

УДК 628.2:658.5

Ф.А. Стоянов, О.В. Старкова, М.А. Цибинога, Д.А. Бондаренко

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков*

## ВЫБОР ШАБЛОНА ПРОЕКТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ УЧАСТКА ВОДООТВОДЯЩЕЙ СЕТИ ПО РАЗЛИЧНЫМ КРИТЕРИЯМ

*В статье представлен научно обоснованный подход к выбору шаблона проекта ремонтно-восстановительных работ на участке канализационного коллектора. В качестве критериев выступают стоимость и продолжительность восстановления участка сети водоотведения. Предложена оптимизация с учетом указанных критериев, а также решена задача двухкритериальной оптимизации.*

**Ключевые слова:** шаблон проекта, критерии выбора, система водоотведения.

### Введение

**Актуальность.** По данным Госстроя Украины при общей протяженности канализационных сетей, составляющей 32 102 км, 8640 км полностью исчерпали свой амортизационный ресурс и 7555 км находятся в аварийном состоянии [1]. В Украине ежегодно перекалывается около 60 км сетей, следовательно, для перекладки 7555 км аварийных участков необходимо более 100 лет, при условии, что остальные сети будут находиться в исправном состоянии. Иначе говоря, если этот процесс будет идти такими темпами, то на восстановление аварийных трубопроводов понадобится не один десяток лет, и не один миллиард гривен.

В современных условиях разработку стратегии восстановления городских водоотводящих и других коммунальных сетей целесообразно осуществлять на основе научно-обоснованных моделей и методов.

**Анализ исследований и публикаций.** В мировой практике накоплен значительный опыт ремонта и восстановления канализационных сетей различными методами. Выбор этих методов в каждом конкретном случае должен сопровождаться глубоким анализом состояния сети, зависеть от состояния коллектора и имеющихся денежных средств. Существует большое многообразие методов ремонта и восстановления сетей [2 – 4]. В настоящей статье для исследования были выбраны те, которые наиболее часто встречаются в мировой практике, а также такие, которые применяются для восстановления сетей водоотведения на Украине. Название и суть методов ремонта не приводились, поскольку для настоящей статьи это не является важным.

Автором работы [5] предложены корректировка стоимости ремонтно-восстановительных работ и методика определения применимости методов ремонта к заданным классам состояния коллектора. В настоящем исследовании стоимостные аспекты ремонтно-восстановительных работ и их продолжительность взяты из работы [5].

**Постановка задачи.** Целью настоящей статьи является научное обоснование и разработка модели выбора шаблона проекта ремонтно-восстановительных работ для участка водоотводящей системы с учетом критериев стоимости и продолжительности восстановления.

### Основная часть

Критериями выбора шаблона проекта восстановления могут выступать стоимость ремонта и продолжительность ремонта. Выбор критерия обусловлен наличием финансовых и ресурсных возможностей эксплуатационной организации [6].

В случае выбора шаблона проекта по критерию стоимости восстановительных работ математическая постановка задачи выглядит следующим образом.

Найти

$$C_{\Sigma} (i) \rightarrow \min, \\ i \in \Omega_1$$

где  $\Omega_1$  – множество методов ремонта, применение которых возможно для рассматриваемого участка водоотводящей сети в зависимости от категориальности бьефов, выбранное на основе метода экспертных оценок;

$i$  – количество существующих методов ремонта;

$C_{\Sigma}$  – стоимость восстановительных работ.

Если ресурсы эксплуатационной организации ограничены либо протяженность участка мала, предлагается выбор шаблона проекта, ориентированного на использование одного метода ремонта для всех бьефов (участок между смежными колодцами) участка. Из представленного набора методов необходимо выбрать такой, который можно применить на всей протяженности участка в зависимости от класса состояния его бьефов, и его стоимость будет минимальной.

