



Методика избыточных проектных схем и метод поконтурной минимизации систем группового водоснабжения и водоотведения

© М.В. Мороз

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

Резюме: Из-за неравномерности распределения водных ресурсов по территории нашей страны многие населенные пункты и даже города не имеют своих источников водоснабжения и водоемов, куда можно было бы сбрасывать очищенные сточные воды. Для решения этой проблемы проектируются, строятся и развиваются групповые и районные системы водоснабжения и водоотведения, протяженность которых насчитывает сотни и даже тысячи километров. На строительство и эксплуатацию таких сооружений ежегодно требуются значительные финансовые вложения. Поэтому вопросы выбора трасс, состава сооружений, и особенно способов транспортировки воды и сточных вод, обоснования мест расположения водозаборов, очистных сооружений являются актуальными и требуют особого внимания и разработки комплексной методики оптимизации структуры и параметров систем водоснабжения и водоотведения. В работе предлагается на основе предварительно построенного избыточного графа метод поконтурной минимизации структуры сооружений и способов подачи воды потребителям, транспортировки сточных вод на очистные сооружения трубопроводным и автомобильным транспортом. Избыточный граф включает всевозможные связи (ребра, дуги), которые моделируют трубопроводный и автомобильный транспорт, между вершинами, которые моделируют существующие и новые источники воды и сброса стоков, канализационные очистные сооружения, насосные станции, регулирующие резервуары и потребителей. Метод выделяет наилучшие (с точки зрения минимума затрат жизненного цикла) ребра, дуги и вершины графа и находит им соответствующие параметры трубопроводных и автомобильных участков сети и сооружений. Данный метод основан на процедуре обхода контуров и последовательной замены ветвей дерева ходами, при этом лучший вариант в виде остова дерева запоминается. По результатам проведенных численных экспериментов показано, что применение комбинированных (трубопроводных и автомобильных) систем транспортировки воды по затратам жизненного цикла является оптимальным.

Ключевые слова: системы группового водоснабжения и водоотведения, методика построения избыточного графа, метод поконтурной минимизации систем водоснабжения и водоотведения

Для цитирования: Мороз М.В. Методика избыточных проектных схем и метод поконтурной минимизации систем группового водоснабжения и водоотведения. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость.* 2021. Т. 11. № 1. С. 60–73. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>

The method of redundant design schemes and the method of contour minimization of group water supply and sewerage systems

Mariya V. Moroz

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

Abstract: Due to the uneven distribution of water resources across the territory of Russia, many settlements and even cities do not have own sources of water supply and reservoirs, where treated wastewater could be discharged. To solve this problem, group and district water supply and sewerage systems are designed, built, and developed, hundreds and even thousands of kilometers long. The construction and operation of such facilities require significant financial investments every year. Therefore, the issues of the choice of routes, the structure of facilities, and particularly the methods of transporting water and wastewater, justifying the locations of water intakes and treat-

ment facilities are relevant and require special attention and development of a comprehensive methodology for optimizing the structure and parameters of water supply and sewerage systems. The paper proposes, on the basis of a previously constructed redundant graph, the method of contour minimization of the structure of facilities and ways of supplying water to end users, transporting wastewater to treatment plants by pipelines and trucks. The redundant graph includes all kinds of connections (edges, arcs) that simulate pipelines and trucks, between vertices that simulate existing and new sources of water and wastewater discharges, sewage treatment plants, pumping stations, control tanks, and end users. The method selects the best (from the point of view of minimal life cycle costs) edges, arcs, and vertices of the graph and determines the corresponding parameters of pipeline and road sections of the network and facilities. This method is based on the procedure of traversing the contours and sequentially replacing the branches of the tree with moves, while the best option is remembered in the form of a spanning tree. Based on the results of the performed numerical experiments, it was shown that the use of combined (pipeline and truck) systems for transporting water in terms of life cycle costs is optimal.

Keywords: group water supply and sanitation systems, methods of constructing an excess graph, the method of contour-by-contour minimization of water supply and sanitation systems

For citation: Moroz MV. The method of redundant design schemes and the method of contour minimization of group water supply and sewerage systems. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* = *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2021;11(1):60–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-1-60-73>

Введение

Как показала практика проектирования инженерных систем различного технологического назначения [1–7], наибольший экономический эффект достигается при решении схемно-структурных и схемно-параметрических задач оптимизации. Применительно к системам водоснабжения и водоотведения к этим задачам относятся [8–14]:

- обоснование местоположения и параметров источников водоснабжения (ИВ);
- выбор местоположения водопроводных (ВОС) и канализационных очистных сооружений (КОС), включая места сброса очищенных сточных вод в естественные и искусственные водоемы;
- оптимизация трассы и параметров трубопроводов, мест размещения, напоров и производительности водопроводных и канализационных насосных станций;
- обоснования вида транспортирования воды и стоков (трубопроводный, автомобильный, железнодорожный, водный транспорт);
- обоснования способов прокладки трубопроводов (наземная, подземная, с нагревом воды и в теплоизоляции, с организацией циркуляции и без нее);
- оптимизация трассы и параметров напорных трубопроводов, уклонов самотечных коллекторов, мест размещения, напоров и производительности насосных

станций, параметров сопрягающих сооружений;

– комплексная оптимизации систем водоснабжения и водоотведения, включающая все перечислены задачи.

Именно эти вопросы и задачи являются предметом исследования настоящей работы.

Особого внимания заслуживает задача выбора вида транспортировки питьевой воды, исходных и очищенных стоков. Целесообразность назначения какого-то определенного вида транспорта зависит от многих факторов и конкретной ситуации. При этом следует отметить, что для обеспечения водой и отвоза сточных вод от отдельных потребителей частного сектора, которые не подключены к централизованным системам водоснабжения и водоотведения, уже используется автомобильный транспорт. Однако выбор вида транспорта производится на интуитивной основе без каких-либо технико-экономических обоснований. Вместе с тем возникает вопрос, при какой производительности и потребности в воде и отведении стоков экономически выгодно использовать тот или иной вид транспорта и какие при этом будут расстояния, структура сооружений и трассы. В работах [15, 16] исследованы и получены экономически выгодные диапазоны использования автомобильного транспорта в зависимости от объемов и дальности транспортирования воды и стоков. Эти зависимости используются в предлагаемой комплексной методике оптими-

зации структуры и параметров систем водоснабжения и водоотведения.

Методы

Задача выбора оптимальных трассы и параметров сооружений, вида транспортировки воды и стоков в системах водоснабжения и водоотведения разветвленной структуры формулируется следующим образом.

Пусть построен избыточный граф, моделирующий всевозможные связи (ребра, дуги) в виде автомобильного и трубопроводного транспорта между вершинами, моделирующими ИВ и места сброса стоков, КОС, насосные станции, регулирующие резервуары и потребителей. Требуется определить подграф в виде дерева и найти наилучшие (с точки зрения минимума затрат жизненного цикла [17, 18]) параметры водозаборных, очистных сооружений, трубопроводных и автомобильных участков сети [19, 20].

Для решения этой задачи предлагается новый подход [21], который сводится к сложному и многоуровневому итеративному процессу, где реализация каждой из внешних (больших) итераций осуществляется в два этапа.

На первом этапе строится одно из возможных деревьев начального приближения и вычисляются затраты жизненного цикла для соответствующего ему варианта схемы систем водоснабжения и водоотведения.

