

УДК 008.5

**Коваленко Игорь Иванович**

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры программного обеспечения автоматизированных систем

**Кошкин Владимир Константинович**

Аспирант кафедры управления проектами

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев*

## НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТАХ РЕКОНСТРУКЦИИ МУНИЦИПАЛЬНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Анотація.* Розглянуто концептуальні підходи проектування системи підтримки прийняття рішень проектів реконструкції муніципального водопостачання. Запропоновано архітектуру відповідної системи і визначено її основні функціональні характеристики. Наведено умови задач підготовки та прийняття рішень щодо реалізації проектів реконструкції муніципальних систем водопостачання на основі формування та ранжування альтернативних рішень.

**Ключові слова:** система водопостачання, проект реконструкції, система підтримки прийняття рішення

*Аннотация.* Рассмотрены концептуальные подходы проектирования систем поддержки принятия решений у проектах реконструкции муниципального водоснабжения. Предложена архитектура соответствующей системы и определены ее основные функциональные характеристики. Приведены постановки задач подготовки и принятия решений по реализации проектов реконструкции муниципальных систем водоснабжения на основе формирования и ранжирования альтернативных решений.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, проект реконструкции, система поддержки принятия решения

*Annotation.* The conceptual approaches of projects reconstruction of municipal water supply decision support system creation are discussed. The architecture of corresponding system is proposed and its main functionalities are defined. In general, conceptually developed municipal water supply decision support system will include logically interconnected blocks: "Water system", "Indicators of reconstruction", "Databases water supply elements", "Monitoring elements of water supply", "Initiation of projects", "Project planning", "Restrictions of the project", "Artifact projects", "Formation of project hierarchy" and "Implementation of the projects". Common formulation of decision support problems as a problem of alternative arrangement and a problem of alternative clustering are discussed. For their solving the methods of hierarchy analysis, analytical networks, certificate theory and also the methods of robust (stable) statistics, structure analysis and others are used.

**Key words:** water supply system, reconstruction project, the system of support of decision making

### Постановка проблемы

В настоящее время одной из важнейших проблем, которая определяет дальнейшее развитие как отдельных стран мира, так и всего человечества, остается проблема эффективного использования водных ресурсов. Актуальность данной проблемы объясняется нарастающим дефицитом воды,

используемой в различных сферах производственной деятельности, а также потребляемой в качестве питьевой [6; 7].

Одним из аспектов данной проблемы является разработка комплекса мероприятий, связанных с обеспечением муниципальных образований питьевой водой.

Применительно к условиям Украины [8] данная проблема обостряется значительным физическим и моральным износом основных элементов систем водоснабжения (СВ), несоответствием технико-технологических параметров СВ существующим в Европейском союзе стандартам и нормам, отсутствием необходимых ресурсов для их реновации, а также научно-обоснованных рекомендаций по реализации проектов и программ реконструкции СВ.

Это обуславливает актуальность исследований, направленных на повышение эффективности муниципальных СВ.

В настоящее время вопросам повышения эффективности функционирования СВ муниципальных образований посвящено значительное количество исследований [1; 4; 6; 9]. Однако, основным направлением следует считать разработку проектов и программ их реконструкции на основе современных технологий в области очистки воды, методологии энергетического менеджмента, применения современных материалов и оборудования, а также положений теории управления проектами.

Выполненный анализ значительного числа разработок в области информационных технологий (ИТ) показал, что к настоящему времени они широко используются в различных системах муниципального водоснабжения как малых населенных пунктов, так и больших городов. Типичная система контроля СВ муниципальных образований, как правило, состоит из центрального компьютера, первичных датчиков и электромеханических устройств управления, средств передачи и приема сигналов.

Использование ИТ в муниципальных СВ обеспечивают получение различных индикативных показателей ее работы: расход воды, эффективность функционирования насосного оборудования, расход электроэнергии на подъем и перекачку воды и т.д. Одним из факторов, обеспечивающих перспективу использования ИТ в муниципальных СВ, следует считать необходимость представление СВ на различного рода картах-схемах при помощи геоинформационных систем, совмещенных с технико-технологическими характеристиками СВ [10].

