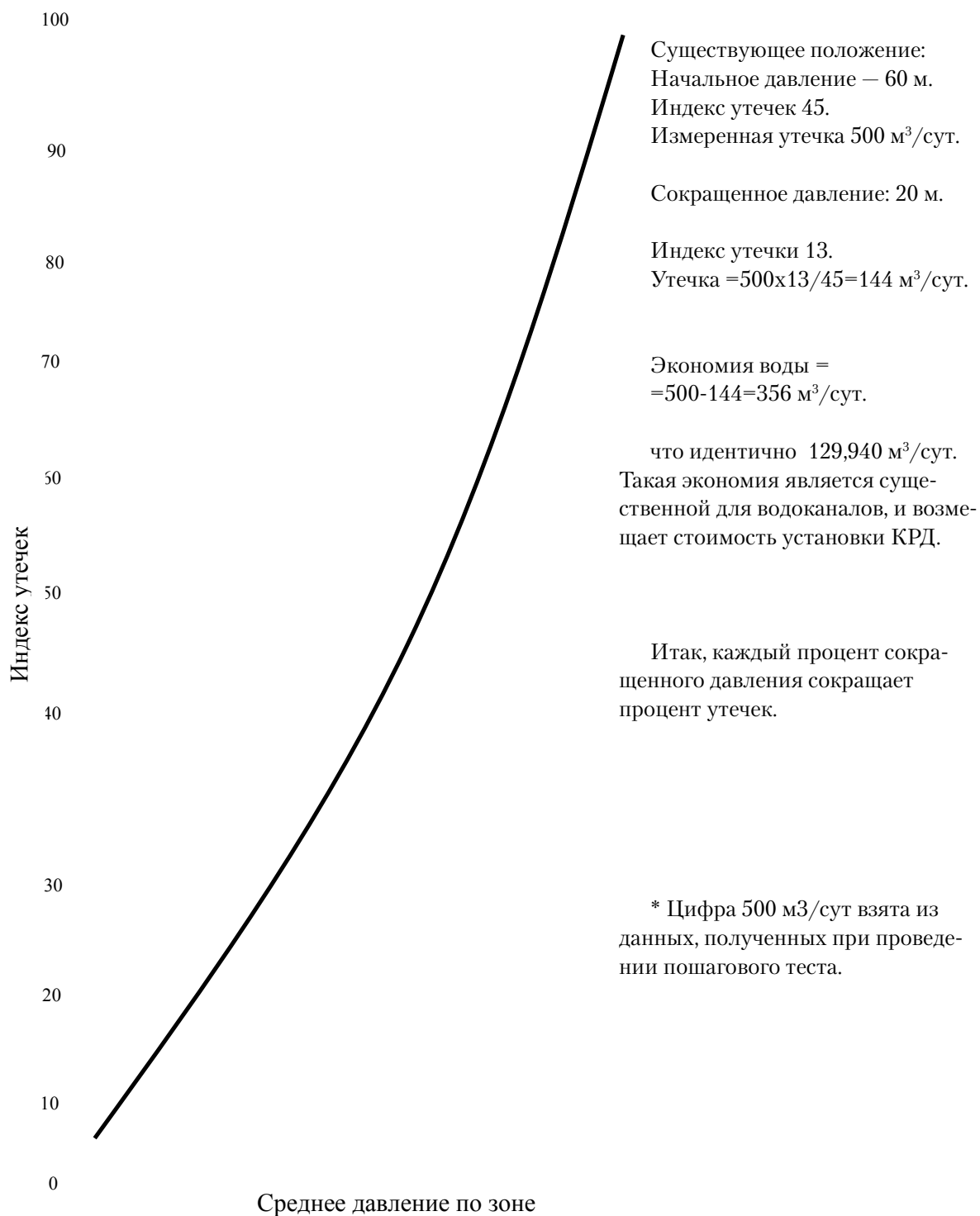


Рисунок 6. Соотношение между утечками и давлением на сети

Зависимость между давлением и расходом приведено на рисунке 7.

