

УДК 65.015.3

Е.Е. Дашевская

*Харьковская национальная академия городского хозяйства, Харьков*

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ПО РЕНОВАЦИИ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

*В статье исследуется вопрос экономической эффективности использования разработанной экспертной системы по реновации водораспределительной сети в практической деятельности предприятий водоснабжения. Решается задача количественной и качественной оценки показателей эффективности внедрения и эксплуатации экспертной системы. Разработанная экспертная система позволит в практической деятельности предприятий водоснабжения учесть динамические изменения характеристик водораспределительной системы, обеспечит повышение эффективности работы систем водоснабжения в целом.*

**Ключевые слова:** экспертная система, водораспределительная сеть, структура затрат.

### Введение

**Постановка проблемы.** В результате проведенных исследований [1] выявлена принципиальная возможность формализации процессов проведения реновационных работ по экспериментальным данным, характеризующих состояние водораспределительной сети путем построения математических моделей. Обработка данных выполняется методом группового учета аргументов с целью поддержки принятия решений по выявлению приоритетных участков водораспределительной сети для проведения работ реновации, выбора способа проведения работ [2], а также составления расписания работ с учетом ограниченности ресурсов [3]. Предлагаемый подход основан на эксплуатации разработанной экспертной системы (ЭС) по реновации участков водораспределительной сети [4]. Для обоснования целесообразности использования экспертной системы необходимо провести оценку экономической эффективности её внедрения и эксплуатации в производственном процессе предприятий водоснабжения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Определение экономической эффективности внедрения и эксплуатации разработанной ЭС осуществляется по следующим направлениям:

– сравнение существующей системы обработки данных и предлагаемой относительно объема решаемых задач и эффективности способов организации технологического процесса обработки и выдачи информации;

– оценка экономической эффективности эксплуатации разработанной экспертной системы в количественном и качественном выражении.

Задачи автоматизированной обработки данных с целью поддержки принятия решений по управлению состоянием водораспределительной сети широко исследованы и описаны [5, 6] и охватывают справочную, статистическую и следящую функции управления. При этом в основу построения программных средств положена концепция, согласно

которой выбор структуры базы данных, способа обработки данных, разработки алгоритма решения задач и форма представления данных для анализа и поддержки принятия решения запрограммированы заранее в виде строгих математических моделей. Основным недостатком использования такой реализации управления является ограниченная возможность практического применения: при увеличении числа анализируемых задач растет количество моделей, которые необходимо создавать для их решения, и, как следствие, процесс принятия решения требует значительных временных, трудовых и материальных затрат и происходит в отрыве от реальной ситуации. Кроме того, увеличивающиеся объемы анализируемых данных, необходимость комплексного учета всех факторов, влияющих на качество принятия решения, требуют разработки более эффективных способов организации технологического процесса обработки и выдачи информации.

В результате исследований [4] показано, что разработанная ЭС, основанная на обработке информации с помощью метода группового учета аргументов, имеет возможность гибкой постановки задач, большую информационную емкость и не нуждается в перепрограммировании при изменении набора параметров. С учетом вышесказанного проведем оценку экономической эффективности эксплуатации разработанной ЭС с целью поддержки принятия решений по реновации участков водораспределительной сети в количественном и качественном выражении.

**Целью статьи** является количественная и качественная оценка показателей эффективности внедрения и эксплуатации экспертной системы по реновации водораспределительной сети.

### Изложение основного материала

Для определения экономической эффективности в количественном выражении необходимо провести оценку затрат на разработку, внедрение, эксплуатацию ЭС и планируемой экономии. Поскольку

экспертная система разработана в рамках диссертационного исследования, то затраты на её разработку рассматриваться и учитываться при анализе эффективности системы в целом не будут. Затраты, необходимые для внедрения экспертной системы, носят одновременный характер и состоят из:

- затрат на приобретение вычислительной техники;
- затрат, связанных с обучением пользователей, тестированием системы, консультациями пользователей в ходе эксплуатации;
- затрат, связанных с разработкой новых моделей, включающих рабочее время сотрудника.

Затраты при эксплуатации состоят из:

- затрат рабочего времени на проверку и архивирование данных;
- затрат, связанных с обслуживанием и эксплуатацией технических средств.

При условии, что технические средства имеются в наличии в требуемом количестве и качестве, затраты на внедрение и эксплуатацию разработанной ЭС могут быть сведены к минимуму.