На основе данных ИТ производится паспортизация элементов СВ, гидравлический расчет системы, построение расчетных моделей, выполняются конструкторские расчеты, решаются коммуникационные задачи и т.д.

Известные направления использования ИТ в муниципальных системах водоснабжения могут служить основой для формирования и реализации проектов и программ реконструкции. Однако, с

целью повышения их эффективности, существующие ИТ должны быть интегрированы с основными положениями теории управления проектами и программами, что можно реализовать посредством разработки системы поддержки принятия решений (СППР) проектов реконструкции муниципального водоснабжения.

Сложность предметной области управления (развитая структура, множество технических параметров и характеристик СВ, высокая социальная значимость проектов, значительное количество участников и стейкхолдеру проекта, пространственные составляющие и др.) требует разработки такой структуры СППР и соответствующих ей моделей, которые обеспечат лицу, принимающему решения, возможность выбирать рациональные альтернативы, необходимые для формирования проекта реконструкции СВ.

### **Цель работы**

Целью работы является определение концептуальных подходов и технологий разработки СППР проектов муниципального водоснабжения.

### **Изложение основного материала**

В общем случае, концептуально разрабатываемая СППР проектов реконструкции СВ будет включать в себя логически связанные блоки: «Система водоснабжения», «Индикаторы реконструкции», «Базы данных элементов СВ (БД1, БД2, БД3)», «Мониторинг элементов СВ», «Инициация проектов», «Планирование проектов», «Ограничения у проектах», «Артефактные проекты (база знаний БД4)», «Формирование иерархии проектов» и «Реализация проектов» (рис. 1).

Для каждого из блоков системы поддержки принятия решений должны быть разработаны требования к их содержанию [2; 3].

Предполагается, что в дополнение к основным параметрам действующей СВ, получаемым на основе данных системы мониторинга, в качестве исходных данных будут выступать следующие характеристики и показатели муниципальной СВ (БД1, БД2, БД3): генеральный план развития муниципального образования; статистические формы социально-экономического развития муниципального образования, форма №1 – отчет про работу канализации; утвержденный проект водоснабжения, правила приема сточных вод от предприятий и организаций; тарифы на водоснабжение и канализацию; техническую документацию на систему водоснабжения; результаты паспортизации объектов системы водоснабжения и канализации и т.д.