Традиционно водоканалы прибегают к строительству резервуаров для снижения давления, но такие резервуары имеют свои

недостатки, они дороги и регулировать давление в них достаточно сложно. Современным эквивалентом резервуаров являются клапаны регулирования давления (далее КРД) (рис. 8).

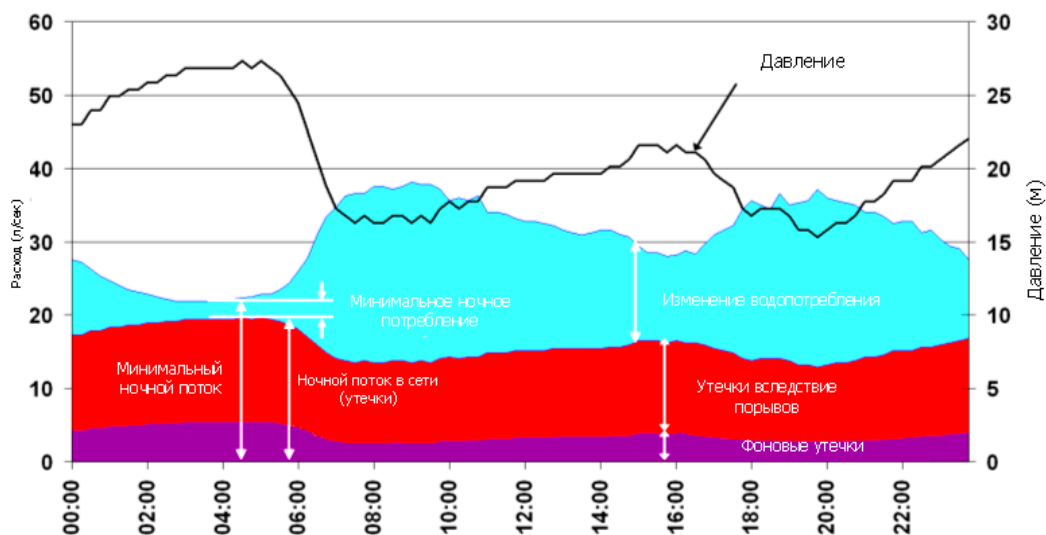


Рисунок 7. Взаимосвязь давления и расхода по часам суток



Рисунок 8. Клапан регулирования давления

Сокращенное давление должно быть достаточным для обеспечения надежного снабжения потребителей водой даже в самых критических точках системы. Обычно, это возвышенности, конец участка, а также трубопроводы маленького диаметра.

При установке регуляторов определяется давление в одной из критических точек, а регулятор автоматически выбирает давление, которое будет постоянным в критической точке. Для потребителей, расположенных на возвышенностях, необходимы дополнительные меры, такие как резервуары или подкачка. Стоимость этих дополнительных сооружений должна быть учтена при начислении оплаты за воду потребителям.

На практике невозможно достичь 0% неоплаченной воды. Даже полностью восстановленные системы будут подвержены некоторым видам утечек и другим факторам, таким как незаконные подключения, погрешности приборов, неправильное начисление и т.д., которые определяют положительное число неоплаченной воды.

В любой водораспределительной сети существует определенный уровень неоплаченной воды, дальнейшее снижение которого будет экономически невыгодным. Такой уровень называется экономическим уровнем утечек (далее ЭУУ)

Факторы, относящиеся к ЭУУ:

- 1) Потенциальная экономия, связанная с сокращением неоплаченной воды:
 - стоимость энергии, потраченной на перекачивание воды;
 - увеличение стоимости воды из-за подключения новых источников, обновления существующих или распределение воды между соседствующими источниками, с недостаточным ресурсом;
 - стоимость химических реагентов;
 - затраты на ремонт трубопроводов (при сокращении давления снизится частота порывов, при восстановлении системы порывы в ней будут появляться гораздо реже).
- 2) Расходы на сокращение неоплаченной воды:
 - оборудование для определения утечек;
 - перевозка бригад, занимающихся определением утечек;
 - стоимость работ (обнаружения утечек);

- счетчики, задвижки, вспомогательное оборудование;

- стоимость ремонта магистралей (в начале работ эта стоимость увеличится пропорционально числу обнаруженных и устраненных утечек, но со временем она будет снижаться);

- стоимость восстановительных программ.