Выбор шаблона проекта ремонта по критерию минимальной стоимости комплекса работ при условии производства ремонтно-восстановительных работ на участке одним методом представлен на

рис. 1. Наличие маркера на пересечении номера бьефа и метода ремонта говорит о возможности применения данного метода на текущем бьефе.

Например, множество методов 1 – 7 возможно применить только на участках 2 и 3, так как ремонт указанными методами осуществляется при классах состояния 3 и 4. Методы 8 – 14 можно использовать на всех участках, кроме участка 6, так как участок имеет первый класс состояния, а данные методы применяются для более низких классов состояния.

Таким образом, из предложенного набора методов ремонта выбрано множество  $\Omega_1$  (методы 15 – 23), применение которых возможно на всех бьефах участка.

После этого рассчитывается суммарная стоимость комплекса ремонтных работ для участка по возможным методам производства работ (последняя строка множества  $\Omega_1$ ) по следующей формуле:

$$\Omega_1 = \begin{pmatrix} 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 99863 & 100853 & 110023 & 43658 & 104612 & 43343 & 79670 & 58308 & 64135 \\ 103991 & 105022 & 114571 & 45462 & 108937 & 45134 & 82963 & 60719 & 66786 \\ 100256 & 101250 & 110456 & 43829 & 105024 & 43513 & 79983 & 58538 & 64388 \\ 64675 & 65316 & 71255 & 28274 & 67751 & 28070 & 51597 & 37763 & 41536 \\ 41282 & 41691 & 45482 & 18047 & 43245 & 17917 & 32934 & 24104 & 26513 \\ 31256 & 31566 & 34436 & 13664 & 32743 & 13566 & 24936 & 18250 & 20074 \\ 21820 & 22037 & 24040 & 9539 & 22858 & 9471 & 17408 & 12741 & 14014 \\ 463142 & 467737 & 510262 & 202475 & 485171 & 201014 & 369491 & 270422 & 297445 \end{pmatrix}$$

Затем, из рассчитанных стоимостей выбирается минимальная. В нашем случае, минимальная стоимость комплекса ремонтно-восстановительных работ на участке составляет 201014 грн, метод, позволяющий осуществить ремонт с указанной стоимостью, имеет номер 20.

Найти  $Z_{\Sigma}(i) \rightarrow \min, i \in \Omega_2$

где  $\Omega_2$  – множество методов ремонта, применение которых возможно для рассматриваемого участка водоотводящей сети в зависимости от категорийности бьефов, выбранное на основе метода экспертных оценок;  $Z_{\Sigma}$  – суммарная продолжительность комплекса ремонтно-восстановительных работ.

Если на участке целесообразно применение одного метода (рис. 1), то выбор возможного множества осуществляется способом, описанным ранее.

$$\Omega_2 = \begin{pmatrix} 15 & 16 & 17 & 18 & 19 & 20 & 21 & 22 & 23 \\ 23,9 & 34,0 & 18,8 & 30,5 & 34,5 & 21,8 & 29,0 & 45,2 & 61,0 \\ 24,9 & 35,4 & 19,6 & 31,7 & 36,0 & 22,7 & 30,2 & 47,1 & 63,5 \\ 24,0 & 34,2 & 18,9 & 30,6 & 34,7 & 21,9 & 29,1 & 45,4 & 61,2 \\ 15,5 & 22,0 & 12,2 & 19,7 & 22,4 & 14,1 & 18,8 & 29,3 & 39,5 \\ 9,9 & 14,1 & 7,8 & 12,6 & 14,3 & 9,0 & 12,0 & 18,7 & 25,2 \\ 7,5 & 10,7 & 5,9 & 9,5 & 10,8 & 6,8 & 9,1 & 14,2 & 19,1 \\ 5,2 & 7,4 & 4,1 & 6,7 & 7,5 & 4,8 & 6,3 & 9,9 & 13,3 \\ 110,7 & 157,9 & 87,2 & 141,4 & 160,2 & 101,3 & 134,3 & 209,7 & 282,7 \end{pmatrix}$$

$$C_{\Sigma}(i) = \sum_{j=1}^7 C_i \cdot l_j,$$

где  $C_{\Sigma}(i)$  – суммарная стоимость комплекса ремонтно-восстановительных работ на участке  $i$ -м методом ремонта, грн;  $j$  – номер бьефа,  $j = \overline{1,7}$ ;  $C_i$  – стоимость  $i$ -го метода ремонта 1 м трубопровода, грн;  $l_j$  – протяженность  $j$ -го бьефа, м.