Определим основные факторы экономии, которая может быть получена в результате эксплуатации ЭС [7]:

Сокращение потерь и непроизводительных расходов воды. Экономия воды достигается в основном за счет сокращения аварийных участков трубопровода, реновационные работы на которых произведены до выхода их из строя, снижение расходов при спуске, дезинфекции и промывке, на сброс воды при пуске артезианских скважин.

Сокращение расхода электроэнергии. Экономия вследствие снижения избыточных напоров на выходе насосных станций, необходимого для подачи воды потребителю.

Сокращение объема химических реагентов на подготовку воды. Экономия достигается за счет сокращения утечек и неучтенной воды.

Уменьшение средств на аварийно-восстановительные работы. Вследствие предупреждения повреждений на сетях сократятся финансовые и материальные затраты на последующие работы реновации.

Сокращение численности ИТР, по причине создания автоматизированного управления работами реновации на ВРС.

Анализ затрат при эксплуатации экспертной системы показывает, что наиболее существенной составляющей общей экономии является сокращение потерь и непроизводительных расходов воды.

Поскольку предлагаемая экспертная система позволяет выявлять и предупреждать аварийные ситуации на водораспределительной сети, то можно утверждать, что её использование направлено на снижение потерь и непроизводительных расходов воды. В структуре затрат (рис. 1) предприятия водо-

снабжения г. Харькова наибольший удельный вес занимают материальные затраты, которые на 50,7% состоят из затрат на электроэнергию и материалы для подготовки воды (хлор, коагулянт, флокулянт, магнофолк и др.).



Кроме того, динамика изменений непроизводительных потерь воды за последние 4 года (табл. 1), имеющая тенденцию к увеличению, подтверждает необходимость внедрения ЭС.

Таблица 1  
Динамика изменений непроизводительных потерь воды по городу

Показатель	Года				Абсолютное отклонение		
	2004	2005	2006	2007	2005/2004	2006/2005	2007/2006
% утечки и неучтенной воды	31,35	31,67	32,64	32,99	0,32	0,96	0,35

Рассмотрим сокращение затрат предприятия за счет экономии по следующим статьям затрат:

1. *Электроэнергия.* По данным предприятия водоснабжения г. Харькова по фактическим потерям воды за год, в среднем 1% непроизводительных потерь воды составляет 1000 тыс. м<sup>3</sup>. Расход электроэнергии на 1% в тыс. кВт. ч./год:

$P_{э/э} = P_{ср} \times P_{уд} = 1000 \times 4,3813 = 438,13 \text{ тыс. кВтч/год}$ ,  
где  $P_{ср}$  – средний годовой расход электроэнергии, тыс. м<sup>3</sup>;  $P_{уд}$  – удельный расход электроэнергии на подъем 1 м<sup>3</sup> воды, кВт. ч./м<sup>3</sup>.

Сокращение расходов электроэнергии при экономии непроизводительных потерь на 1% составит:

$\Delta_э = P_{э/э} \times T_{ср} = 4381,3 \times 0,34258 = 1500,9 \text{ тыс. грн.}$ ,  
где  $T_{ср} = 34,258$  – средний тариф 1 кВт. ч. за октябрь 2007 г., коп.

2. *Материалы для подготовки воды.* Необходимое количество материалов для обработки 1 м<sup>3</sup> поднятой воды по данным предприятия водоснабжения г. Харькова составляет:

$$P_M = \frac{P_{\text{общ}}}{P_{\text{воды}}} = \frac{2890,7}{185060,3} = 0,0156 \text{ тыс. грн./м}^3,$$

где  $P_{\text{общ}}$  – годовая сумма расходов на материалы для подготовки воды, тыс. грн.;  $P_{\text{воды}}$  – годовой подъем воды, тыс. м<sup>3</sup>.

Экономия материалов при сокращении непроизводительных потерь воды на 1% составит:

$$\mathcal{E}_M = P_{\text{ср}} \times P_M = 1000 \times 0,0156 = 15,62 \text{ тыс.грн.},$$

где  $P_{\text{ср}}$  – среднее количество непроизводительных потерь воды в год;  $P_M$  – расход материалов на 1 м<sup>3</sup> поднятой воды, грн./м<sup>3</sup>.