Данная система хорошо себя зарекомендовала на ряде объектов Донецкой области и позволила адаптировать системы подачи и распределения воды к современным условиям (рис. 9).

В результате внедрения мероприятий по оптимизации системы водоснабжения г. Селидово, например, ожидается постепенное снижение объемов подачи воды на город и снижение расходов электроэнергии (рис. 10).

Необходимо отметить, что ожидается снижение объемов воды за счет уменьшения потерь воды на 15%. Положительным дополнительным результатом является поддержание качества воды в сети за счет стабилизации скоростей движения и сокращения аварий на сети.

Общее же уменьшение эксплуатационных затрат ожидается в размере 25%, что позволяет уже на четвертый год ожидать первых результатов окупаемости проекта.

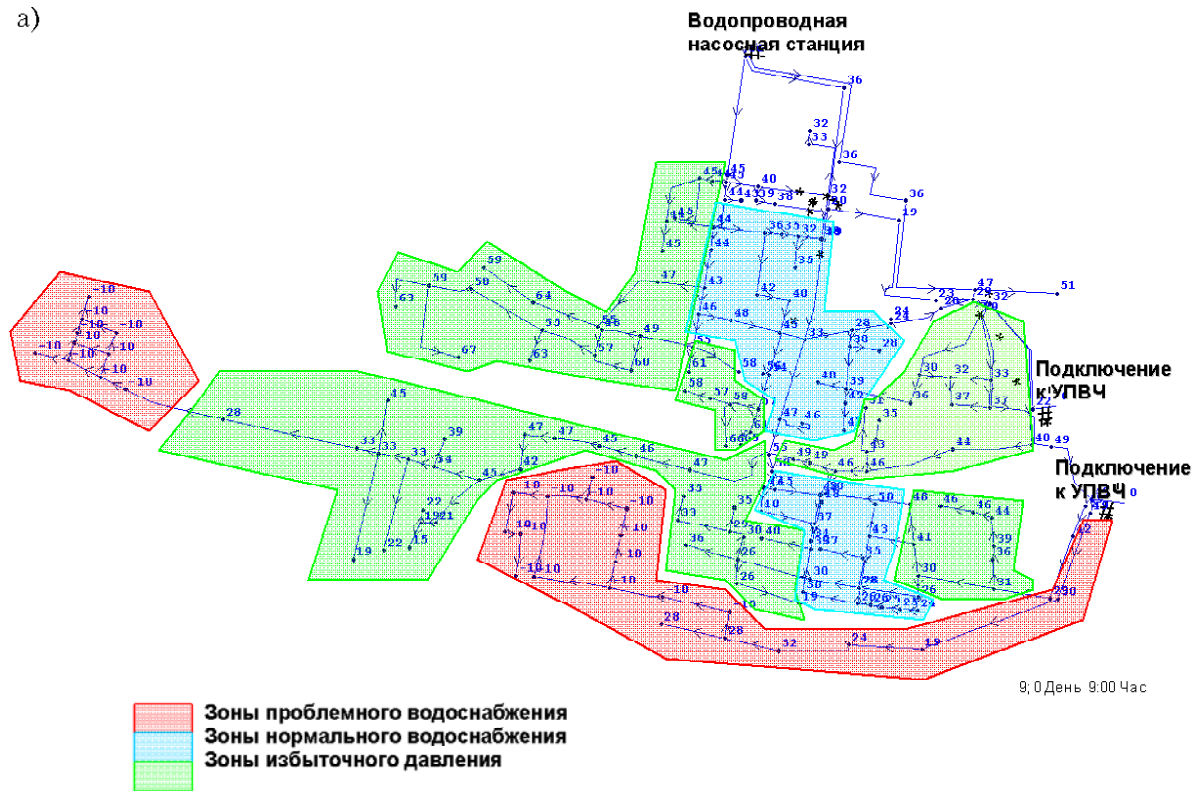
Выводы

Контроль величины потерь воды и работы, направленные на их снижение, позволяют снизить потребление электроэнергии, сократить объемы воды, а также уменьшить эксплуатационные затраты.