Первая строка множества  $\Omega_1$  отображает номер метода ремонта, вторая – стоимость ремонтно-восстановительных работ соответствующим методом на первом бьефе, третья – то же, но для второго бьефа, четвертая – для третьего, и так далее. Последняя строка множества показывает суммарную стоимость комплекса восстановительных работ соответствующим методом для участка из семи бьефов в целом. В этом случае множество методов  $\Omega_1$  имеет следующий вид.

Только в этом случае рассчитывается суммарная продолжительность комплекса восстановительных работ следующим образом:

$$Z_{\Sigma}(i) = \sum_{j=1}^7 Z_i \cdot l_j,$$

где  $Z_{\Sigma}(i)$  – суммарная продолжительность комплекса ремонтно-восстановительных работ на участке  $i$ -м методом ремонта, рабочих смен;  $j$  – номер бьефа,  $j = \overline{1,7}$ ;  $Z_i$  – продолжительность ремонта  $i$ -м методом 1 м трубопровода, рабочих смен;  $l_j$  – протяженность  $j$ -го бьефа, м.

Таким образом, если осуществлять ремонт методом 15, то продолжительность работ составит 110,73 рабочие смены, методом 20 – 101,31 рабочих смен. Проводя анализ вычислений, строим область  $\Omega_2$ , которая будет иметь вид:

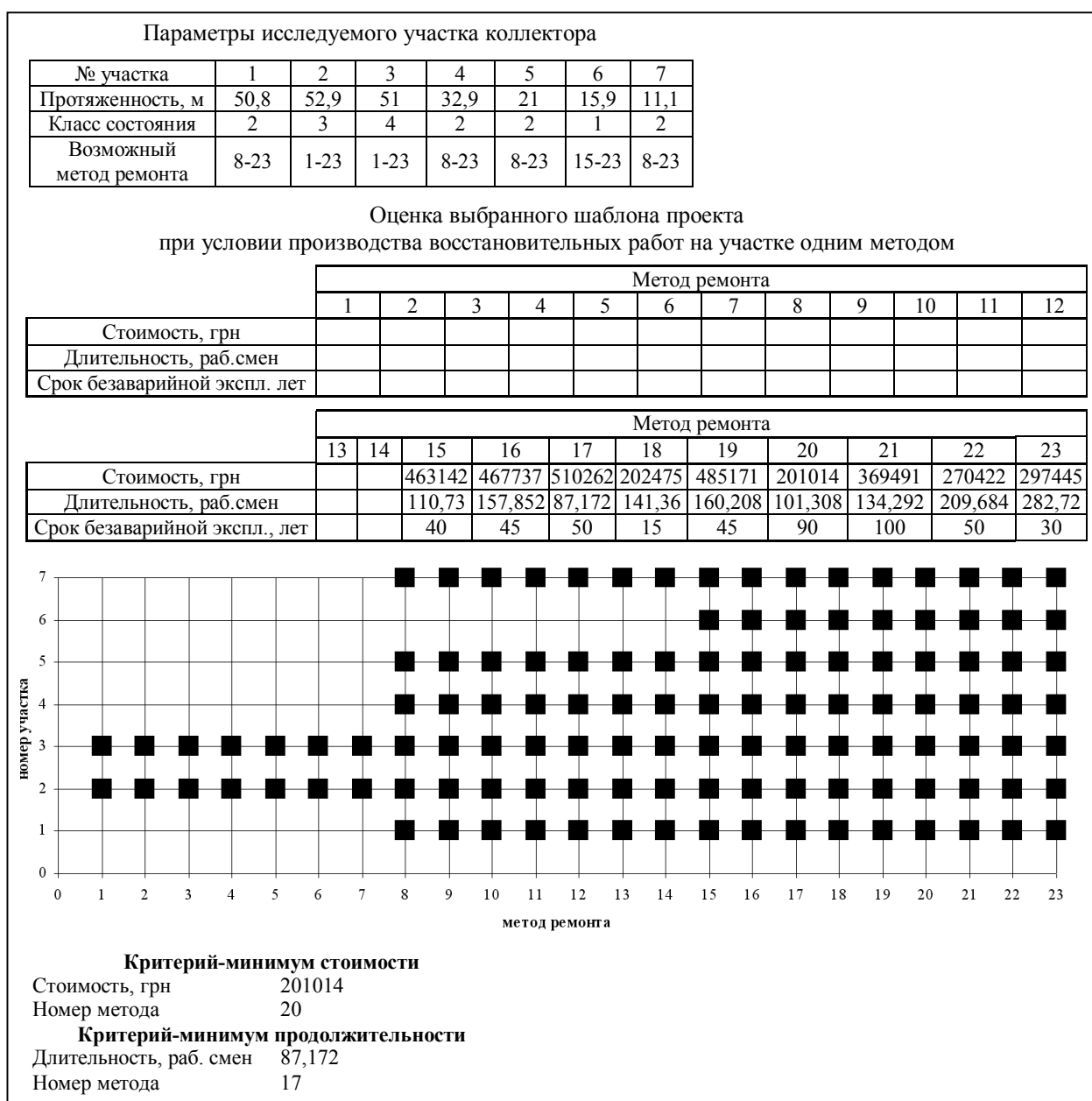


Рис. 1. Выбор шаблона проекта восстановления на участке при условии производства работ одним методом

Первая строка множества отображает номер метода ремонта, вторая – продолжительность ремонтно-восстановительных работ соответствующим методом на первом бьефе, третья – то же, но для второго бьефа, четвертая – для третьего и так далее. Последняя строка множества показывает суммарную продолжительность комплекса восстановительных работ соответствующим методом для участка из семи бьефов в целом.

Для выбора шаблона проекта по критерию продолжительности выбирается минимальная продолжительность комплекса работ. В представленном варианте предлагается выбор метода 17 с продолжительностью работ на всем участке в 87,17 рабочих смен и стоимостью комплекса работ 510262 грн.

Для выбора шаблона проекта восстановления по двум критериям были использованы весовые коэф-

фициенты, которые рассчитаны следующим образом:

$$k_{\alpha\alpha\alpha} = |1/(\alpha_{\epsilon} - \alpha_{\sigma})|,$$

где  $\alpha_{\epsilon}$  – лучшее значение из диапазона представленных;  $\alpha_{\sigma}$  – худшее значение из диапазона представленных.

Расчет весовых коэффициентов для стоимости и продолжительности восстановительных работ представлен в табл. 1. Перемножив значения весовой коэффициент можно перейти к безразмерным показателям. Суммируя эти показатели, вводим функцию ценности [7], которая стремится к минимуму (табл. 2). Таким образом, если осуществлять выбор шаблона проекта по двум критериям, то метод 20 со стоимостью 201013,92 грн. и продолжительностью 101,31 раб. смены является оптимальным.

Таблиця 1

Расчет весовых коэффициентов для стоимости и продолжительности восстановительных работ

Номер	Целевая функция	Значение целевой функции на множестве методов		Весовые коэффициенты
		лучшее	худшее	
1	Стоимость, грн.	201013,9	510262,5	0,00000032
2	Продолжительность, раб. смен	87,172	282,72	0,00511386

Таблиця 2

Расчетные показатели методов ремонта

	Метод ремонта								
	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Стоимость	1,4976	1,5125	1,6500	0,6547	1,5689	0,6500	1,1948	0,8744	0,9618
Длительность	0,5663	0,8072	0,4458	0,7229	0,8193	0,5181	0,6867	1,0723	1,4458
Функция ценности	2,0639	2,3197	2,0958	1,3776	2,3881	1,1681	1,8816	1,9467	2,4076

Минимальное значение функции ценности 1,1681  
 Номер метода 20  
 Стоимость, грн 201013,92  
 Продолжительность, раб. смен 101,31

Если эксплуатационная организация имеет достаточное количество ресурсов и протяженность участка велика, целесообразно осуществлять ремонт участков коллектора различными методами. В дальнейшем исследования будут продолжены в этом направлении.

### Выводы

Практическая значимость полученных результатов состоит в разработке научно обоснованного подхода к выбору шаблона проекта ремонтно-восстановительных работ на участке канализационного коллектора.

Представленный на рис. 1 пример рекомендует наиболее выгодные по различным критериям методы ремонта, а лицо, принимающее решение, выбирает из предложенных тот проект, который наиболее приемлем исходя из финансовых и ресурсных возможностей эксплуатационной организации.

### Список литературы

1. Гончаренко Д.Ф. Ремонт и восстановление канализационных сетей и сооружений / Д.Ф. Гончаренко, И.В. Коринько. – Х.: Рубикон, 1999. – 365 с.

2. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения / Д.Ф. Гончаренко. – Х.: Консум, 2008. – 400 с.

3. Коринько И.В. Наукове обґрунтування та розробка організаційно-технологічних рішень, що підвищують експлуатаційну довговічність систем водовідведення: Дисс. докт. техн. наук / Коринько І.В. – Х.: ХГТУСА, 2003. – 414 с.

4. Орлов В.А. Разработка стратегии восстановления городских водоотводящих сетей / В.А. Орлов, В.А. Харьков // РОСТ. – 2001. – №3. – С. 20-27.

5. Старкова О.В. Управление проектами ремонтно-восстановительных работ на сетях водоотведения: Дисс. канд. техн. наук / Старкова О.В. – Х.: ХГТУСА, 2007. – 157 с.

6. Старкова О.В. Выбор оптимальных параметров восстановления сетей водоотведения / О.В. Старкова, Е.А. Шаповалова, Л.А. Гнучих // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – К.: Техника, 2008. – Вып. 87. – С.17-23.

7. Кігель В.Р. Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці: Монографія / В.Р. Кігель. – К.: ЦУЛ, 2003. – 202 с.

Поступила в редколлегию 25.11.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.Ф. Гончаренко, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков.

### ВИБІР ШАБЛОНУ ПРОЕКТУ ВІДНОВЛЕННЯ УЧАСТКА ВОДОВІДВІДНОЇ МЕРЕЖІ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ

Ф.А. Стоянов, О.В. Старкова, М.О. Цибинога, Д.О. Бондаренко

У статті представлено науково обґрунтований підхід до вибору шаблону проекту ремонтно-відновлювальних робіт на ділянці каналізаційного колектора. У якості критеріїв вибору виступають вартість та тривалість відновлення ділянки водовідвідної мережі. Запропоновано оптимізацію з урахуванням вказаних критеріїв, а також розв'язана задача двокритеріальної оптимізації.

**Ключові слова:** шаблон проекту, критерії вибору, система водовідведення.

### SELECT THE TEMPLATE OF PROJECT RESTORATION AREA SEWERAGE NETWORK ON VARIOUS CRITERIA

F.A. Stoyanov, O.V. Starkova, M.A. Tsibinoga, D.A. Bondarenko

In the article the scientifically grounded approach is represented to the selection of project templates of repair-restorations works of area of sewage collector. A cost and duration of renewal of area of sewages network come forward as the criteria of optimality. In addition optimization is offered taking into account two named criteria.

**Keywords:** template of the project, selection criteria, sewerage system.