На втором этапе данное решение улучшается путем последовательной замены ветвей полученного дерева хордами (хорда – это участок, не вошедший в дерево). После этого осуществляется переход к следующей итерации, для которой уже в качестве начального приближения принимается лучший вариант дерева, полученный на предыдущей итерации, и т.д. Если на внешней итерации не будет найдено лучшего решения (по отношению к предыдущей итерации), вычислительный процесс считается законченным.

Если одновременно с задачей оптимизации трассы решается вопрос о выборе мест расположения источников воды или сброса стоков и их производительностей, то в избыточную схему вводятся фиктивные ветви, связывающие возможные места их расположения с общим узлом. Эти фиктивные ветви будут моделировать производительности и стоимости возможных ИВ. В результате оптимизации часть фиктивных ветвей будет отбракована, а на оставшихся величины расходов будут отве-

чать оптимальному распределению суммарной нагрузки между ИВ и местами установки ВОС и КОС.

В предлагаемой методике в качестве начального приближения принимается остовное дерево минимальной стоимости относительно удельных (на 1 м³/с воды и стоков) затрат жизненного цикла. Это дерево строится на основе алгоритма Дейкстры [22, 23].

При фиксированном остожном дереве на исходном избыточном графе все ветви графа можно разделить на два подмножества: (m-1) ветвей дерева и (c) участков, не вошедших в дерево и называемых хордами. Добавление к дереву некоторой хорды (r::r=1, ..., c) образует фундаментальный контур (или цикл). Следовательно, каждому остожному дереву сети будет отвечать единственная фундаментальная (хордовая) система контуров. В соответствии с этим, разбивая матрицы смежности участков и узлов (A), участков и контуров (B) и векторы расходов (X) сети на матрицы и векторы хорд (A_x, B_x, X_x) и ветвей дерева (A_o, B_o, X_o), запишем задачу оптимизации следующим образом:

$$\Phi(x) = \sum_{i=1}^n \Phi_i(x) = \sum_{i=1}^c \Phi_i(x) + \sum_{i=c+1}^n \Phi_i(x), \quad (1)$$

$$\text{при } A_x \cdot X_x + A_o \cdot X_o = Q. \quad (2)$$

Здесь $\Phi(x)$ – критериальная функция затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения. (2) – уравнение материального баланса потоков в узлах избыточной схемы. Q – вектор узловых притоков и отборов воды и стоков (n – количество участков, c – количество контуров избыточной схемы). Условия материального баланса преобразуем следующим образом:

$$x_o = A_o^{-1} \cdot (Q - A_x \cdot x_x);$$

$$x_o = A_o^{-1} \cdot Q - A_o^{-1} \cdot A_x \cdot x_x.$$

Из теории графов [16] известно, что $-A_o^{-1} \cdot A_x = B_o^T$, а $-A_o^{-1} = R_o^T$ есть транспонированная матрица путей.

С учетом матрицы путей [16] расход на ветвях дерева можно представить как функцию расхода на хордах:

$$x_o = B_o^T \cdot x_x - R_o^T \cdot Q,$$

или

$$x_{oi} = \sum_{r=1}^c \epsilon_{or} \cdot x_{xr} - \sum_{j=1}^{m-1} a_{ij} \cdot Q_j; \quad i=1, \dots, m-1. \quad (3)$$

С учетом (3) формула (1) примет следующий вид:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^c \Phi_i(x_i) + \sum_{i=c+1}^n \Phi_i \left(\sum_{r=1}^c \epsilon_{or} \cdot x_{xr} - \sum_{j=1}^{m-1} a_{ij} \cdot Q_j \right) \right\}. \quad (4)$$

Согласно выражению (4), с изменением хордовой переменной X_x в контуре r меняется величина x_{gi} только на ветвях дерева, принадлежащих данному контуру, а нагрузки остальных участков остаются неизменными.

Следовательно, можно организовать процесс поконтурной (покоординатной относительно контурных расходов) минимизации критериальной функции, фиксируя на каждом шаге значения остальных независимых переменных. При этом минимизация по каждой очередной контурной переменной осуществляется для оптимальных значений контурных расходов, полученных на предыдущих шагах (то есть формируется процедура типа метода Зейделя).

Результаты и их обсуждение

Таким образом, предлагается на основе методики построения избыточного графа метод поконтурной минимизации структуры сооружений и способов подачи воды потребителям, транспортировки сточных вод на очистные сооружения трубопроводным и автомобильным транспортом. Избыточный граф включает всевозможные связи между существующими и новыми источниками воды и сброса стоков, канализационными очистными сооружениями, насосными станциями, регулируемыми резервуарами и потребителями.

Метод поконтурной минимизации выделяет на этом графе подграф в виде остова дерева и определяет наилучшие (с точки зрения минимума затрат жизненного цикла) параметры трубопроводных и автомобильных участков сети и сооружений. Метод основан на целенаправленном и ограниченном переборе вариантов деревьев избыточного графа по схеме обхода контуров и последовательной замены ветвей дерева хордами. При этом лучший вариант запоминается.

Проиллюстрируем этот подход на примере избыточной схемы системы водоснабжения, состоящей из 12 участков (n) и 9 узлов (m), одного фиксированного источника воды в узле 1 и 8 потребителей (стрелками от узлов указаны объемы потребляемой воды в л/с в населенных пунктах, над участками показаны их длины в км). Эта схема представлена на рис. 1. На рис. 2 показан вариант начального приближения в виде дерева кратчайших рас-

стояний (затраты жизненного цикла этого варианта составляют 35 779 698 тыс. руб.).

Первый цикл итераций показан на рис. 1–6. На рис. 3а–d представлены этапы оптимизации относительно первого контура (лучшим является вариант, приведенный на рис. 3с, его затраты составляют 35 546 298 тыс. руб., красным цветом указаны участки с автомобильным транспортом).

После оптимизации второго контура (рис. 4а–d) оптимальным стал вариант, показанный на рис. 4с (затраты жизненного цикла составили 35 086 086 тыс. руб.). После оптимизации третьего контура (рис. 5а–d) оптимальным стал вариант, представленный на рис. 5с (затраты жизненного цикла составили 34 992 726 тыс. руб.).

После оптимизации четвертого контура (рис. 6а–d) оптимальным стал вариант, приведенный на рис. 6а (затраты жизненного цикла составили 34 992 726 тыс. руб.).

Второй цикл итераций осуществляется снова, начиная с первого контура, после оптимизации которого (рис. 7а–f) оптимальным выбрался вариант, представленный на рис. 7f (затраты жизненного цикла составили 34 501 212 тыс. руб.). После оптимизации второго контура (рис. 8а–d) оптимальным стал вариант, показанный на рис. 8а (затраты жизненного цикла – 34 501 212 тыс. руб.). После оптимизации третьего контура (рис. 9а–d) оптимальным стал вариант, представленный на рис. 9а (затраты жизненного цикла составили 34 501 212 тыс. руб.). После оптимизации первого контура третьего цикла (рис. 10а–f) оптимальным стал вариант, показанный на рис. 10а (затраты жизненного цикла составили 34 501 212 тыс. руб.). Таким образом, на второй внешней итерации не произошло улучшения варианта оптимизации.

Расчет считается законченным и окончательный оптимальный вариант представлен на рис. 11.