Литература

1. Н.Н. Жуков, Г.Л. Железнова, Г.А. Орлов. Снижение потерь питьевой воды в системе коммунального водоснабжения // ВСТ.- 2000.- №8.
2. Сулима В. Бестраншейные технологии прокладки подземных коммуникаций // Вода і водочисні технології. - №1(5). - 2003. - С.54-58.
3. Ромейко В.С., Баталов В.Г., Готовцев В.И. и др. Защита трубопроводов от коррозии. - М.: ВНИИМП, 2000. - 208с.
4. Насонкина Н.Г. Повышение экологической безопасности систем питьевого водоснабжения. - Макеевка: ДонНАСА, 2005. - 181с.
5. Методическое пособие по проведению учета и нормирования потерь воды / Маслак В.Н., Насонкина Н.Г. - Макеевка: РИО ДонНАСА, 2007. - 58с.

а)



б)

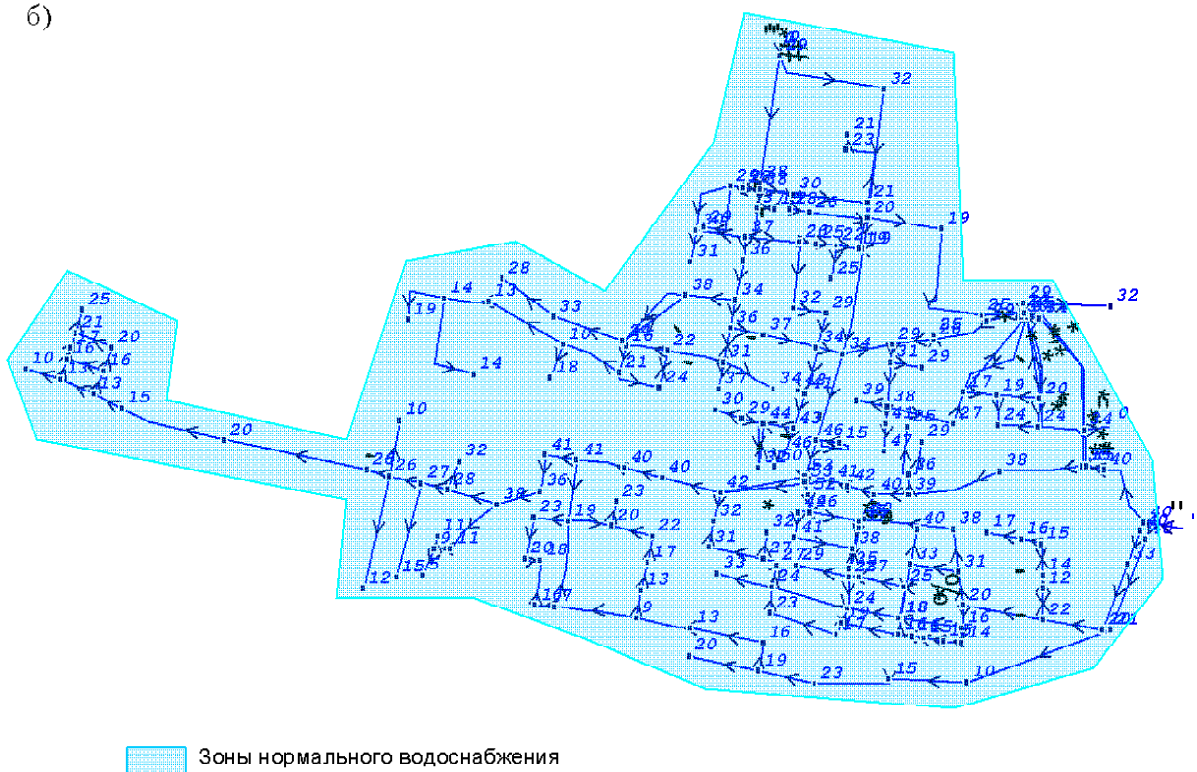


Рисунок 9. Расчетная схема водоснабжения: а — до оптимизации, б — после проведения работ