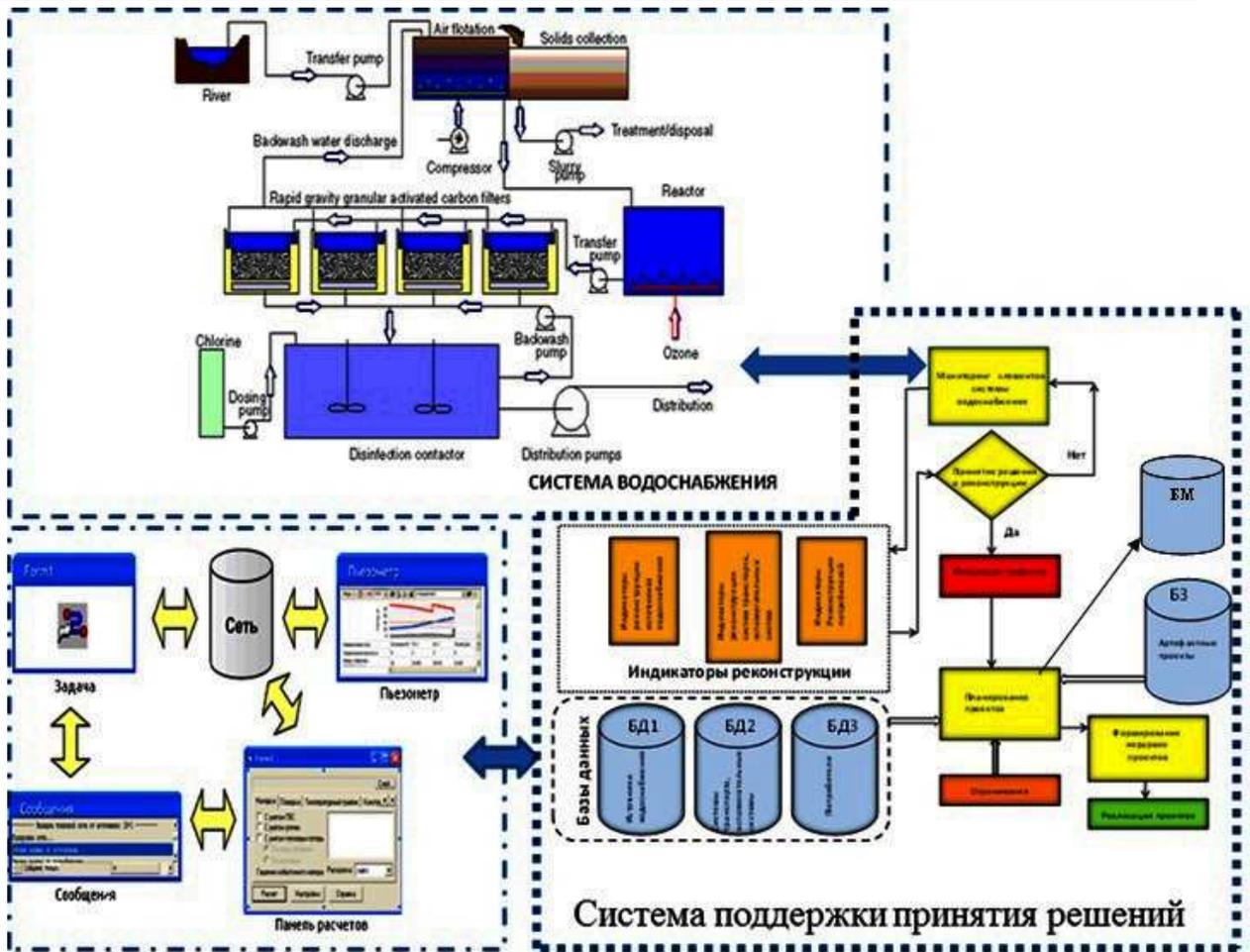


Рисунок. Основные элементы интегрированной СППР проектов реконструкции систем водоснабжения

Следует заметить, что основной задачей СППР является сопоставление каждой предметной области рекомендуемым вариантам решения, т.е. реализуется схема [5]: “СИТУАЦИЯ” → “ВАРИАНТ РЕШЕНИЯ”.

Поэтому при построении СППР основное внимание должно быть направлено на определение задачи принятия решения (ПР) (выбор лучшего варианта ранжирования альтернатив, классификация или кластеризация альтернатив) и выбор соответствующего метода принятия решения, реализующего такие задачи. Такой подход реализуется посредством включения в состав структуры СППР (рисунок) базы методов поддержки принятия решений (БМ).

Приведем общие постановки ряда задач ПР и кратко рассмотрим ряд современных методов их поддержки.

1. Задача ранжирования альтернатив. Пусть имеется  $n$  альтернатив (проектов)  $A_i, i = \overline{1, n}$ . Тогда должна иметь место следующая процедура:

$$\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\} \Rightarrow \Rightarrow \{A_1 \succ A_2 \succ \dots \succ A_i \succ \dots \succ A_n\} \vee \vee \{A_1 \succ A_2 \sim A_3 \succ \dots \succ A_i \sim A_{i+1} \succ \dots \succ A_n\}. \quad (1)$$

Здесь знаки ( $\succ$  и  $\sim$ ) и ( $\sim$ ) означают соответственно предпочтение и эквивалентность;  $\{A_1 \succ A_2 \succ \dots \succ A_i \succ \dots \succ A_n\}$  – строгая ранжировка;  $\{A_1 \succ A_2 \sim A_3 \succ \dots \succ A_i \sim A_{i+1} \succ \dots \succ A_n\}$  – нестрогая ранжировка.

Для получения ранжировок альтернатив вида (1) широко используется процедура их попарного сравнения, что позволяет сформировать матрицу  $(A_{ij})$ , обладающей свойствами обратной симметричности следующего вида:

$$(A_{ij}) = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{i1} & A_{i2} & \dots & A_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где  $A_{ij} = 1/A_{ji}; \forall i, j = \overline{1, n}$  относятся соответственно к строке и столбцу, а  $n$  – число сравниваемых альтернатив (проектов).