Если оптимизацию производить только для трубопроводного транспорта, то оптимальное решение будет соответствовать варианту, представленному на рис. 12, и его затраты жизненного цикла будут составлять 46 977 708 тыс. руб.

Если оптимизацию производить только для автомобильного транспорта, то оптимальное решение будет также соответствовать варианту, представленному на рис. 12, его затраты жизненного цикла составят 43 101 698 тыс. руб.

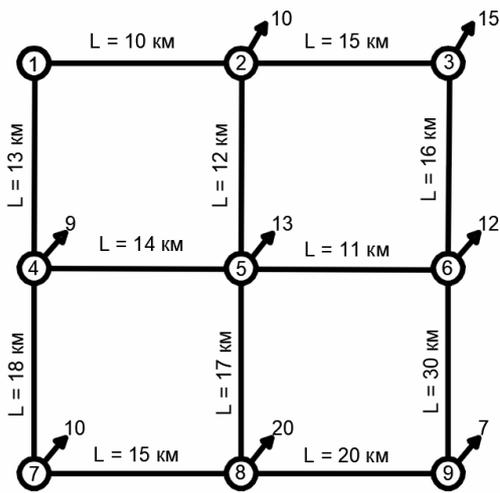


Рис. 1. Избыточная схема системы водоснабжения
Fig. 1. Redundant water supply system diagram

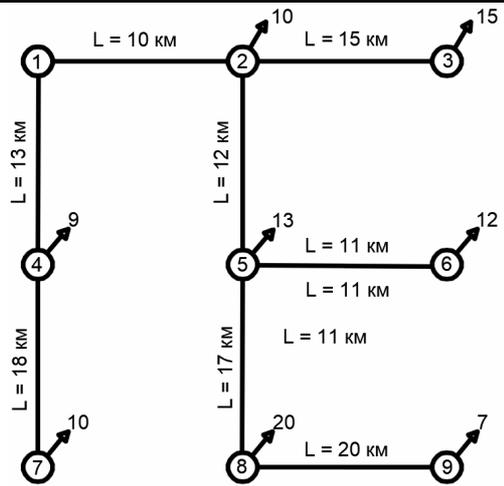


Рис. 2. Дерево кратчайших расстояний
Fig. 2. The tree of shortest distances

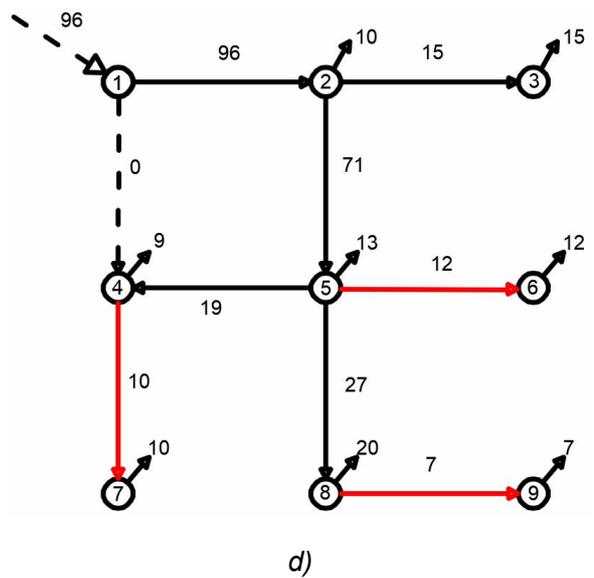
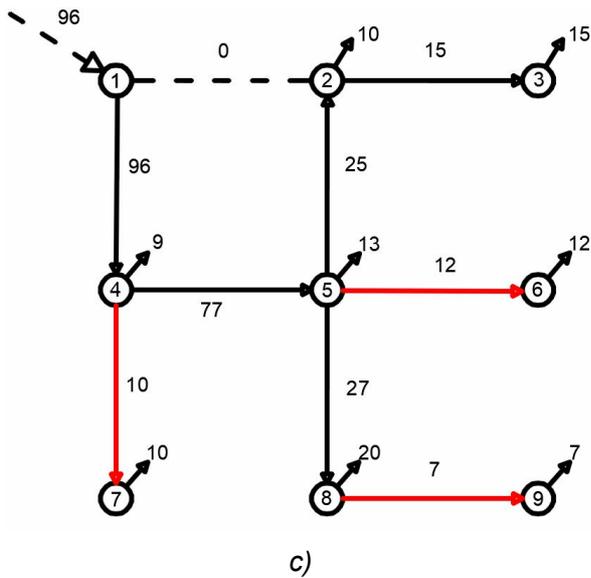
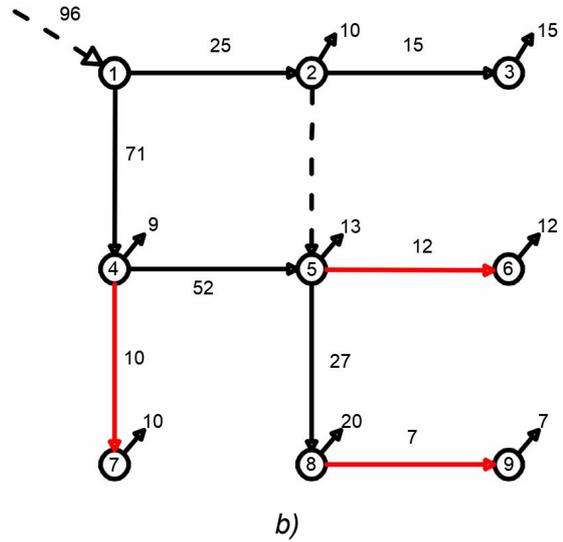
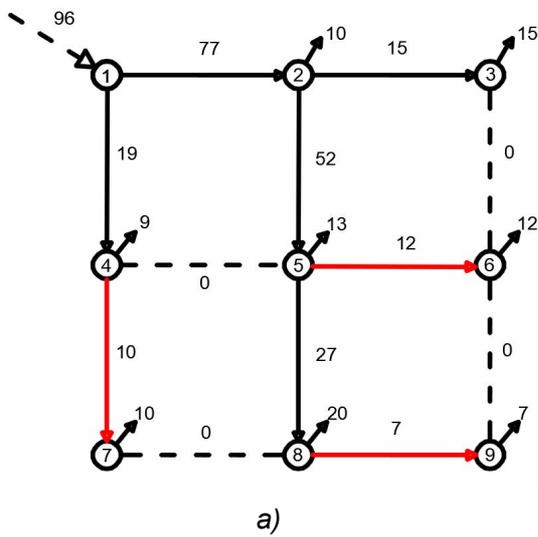


Рис. 3. Этап оптимизации относительно первого контура
Fig. 3. Optimization stage relative to the first contour