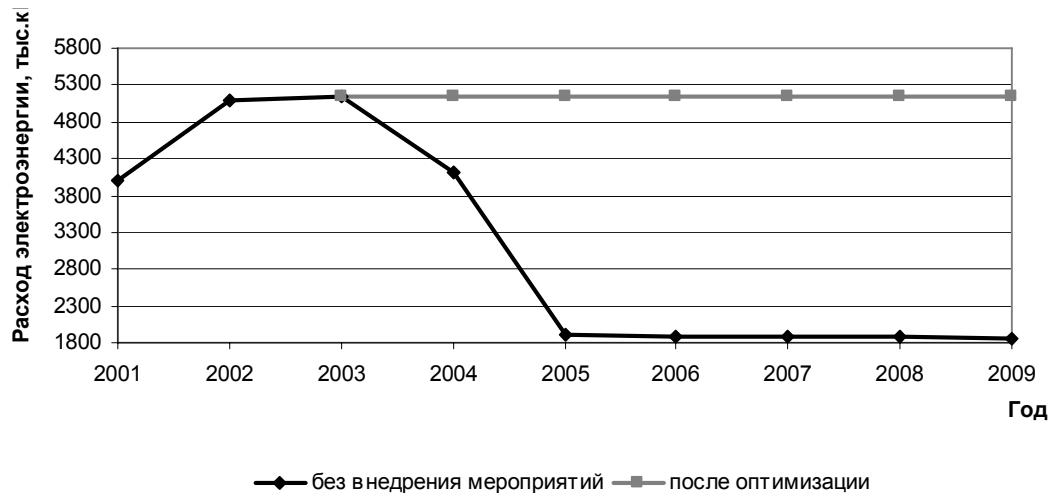


Рисунок 10. Зависимость изменения расхода электроэнергии во времени

Насонкина Надежда Геннадьевна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой "Городское строительство и хозяйство" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: экологическая безопасность систем водоснабжения.

Маслак Виктор Николаевич — кандидат технических наук, доцент, академик академии строительства Украины, генеральный директор ГОКП "Донецкоблводоканал". Научные интересы: система водоснабжения городов.

Голикова Юлия Александровна — ассистент кафедры "Городское строительство и хозяйство" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: системы водоснабжения.

Насонкина Надія Геннадіївна — доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедрою "Міське будівництво і господарство" Донбаської національної академії будівництва й архітектури. Наукові інтереси: екологічна безпека систем водопостачання.

Маслак Віктор Миколайович — кандидат технічних наук, доцент, академік академії будівництва України, генеральний директор ГОКП "Донецкоблводоканал". Наукові інтереси: система водопостачання міст.

Голикова Юлія Олександрівна — асистент кафедри "Міське будівництво і господарство" Донбаської національної академії будівництва й архітектури. Наукові інтереси: системи водопостачання.

Nasonrina Nadiya Genadiyevna — Dr. Sc., Engineering, Prof., Head of Department "City Construction and Economy" the Donbas National Academy Civil Engineering and Architecture. Research interests: Ecological safety of water-supply system.

Maslak Victor Mykolayovych — Ph. D., Engineering, Ass. Prof., Academician of the Civil Engineering Academy Ukraine. Research interests: city water-supply system.

Golikova Yuliya Olexandrivna — assistant of the Department "City Construction and Economy" the Donbas National Academy Civil Engineering and Architecture. Research interests: water-supply system.