3. *Расчет экономического эффекта за счет сокращения ИТР.* С учетом большого объема информации, требующей обработки для определения участков ВРС, требующих первоочередных мер для проведения работ по реновации, внедрение разработанной ЭС позволит сократить двух инженерно-технических работников. Это даст возможность сократить затраты на оплату труда и социальные отчисления.

Расход заработной платы в год составит:

$$\mathcal{E}_3 = 12 \times Z_{\text{ср}} \times Z_{\text{пр}} \times K_{\text{итр}} = 12 \times 1452 \times 1,2 \times 2 = 41817,6 \text{ грн.},$$

где  $Z_{\text{ср}}$  – среднегодовая основная заработная плата одного ИТР, грн.;  $Z_{\text{пр}}$  – премиальные вознаграждения, %.;  $K_{\text{итр}}$  – сокращаемое количество ИТР, чел.

Расходы на социальные отчисления:

$$P_{\text{со}} = \mathcal{E}_3 \times P_{\text{отч}} = 41817,6 \times 38 = 15890,69 \text{ грн.},$$

где  $P_{\text{отч}} = 38$  – процент отчислений на социальное страхование от годового фонда оплаты труда, %.

Таким образом, сокращение фонда оплаты труда составит 57708,29 грн. в год.

Экономия за счет снижения затрат на ликвидацию повреждений.

Предупреждая повреждение с помощью разработанной экспертной системы возможно сократить затраты на её ликвидацию.

По статистическим данным предприятия водоснабжения г. Харькова, общее количество повреждений в 2006 году составило 4075 шт., из них 26,2% происходит на трубопроводе диаметром 100 мм.

Рассчитаем среднюю стоимость ликвидации одного повреждения на трубопроводе диаметром 100 мм:

$$C_{\text{ср}} = K_{\text{повр}} \times C_{\text{ликв}} = 1069 \times 3,469 = 3708,361 \text{ тыс.грн.},$$

где  $K_{\text{повр}}$  – количество повреждений в год, шт.;

$C_{\text{ликв}}$  – стоимость ликвидации одного повреждения на трубопроводе, тыс. грн.

Экономия затрат при сокращении повреждений на трубопроводе с наибольшим количеством повреждений составит 3708,361 тыс. грн. в год.

Таким образом, эксплуатация экспертной системы по реновации водораспределительной сети позволит сократить затраты электроэнергии и материалов на подготовку воды на 1% непроизводительных потерь воды, при этом экономия составит 1516,52 тыс. грн.

Количественные оценки эффективности внедрения экспертной системы сведены в табл. 2.

Таблица 2  
Оценки показателей эффективности внедрения ЭС

Факторы экономии	Экономия в год, тыс. грн.
Сокращение расхода электроэнергии	1500,9
Сокращение материальных затрат на подготовку воды	15,62
Сокращение средств на аварийно-восстановительные работы	3708,361
Сокращение численности ИТР	57,708
<b>ИТОГО</b>	<b>5282,589</b>

Определено, что растущие объемы информации, меняющиеся критерии выбора данных, рост повреждений на водораспределительных сетях, ведущих к непроизводительным затратам предприятий водоснабжения, требуют использования информационных технологий для повышения экономической эффективности управления работами реновации на водораспределительных сетях.

Проведем анализ эффективности внедрения экспертной системы по следующим качественным показателям [8]:

1. *Мониторинг статей затрат.* При составлении плана работ по реновации водораспределительной сети в контуре экспертной системы ведется учет запланированных затрат и их действительных отклонений для проведения конкретной работы. Проведение такого контроля затрат помогает проводить мониторинг по их сокращению, определять работы, где возникают отклонения плановых затрат от фактических, отслеживая таким образом возникновение накладных расходов, обеспечивает руководителя оперативной информацией для анализа затрат для конкретной работы. Предположительный экономический эффект мониторинга статей затрат при эксплуатации ЭС составит 5% от общего объема затрат.

2. *Экономия рабочего времени при согласовании и принятии решений.* ЭС предоставляет оперативную, обоснованную информацию для принятия безошибочных решений за счет автоматизированной процедуры поддержки принятия решений в определении приоритетных участков водораспределительной сети для проведения ремонтно-восстановительных работ, выбора способа реновации, составления расписания работ с учетом ограниченности ресурсов. При этом контролируется риск, кото-

рий при незначительных сокращениях в финансировании отдельных работ (или при ограничении материальных, трудовых ресурсов) приводит к существенному увеличению сроков всего проекта, обесцениванию отдельных работ. Экономический эффект при использовании ЭС составляет примерно 10% от объема перерабатываемой информации.