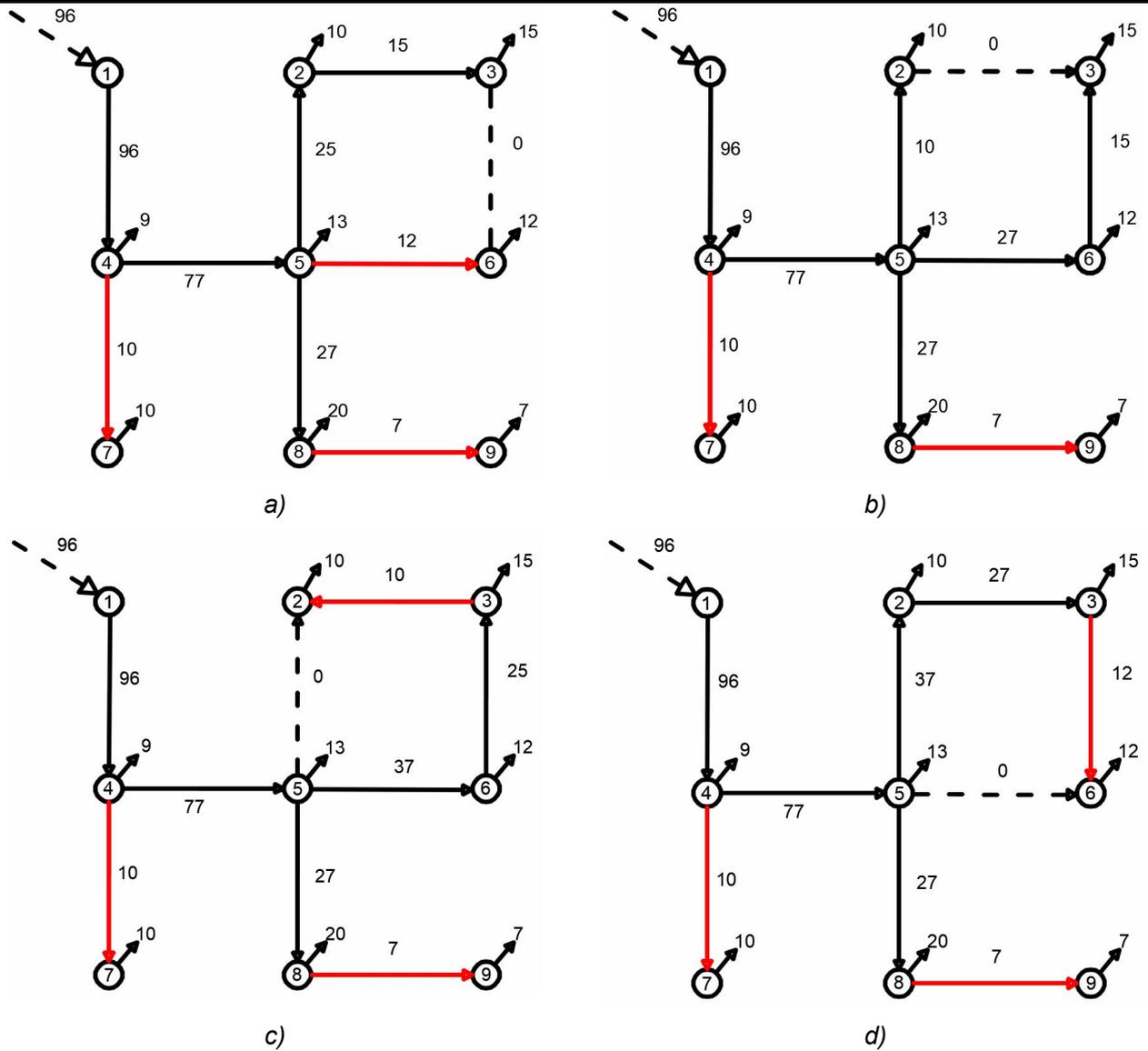
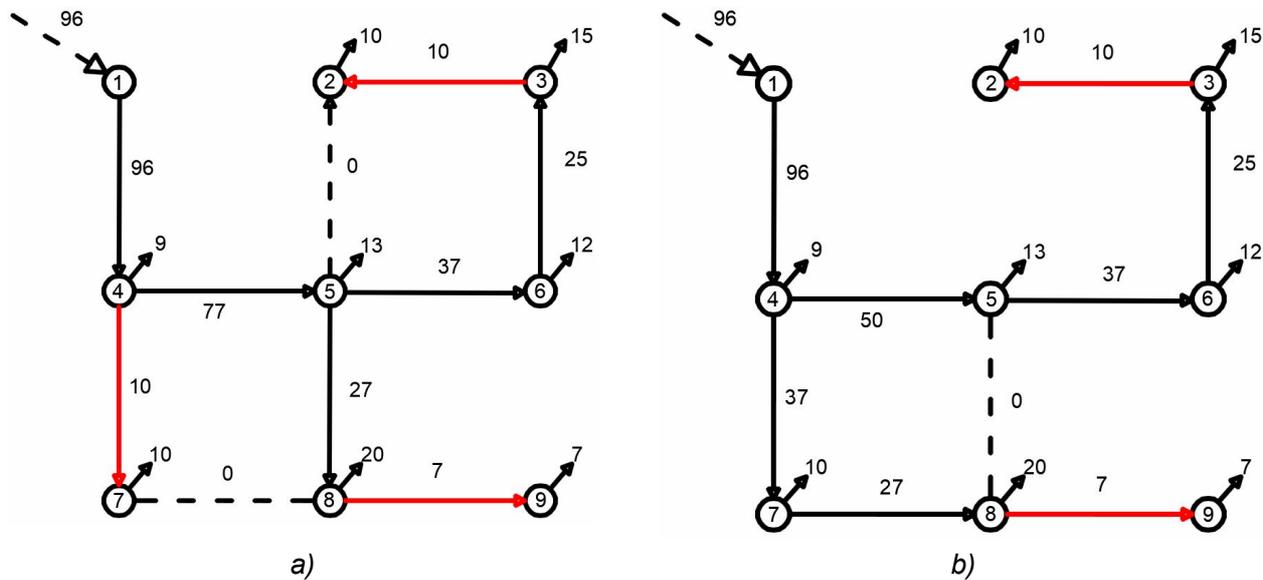


Рис. 4. Этап оптимизации относительно второго контура
 Fig. 4. Optimization stage relative to the second circuit



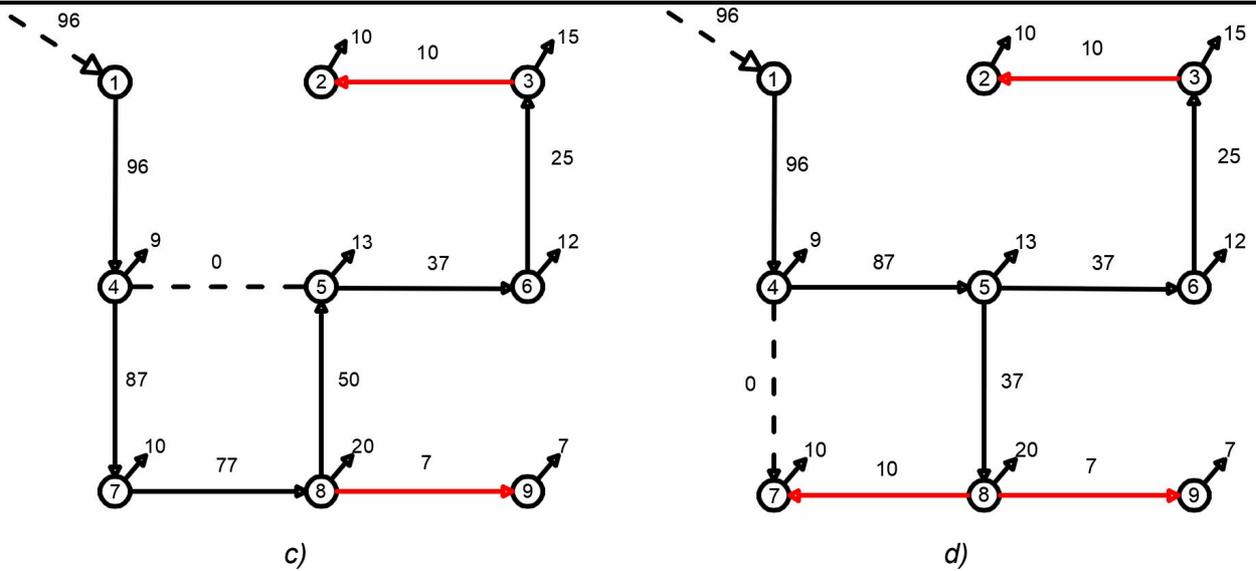


Рис. 5. Этап оптимизации относительно третьего контура
Fig. 5. Optimization stage relative to the third circuit