В основе анализа матрицы (2) лежит нахождение значений собственных векторов, которое реализуется следующей схемой определения геометрического среднего:

$$(A_{ij}) = \begin{pmatrix} \sqrt[n]{A_{11} \cdot A_{12} \cdot \dots \cdot A_{1n}} = d_1 \\ \sqrt[n]{A_{21} \cdot A_{22} \cdot \dots \cdot A_{2n}} = d_2 \\ \dots \\ \sqrt[n]{A_{n1} \cdot A_{n2} \cdot \dots \cdot A_{nn}} = d_m \end{pmatrix} \Rightarrow \quad (3)$$

$$\Rightarrow (d_1 + d_2 + \dots + d_m = D) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left\{ \frac{d_1}{D} = \omega_1; \frac{d_2}{D} = \omega_2; \dots, \frac{d_m}{D} = \omega_m \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m).$$

Здесь  $\omega_i (i=1, m)$  являются весовыми коэффициентами, определяющими места каждой из альтернатив в ранжировках (1). Рассмотренная процедура попарного сравнения альтернатив лежит в основе ряда современных методов поддержки решений: метода анализа иерархий (МАИ) и его модификаций, метода аналитических сетей (МАС), методов теорий свидетельств и др.

2. Задача кластеризации альтернатив. Формально такую задачу можно представить в таком виде:

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n\} = \{A^{(1)}, \{A^{(2)}\}, \dots, \{A^{(j)}\}, \dots, \{A^{(n)}\}, \quad (4)$$

где  $\{A^{(j)}\} = \{A_1, A_2, \dots, A_k\}$  – j-ый кластер, содержащий альтернативы  $\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ ;  $n \geq k \geq 2$  – число элементов в кластере;  $j = \overline{1, m}$  – число кластеров. Пусть каждая из альтернатив  $A_i$  может быть охарактеризована совокупностью числовых оценок показателей проектов реконструкции СВ:

$$\begin{aligned} X_{A_1} &= \{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \\ X_{A_2} &= \{x_1, x_2, \dots, x_m\}, \\ X_{A_n} &= \{x_1, x_2, \dots, x_e\}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда для решения указанной задачи требуется определить такое пороговое решающее правило, которое позволит отнести последующие оценки  $x$  к одной из совокупностей (5). Такую процедуру можно представить следующим выражением:

$$x_i \in \begin{cases} \{X_{A_1}\}, & \text{если } x_i \leq p_1; \\ \{X_{A_2}\}, & \text{если } p_1 < x_i \leq p_2; \\ \dots \\ \{X_{A_j}\}, & \text{если } p_{j-1} < x_i \leq p_j; \\ \dots \\ \{X_{A_m}\}, & \text{если } p_{m-1} < x_i \leq p_m, \end{cases} \quad (6)$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_m$  – значения порогов, равные определенным величинам  $x_i$ .

Данная задача может быть решена с использованием методов робастной (устойчивой) статистики (выборочной медианы, усеченного среднего, винзоризованного среднего) с применением адаптивных процедур устойчивого оценивания на основе получения стабильных аналогов асимметрии и эксцесса, методами структурного анализа и др.

Принятие решения о начале реконструкции СВ будет осуществляться на основе разработанной в процессе исследований системы индикаторов (индикативных показателей): структурных и параметрических.

В процессе выполнения исследования будут разработаны шаблоны-архиваторы артефактных проектов, данные которых будут выступать в качестве возможных альтернатив технико-технологического обеспечения формирования проекта реконструкции муниципальной СВ, а также альтернатив при принятии управленческих решений.

В основу разработанного варианта СППР проектов реконструкции муниципальных СВ будет положена возможность удаленного доступа при управлении проектами, диалоговый режим управления, базирующийся на экспертных оценках предлагаемых альтернатив, который позволит учитывать динамические характеристики окружения проекта, снизить затраты на проведение оптимизационных вычислений и др.

### Выводы

1. Предложены принципиальные подходы разработки СППР проектов реконструкции муниципального водоснабжения, что позволит повысить качество и уменьшить сроки реализации проектов.