3. *Экономия при закупке материалов на проведение работ.* Разработанная экспертная система позволяет точно рассчитать потребность в ресурсе на каждый период времени в соответствии с принятым планом производства работ. Этот расчет исключает недостаточность производственных запасов, который влечет к необходимости срочных закупок с дополнительными финансовыми затратами и избыточность закупок, которая способствует увеличению инвестиций в складские запасы, тем самым «замораживая» средства предприятия. Экономический эффект при закупке материалов на проведение работ составит около 5% от объема закупок всех материалов.

### Выводы

Разработанная на основе моделей самоорганизации экспертная система позволит в практической деятельности предприятий водоснабжения учесть динамические изменения характеристик водораспределительной системы, сократить сроки разработки новых систем для автоматизированного процесса поддержки принятия решений, обеспечит повышение эффективности работы систем водоснабжения в целом.

Приведенные результаты оценки экономической эффективности внедрения и эксплуатации разработанной экспертной системы позволяют сделать вывод о том, что за счет разработанной системы поддержки принятия решений по планированию работ реновации на водораспределительной сети снижаются затраты по основным статьям расхода предприятия.

Таким образом, развитие и внедрение информационных технологий – самый действенный и неизбежный способ повышения качества управления и эффективности функционирования предприятий водоснабжения в целом.

### Список литературы

1. Самойленко Н.И., Синельникова О.И., Дашевская Е.Е. Сравнение свойств моделей прогноза повреждений на водораспределительной сети методами множественной регрессии, нейронных сетей и группового учета аргументов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – Вып. 4/5 (28). – С. 15-20.
2. Самойленко Н.И., Синельникова Л.И., Дашевская Е.Е. Моделирование задач контроля и управления техническим состоянием водораспределительной сети методом группового учета аргументов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 5/3 (29). – С. 13-16.
3. Синельникова О.И., Дашевская Е.Е. Составление и анализ расписания работ по обновлению и восстановлению водораспределительной системы // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2007. – Вып. 9(67). – С. 114-116.
4. Синельникова О.И., Дашевская Е.Е. Методология построения экспертной системы управления водораспределительными сетями // Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. – Х.: НТУ «ХПИ», 2007. – № 41. – С. 154-161.
5. Петросов В.А. Стійкість водопостачання. – Х.: Фактор, 2007. – 360 с.
6. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д., Дубровский В.В. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.
7. Котеленец Б.А., Леонов Я.В., Полянский С.М. Экономическая устойчивость предприятий ВКХ. – Х.: Основа, 2001. – 185 с.
8. Скрипкин К.Г. Экономическая эффективность информационных систем. – М.: ДМКпресс, 2002. – 252 с.

Поступила в редколлегию 24.04.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Н.И. Самойленко, Национальная академия городского хозяйства, Харьков.

## ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПО РЕНОВАЦІЇ ВОДОРозПОДІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ

О.Є. Дашевська

У статті досліджується питання економічної ефективності використання розробленої експертної системи по реновації водорозподільної мережі в практичній діяльності підприємств водопостачання. Вирішується завдання кількісної і якісної оцінки показників ефективності впровадження і експлуатації експертної системи. Розроблена експертна система дозволить в практичній діяльності підприємств водопостачання врахувати динамічні зміни характеристик водорозподільної системи, забезпечить підвищення ефективності роботи систем водопостачання в цілому.

**Ключові слова:** експертна система, водорозподільна мережа, економічний ефект, структура витрат.

## ESTIMATION OF ECONOMIC EFFICIENCY INTRODUCTION AND OPERATION OF EXPERT SYSTEM ON RENOVATION OF WATER-DISTRIBUTING SYSTEM

O.E. Dashevska

In the article the question of economic efficiency of the use of the developed consulting model is explored on renovation of water-distributor network in practical activity of enterprises of water-supply. The task of quantitative and high-quality estimation of indexes of efficiency of introduction and exploitation of consulting model decides. The developed consulting model will allow in practical activity of enterprises of water-supply to take into account the dynamic changes of descriptions of the water-distributor system, will provide the increase of efficiency of work of the water systems on the whole.

**Keywords:** consulting model, water-distributor network, economic effect, structure of expenses.