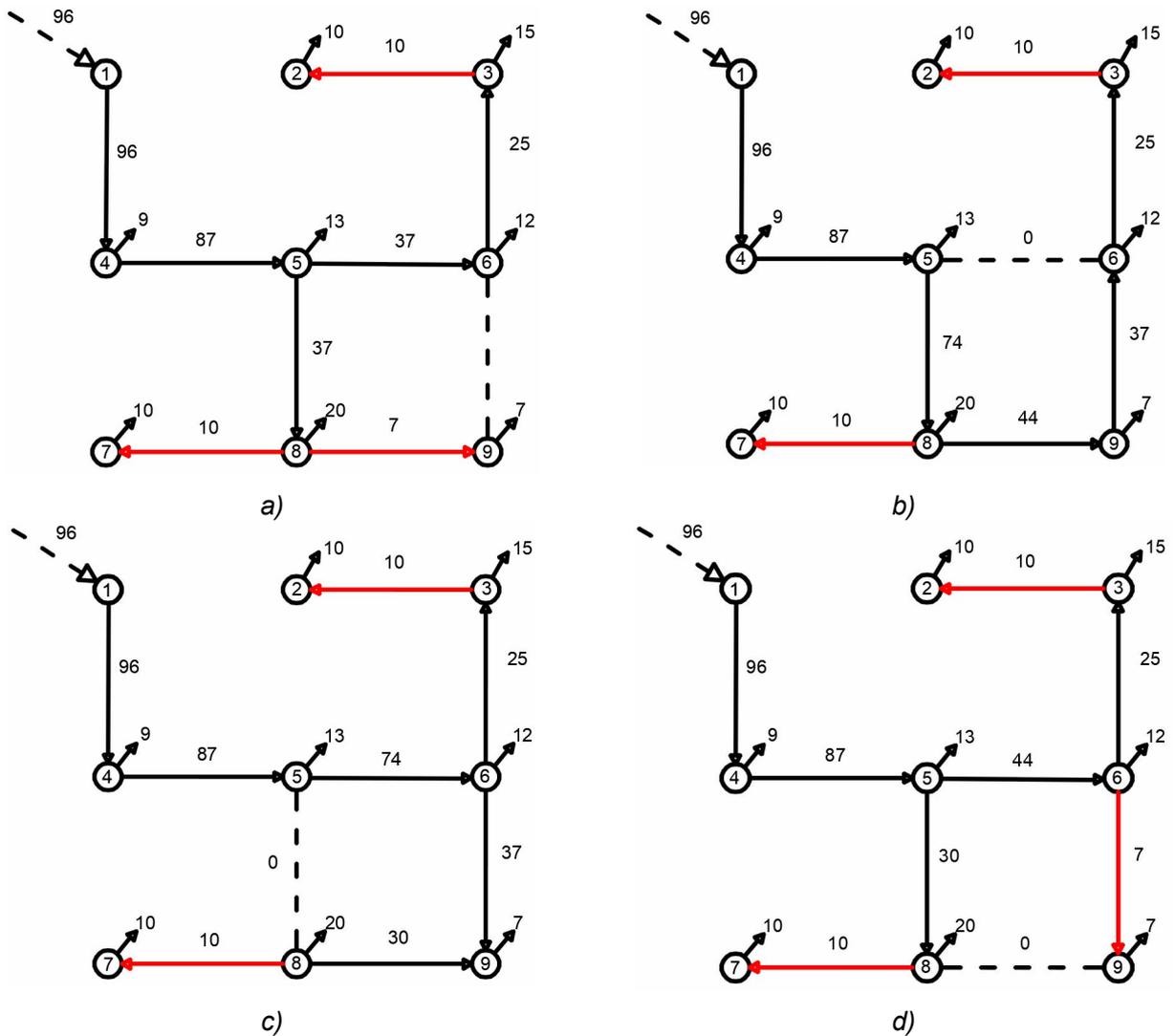


Рис. 6. Этап оптимизации относительно четвертого контура
Fig. 6. The optimization step with respect to the fourth circuit

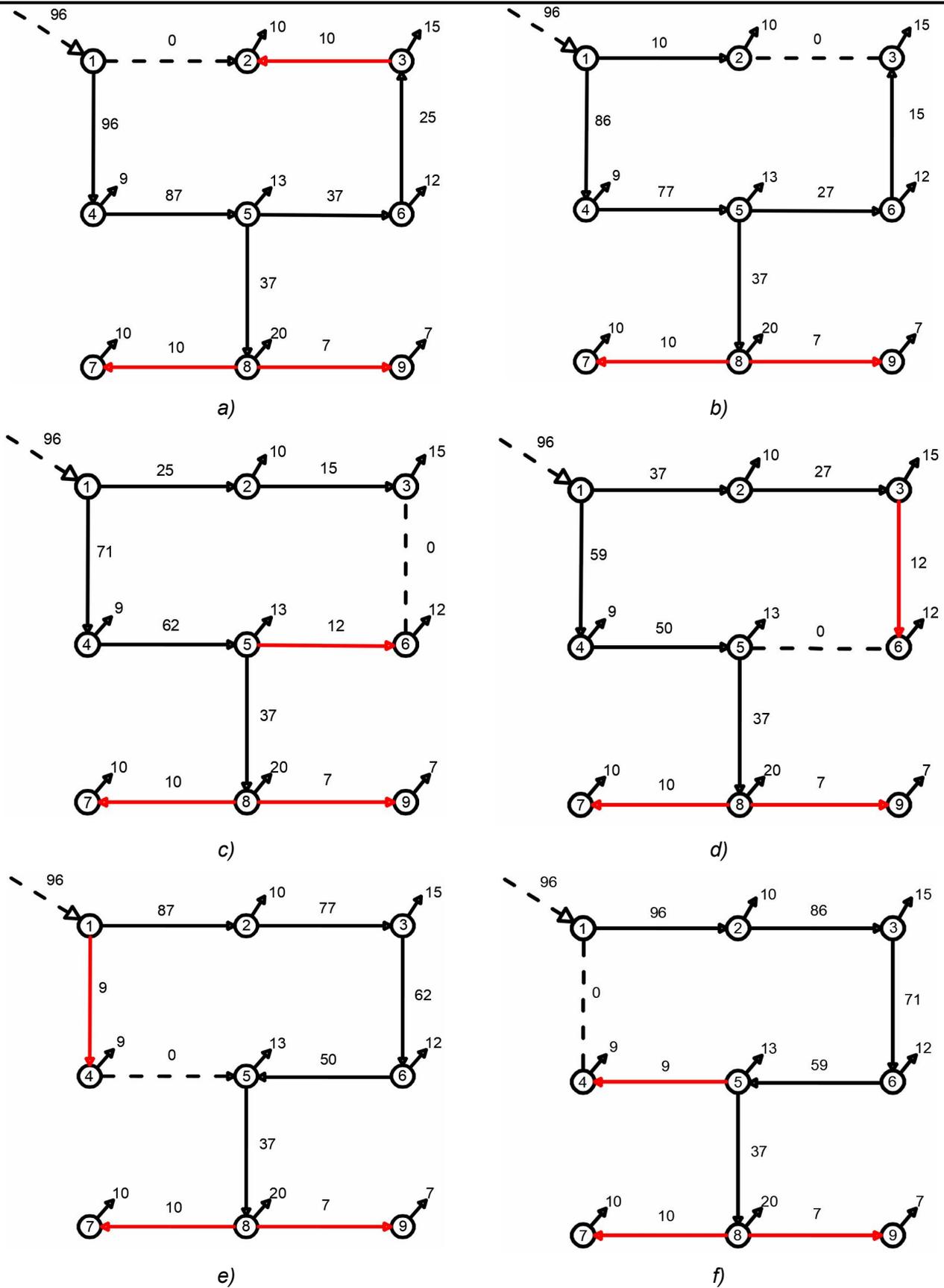


Рис. 7. Этап оптимизации относительно первого контура второго цикла итерации
 Fig. 7. Optimization stage relative to the first contour of the second iteration cycle

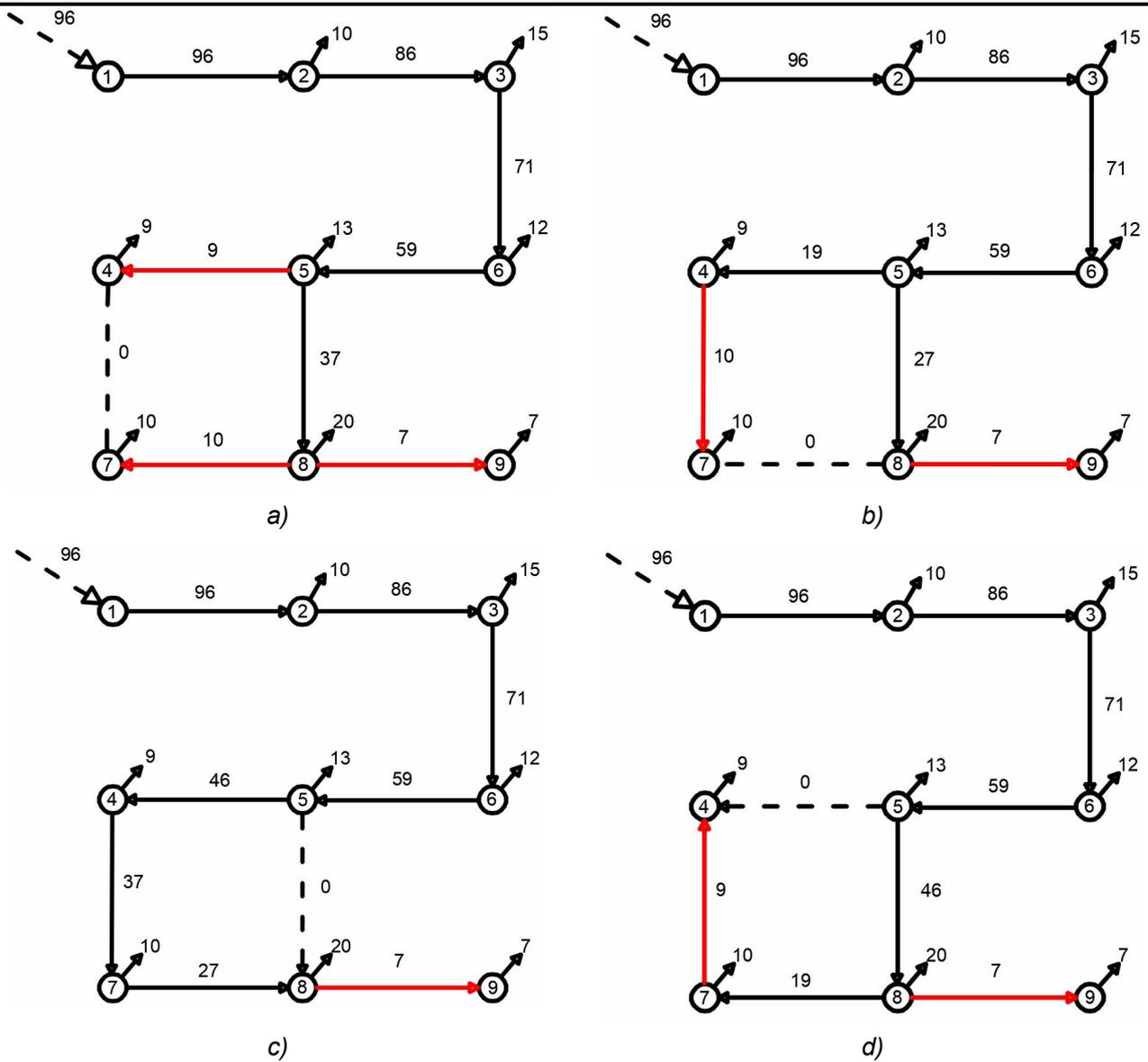
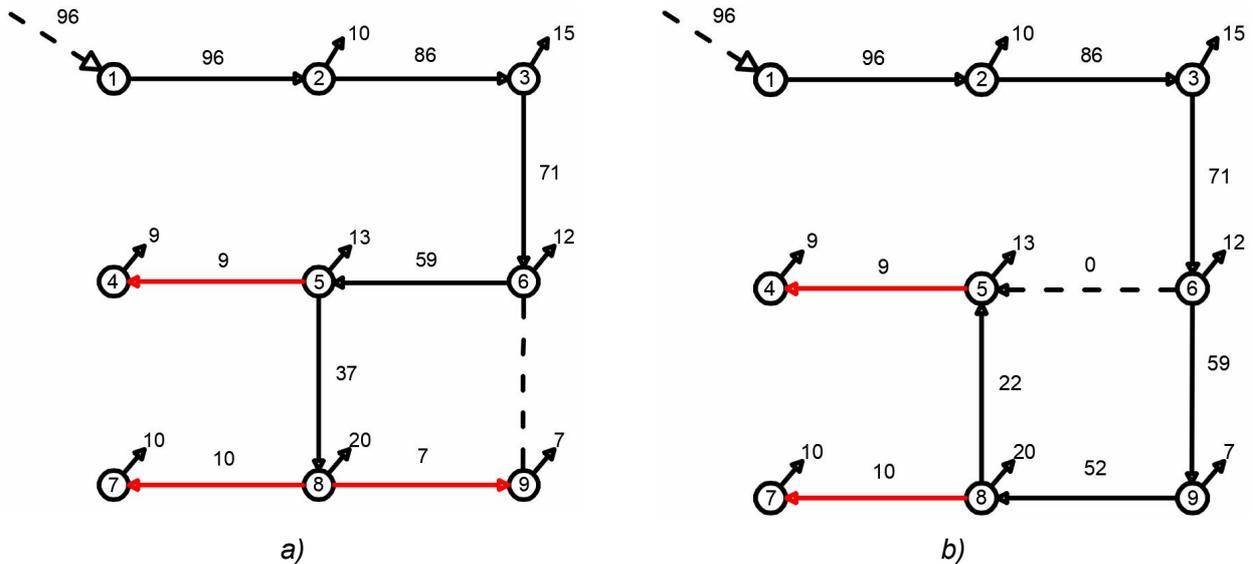


Рис. 8. Этап оптимизации относительно второго контура второго цикла итерации
 Fig. 8. Optimization stage relative to the second contour of the second iteration cycle



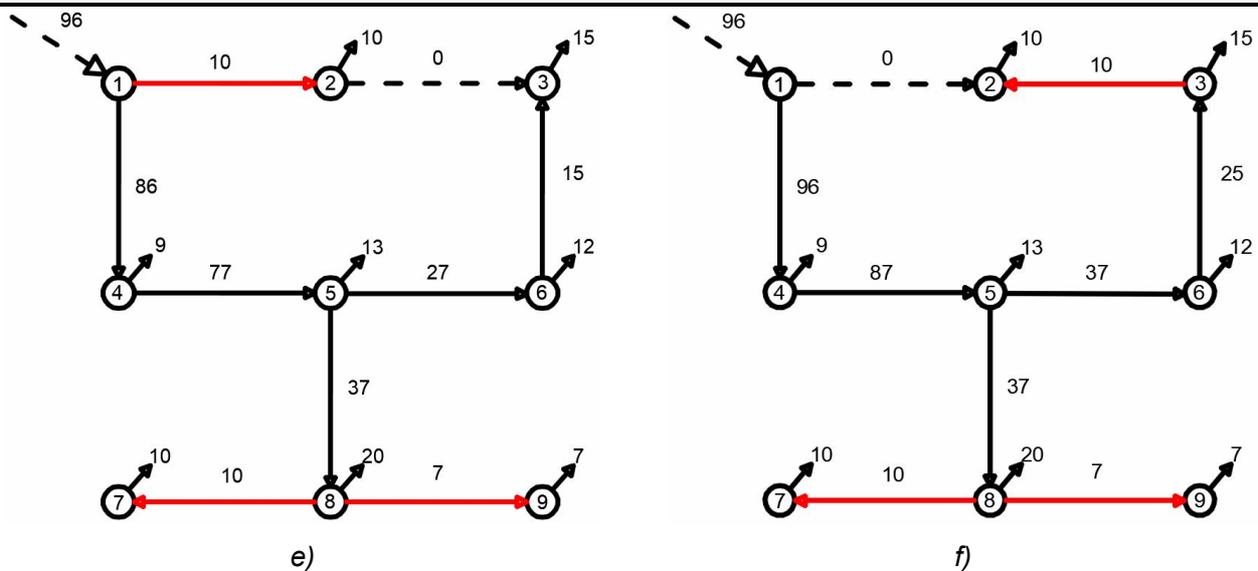


Рис. 10. Этап оптимизации относительно первого контура третьего цикла итерации
 Fig. 10. Optimization stage relative to the first loop of the third iteration cycle

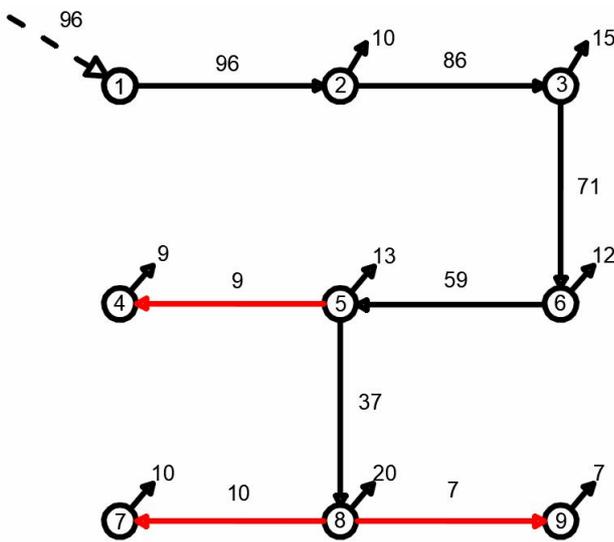


Рис. 11. Оптимальный вариант
 Fig. 11. The best option

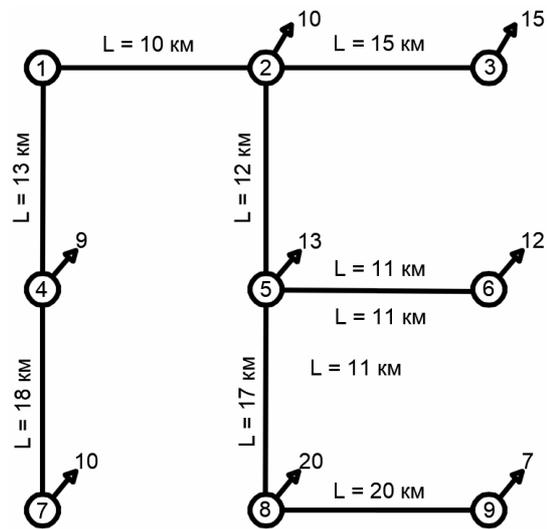


Рис. 12. Оптимальное решение для автомобильного и трубопроводного транспорта
 Fig. 12. Optimal solution for road and pipeline transport

Таким образом, оптимизация комбинированной системы транспортировки воды оказывается более выгодной на 12 476 496 тыс. руб. и 8 600 486 тыс. руб. соответственно относительно трубопроводного и автомобильного транспорта воды.

Заключение

На основании опыта применения разработанной методики поконтурной минимизации применительно к системам группового водоснабжения можно сделать следующие выводы:

1. Эффект от внедрения предлагаемой методики по сравнению с многовариантным подходом, который используют проекти-

ровщики, составляет до 25% по затратам жизненного цикла.

2. Учет автомобильного транспорта в задачах оптимизации систем водоснабжения и водоотведения существенно влияет на логику и структуру сооружений.

3. Повышение тарифа на электроэнергию изменяет степень централизации и увеличивает количество участков с автомобильным транспортом воды.

4. Учет надежности и сейсмостойкости в трубопроводных системах также влияет на стоимость трубопроводной части и приводит к расширению возможностей использования автомобильного транспорта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985. 278 с.
2. Сидлер В.Г., Сеннова Е.В. Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение. 1987. 121 с.
3. Сухарев М.Г., Ставровский Б.Р. Оптимизация систем транспорта газа. М.: Недра, 1975. 277 с.
4. Карамбилов С.Н., Буркова Ю.Г. Анализ и синтез сложных инженерных систем с применением современных математических методов. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 193 с.
5. Аверьянов В.К., Сеннова Е.В., Карасевич А.М., Стенников В.А., Еделева О.А., Добровольская Т.В. [и др.]. Трубопроводные системы энергетики: математическое моделирование и оптимизация. Новосибирск: Наука, 2010. 418 с.
6. Атавин А.А., Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Чионов А.М., Овчинникова Т.Э., Емельянов В.А. [и др.]. Трубопроводные системы энергетики: математические и компьютерные технологии интеллектуализации. Новосибирск: Наука, 2017. 384 с.
7. Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Тевяшев А.Д., Смирнова В.С., Рудяк В.Я., Тарасевич В.В. [и др.]. Трубопроводные системы энергетики: Методические и прикладные проблемы математического моделирования. Новосибирск: Наука, 2015. 476 с.
8. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А., Варапаев В.Н., Керимова Д.Х. Расчет водопроводных сетей. М.: Стройиздат, 1983. 273 с.
9. Шевелев Ф.А., Орлов Г.А. Водоснабжение больших городов зарубежных стран. М.: Стройиздат, 1987. 357 с.
10. Чупин Р.В., Мелехов Е.С. Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения: Иркутск: Изд-во ИРГТУ, 2011. 323 с.
11. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: Изд-во ИРГТУ, 2015. 418 с.
12. Чупин Р.В., Фам Н.М. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника. 2019. № 1. С. 30–36.
13. Чупин Р.В. Оптимизация перспективных схем развития систем водоотведения в условиях ограниченного финансирования // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 44–54.
14. Чупин Р.В., Фам Н.М., Горьков Е.А., Мороз М.В. Индикативное и адаптивное управление развитием системы водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2018. Т. 8. № 2. С. 94–108. <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-94-107>
15. Chupin V.R., Pham N.M., Chupin R.V. Optimization of developing district water supply systems taking into account variability of perspective water consumption // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 667. 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012018>
16. Chupin V.R., Pham N.M., Chupin R.V. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 667. 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012017>
17. Гогина Е.С., Гуринович А.Д. Применение методики LCC для оценки эффективности проектов сооружений очистки сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 9. С. 36–41.
18. Баженов В.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А., Березин С.Е. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 10–19.
19. Туревский И.С. Экономика отрасли. Автомобильный транспорт. М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2011. 288 с.
20. Тозик А.А. Экономика автомобильного транспорта. Минск: УП «Технопринт», 2005. 140 с.
21. Таха Х.А. Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. М.: ИД «Вильямс», 2007. 912 с.
22. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. М.: Мир, 1963. 216 с.
23. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974. 520 с.

REFERENCES

1. Merenkov AP, Khasilev VYa. Theory of hydraulic circuits. Moscow: Nauka; 1985. 278 p. (In Russ.)
2. Sidler VG, Sennova EV. Mathematical modeling and optimization of developing heat supply systems. Novosibirsk: Nauka; 1987. 121 p. (In Russ.)
3. Sukharev MG, Stavrovskiy BR. Optimization of systems of transport of gas. Moscow: Nedra; 1975. 277 p. (In Russ.)
4. Karambirov SN, Burkova YG. Analysis and synthesis of complex engineering systems using modern mathematical methods: monograph. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2015. 193 p. (In Russ.)
5. Aver'yanov VK, Sennova EV, Karasevich AM, Stennikov VA, Edeleva OA, Dobrovol'skaya TV, et al. Pipeline energy systems: Mathematical modeling and optimization. Novosibirsk: Nauka; 2010. 418 p. (In Russ.)
6. Atavin AA, Novitskii NN, Sukharev MG, Chionov AM, Ovchinnikova TE, Emel'yanov VA, et al. Pipeline systems of power engineering: Mathematical and computer technologies of intellectualization. Novosibirsk: Nauka; 2017. 384 p. (In Russ.)
7. Novitskii NN, Sukharev MG, Tevyashev AD, Smirnova VS, Rudyak VYa, Tarasevich VV, et al. Pipeline systems of power engineering: Methodological and applied problems of mathematical modeling. Novosibirsk: Nauka; 2015. 476 p. (In Russ.)
8. Abramov NN, Pospelova MM, Somov MA, Varapaev VN, Kerimova DX. Calculation of water supply networks. Moscow: Stroyizdat; 1983. 273 p. (In Russ.)
9. Shevelev FA, Orlov GA. Water supply of large cities of foreign countries. Moscow: Stroyizdat; 1987. 357 p. (In Russ.)
10. Chupin RV, Melekhov ES. Development of theory and practice of modeling and optimization of water supply and sanitation systems. Irkutsk: Irkutsk state technical university; 2011. 323 p. (In Russ.)
11. Chupin RV. Optimization of developing water disposal systems. Irkutsk: Irkutsk state technical university; 2015. 418 p. (In Russ.)
12. Chupin RV, Fam NM. Optimization of the structure and parameters of the developing group water supply systems. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2019;1:30–36 (In Russ.)
13. Chupin RV. Optimization of the prospective plans of water supply system development under the tight financing conditions. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2018;2:44–54 (In Russ.)
14. Chupin RV, Pham NM, Gorkov EA, Moroz MV. Indicative and adaptive management of wastewater system improvement. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2018;8(2):94–108. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-94-107>
15. Chupin RV, Pham NM, Chupin VR. Optimization of developing district water supply systems taking into account variability of perspective water consumption. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 667; 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012018>
16. Chupin VR, Pham NM, Chupin RV. Optimization of the sewerage systems scheme of cities and populated areas. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 667; 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/667/1/012017>
17. Gogina ES, Gurinovich AD. The use of LCC method in evaluating the efficiency of investment projects of wastewater treatment facilities. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2016;9:36–41. (In Russ.)
18. Bazhenov VI, Pupyrev EI, Samburskii GA, Berezin SE. Development of a methodology for calculating the life cycle cost of equipment for systems and structures for water supply and sanitation. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika = Water Supply and Sanitary Technique*. 2018;2:10–19. (In Russ.)
19. Turevsky IS. Economics of the industry. Automobile transport. Moscow: Forum: INFRA-M; 2011. 288 p. (In Russ.)
20. Tozik AA. Economics of automobile transport. Minsk: Technoprint, 2005; 140 p. (In Russ.)
21. Taha HA. Operations Research: An Introduction. Moscow: Vil'yams, 2007. 912 c. (In Russ.)
22. Ford LR, Fulkerson DR. Flows in networks. Moscow: Mir; 1963. 216 p. (In Russ.)
23. Hu T. Integer programming and network flows. Moscow: Mir, 1974. 520 p. (In Russ.)

Сведения об авторе

Мороз Мария Викторовна,
аспирант кафедры городского строительства
и хозяйства, старший преподаватель
кафедры инженерных коммуникаций и
систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83,
Россия,
e-mail: morozmariyav@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4255-619X>

Заявленный вклад автора

Автор выполнил исследовательскую работу,
на основании полученных результатов провел
обобщение, подготовил рукопись к печати.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта
интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный
вариант рукописи.

Статья поступила в редакцию 21.12.2020.
Одобрена после рецензирования 14.01.2021.
Принята к публикации 19.01.2021.

Information about the author

Mariya V. Moroz,
Postgraduate student of the Department of
Urban Construction and Economy,
Senior Lecturer of the Department of
Engineering Communications and Systems
Life Support,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: morozmariyav@gmail.com
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4255-619X>

Contribution of the author

The author performed the research, made
generalization based on the results obtained and
prepared the copyright for publication.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

The final manuscript has been read and
approved by the author.

The article was submitted 21.12.2020.
Approved after reviewing 14.01.2021.
Accepted for publication 19.01.2021.