2. Определены функциональная структура и взаимосвязи между элементами СППР проектов реконструкции муниципального водоснабжения.

3. Результаты выполненных исследований могут быть положены в основу проводимых авторами исследований по проблематике управления проектами и программами реконструкции муниципальных систем водоснабжения Украины.

## Список літератури

1. Анпілогов П.І. Управління водопровідними мережами міста у реальному вимірі часу [текст] / П.І. Анпілогов // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-тех. збірник. – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 10. – С. 30–35.
2. Коваленко І.І. Експертні технології підтримки прийняття рішень [текст] / І. І. Коваленко, А.В. Швед. – Николаев: Іллон, 2013.–216 с.
3. Коваленко І.І. Методи прийняття рішень [текст] / І.І. Коваленко, Т.А. Фарионова, С.Б. Приходько. – Николаев: Изд. НУК им. адм. Макарова, 2009. – 180 с.
4. Кошкин В.К. Управление проектами ЖКХ с использованием геоинформационных систем [текст] / В.К. Кошкин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. – №1/13 (55). – С. 46-48.
5. Ларичев О.И. Многокритериальные методы принятия решений [текст] / О.И. Ларичев, С.В. Емельянов. – М.: Знание, 1985. – 32 с.
6. Михайленко В.М. Архітектура інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень проекту розвитку та реконструкції системи водопостачання міста [текст] /В.М. Михайленко, О.Л. Соловей// Управління проектами та розвиток виробництва, 2012. – №1 (41). – С. 1-5.
7. Національна доповідь: Про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2011 році [Електронний ресурс] /<http://minregion.gov.ua/attachments/files/zhkh/vodopostachanya>.
8. Статистичний бюлетень "Про основні показники роботи водопровідного господарства України за 2011 рік"[текст]//Держстат України 30.03.2012 р. – № 03/3 – 52/428.
9. Koshkin V. Water resources decision support system [текст]/ V. Koshkin Проектно-орієнтоване державне управління: принципи та механізми: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції. – Донецьк, 2014. – С. 87-90.
10. Water distribution system design guidelines and standard specifications and details [Електронний ресурс] /[http://dpuserver.drivehq.com/waterdistributionuqui delines\\_specifications.pdf](http://dpuserver.drivehq.com/waterdistributionuqui delines_specifications.pdf).

## References

1. Anpilogov, P.I. (2008). Management of municipal water supply systems in real time measurement. Problems of water supply, water disposal and hydraulics: Scientific-technical collection, Kyiv, Ukraine: KNUBA, 10, 30 - 35.
2. Kovalenko, I.I., Shved, A.V.(2013). Expert technologies for decision support. Nikolayev: Ilion, 216 p.
3. Kovalenko, I.I., Farionova, T.A., Prihodko, S.B. (2009). Decision making methods. Nikolayev: NUS, 180 p.
4. Koshkin, V.K. (2012). Housing and communal service project management with geoinformation systems using. Eastern-European journal of advanced technologies, 1/13 (55), 46-48.
5. Larichev, O.I., Emeliyanov, S.V. (1985). Multicriterian decision support methods. M.: Znaniye, 32 p.
6. Mikhaylenko, V.M., Solovey, O.L. (2012). Information-analytical system architecture of development and reconstruction project of municipal water supply system of the city. Project management and production development, 1 (41), 1-5.
7. National report: Concerning drinking water quality and drinking water supply in Ukraine in 2011. <http://minregion.gov.ua/attachments/files/zhkh/vodopostachanya>.
8. Statistical bulletin "Concerning main indicators of water supply in Ukraine in 2011". Government statistics of Ukraine, 30.03.2012, 03/3, 52/428.
9. Koshkin, V. (2014). Water resources decision support system. Project-oriented government management: principles and mechanisms: Materials of all-Ukrainian scientific-practical Internet - conference. Donetsk, 87-90.
10. Water distribution system design guidelines and standard specifications and details. [http://dpuserver.drivehq.com/waterdistributionuqui delines\\_specifications.pdf](http://dpuserver.drivehq.com/waterdistributionuqui delines_specifications.pdf).

Стаття поступила в редколлегию 1.08.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.С. Блинцов, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев.