

## **ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА**



УДК 628.1.001.24

**В.Р. ЧУПИН, М.В. МОРОЗ**

### **МЕТОД ПОИСКА МАКСИМАЛЬНОГО ПОТОКА МИНИМАЛЬНОЙ СТОИМОСТИ В ЗАДАЧАХ ОБОСНОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ГРУППОВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ**

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 таких систем 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 технико-экономического анализа проектных вариантов. В работе предлагается методика комплексной оптимизации параметров систем водоснабжения и водоотведения, позволяющая определять наилучшие способы транспортирования воды и стоков, места устройства водозаборов, водопроводных и канализационных очистных сооружений, оптимальные трубопроводные трассы и автомобильные маршруты между этими сооружениями и абонентами.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** системы группового водоснабжения и водоотведения, метод поиска максимального потока минимальной стоимости, автомобильный и трубопроводный транспорт.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-743-11-63-74

Вариантность проектирования является основным инструментом поиска рационального вложения инвестиций в развитие и реконструкцию систем водоснабжения и водоотведения. Проектировщики с учетом накопленного опыта и собственной интуиции пользуются этим инструментом. Но из-за дефицита времени и средств ограничиваются рассмотрением двух, трех и от силы пяти вариантов. Хотя их может быть намного больше, особенно при обосновании структуры снабжения водой и отведения стоков для населенных пунктов, расположенных на значительных расстояниях друг от друга. При этом могут быть следующие варианты [1, 2]:

© Чупин В.Р., Мороз М.В., 2020

– водозабор осуществляется из открытого источника, вода очищается до требуемых показателей и подается в населенные пункты трубопроводным или автомобильным транспортом;

– водозабор осуществляется из открытого источника, вода не очищается и подается в населенные пункты трубопроводным или автомобильным транспортом, где очищается только для целей питьевого водоснабжения;

– водозабор осуществляется из подземных источников с качеством воды, соответствующим или несоответствующим требованию к питьевой воде, и подается потребителям автомобильным или трубопроводным транспортом;

– в каждом населенном пункте возможны водозаборы из открытых и подземных источников, но вода может не соответствовать питьевому качеству и требуется ее очистка;

– каждый возможный открытый и подземный водозабор может иметь ограничение по объемам подаваемой воды;

– после использования сточная вода может очищаться на локальных очистных сооружениях либо доставляться автомобильным или трубопроводным транспортом на централизованные канализационные очистные сооружения;

– возможны различные комбинации перечисленных вариантов.

Наложение этих вариантов формирует избыточную схему (граф) для систем водоснабжения (рис. 1, а) и для систем водоотведения (рис. 1, з).

При построении избыточных схем можно генерировать множество допустимых вариантов структуры и параметров систем водоснабжения и водоотведения, отличающихся друг от друга расчетными затратами. Также можно заранее обозначить на тех или иных существующих участках сети возможные способы их реконструкции (параллельная прокладка, перекладка, прокладка нового трубопровода или организация автомобильного транспорта, устройство насосных станций, очистных и других сооружений).

Задача состоит лишь в том, чтобы в этом графе отбраковать неэффективные связи и узлы. Для этих целей предлагается метод, основанный на модифицированном алгоритме поиска максимального потока минимальной стоимости. Предпосылками для использования этого метода послужили следующие факторы:

получены функции затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения как функции, зависящие от величины потока воды и сточной жидкости, и показано, что эти функции близки к линейным [3–5];

исследованы эти функции и определены граничные условия применения автомобильного или трубопроводного транспорта в зависимости от протяженности маршрута, объемов транспортируемых воды и сточной жидкости, стоимости электроэнергии, топлива, сейсмичности района и др. [6–8].

Разработан алгоритм преобразования избыточных проектных схем, позволяющих моделировать системы водоснабжения и водоотведения в виде графа с различными весовыми функциями, в единую транспортную сеть [9–11].

Для построения транспортной сети все узлы – потребители воды замыкаются с помощью фиктивных ветвей на общий узел  $t$  – выхода потока (см. рис. 1, б), а узлы – источники воды замыкаются на общий фиктивный узел входа потоков  $S$ . Для систем водоотведения, наоборот, все узлы – абоненты замыкаются на узел входа потоков  $S$ , а все сбросы, включая возможные канализационные очистные сооружения, замыкаются на узел выхода потоков  $t$  (рис. 1, д). Для комплексной оптимизации систем водоснабжения и водоотведения все узлы

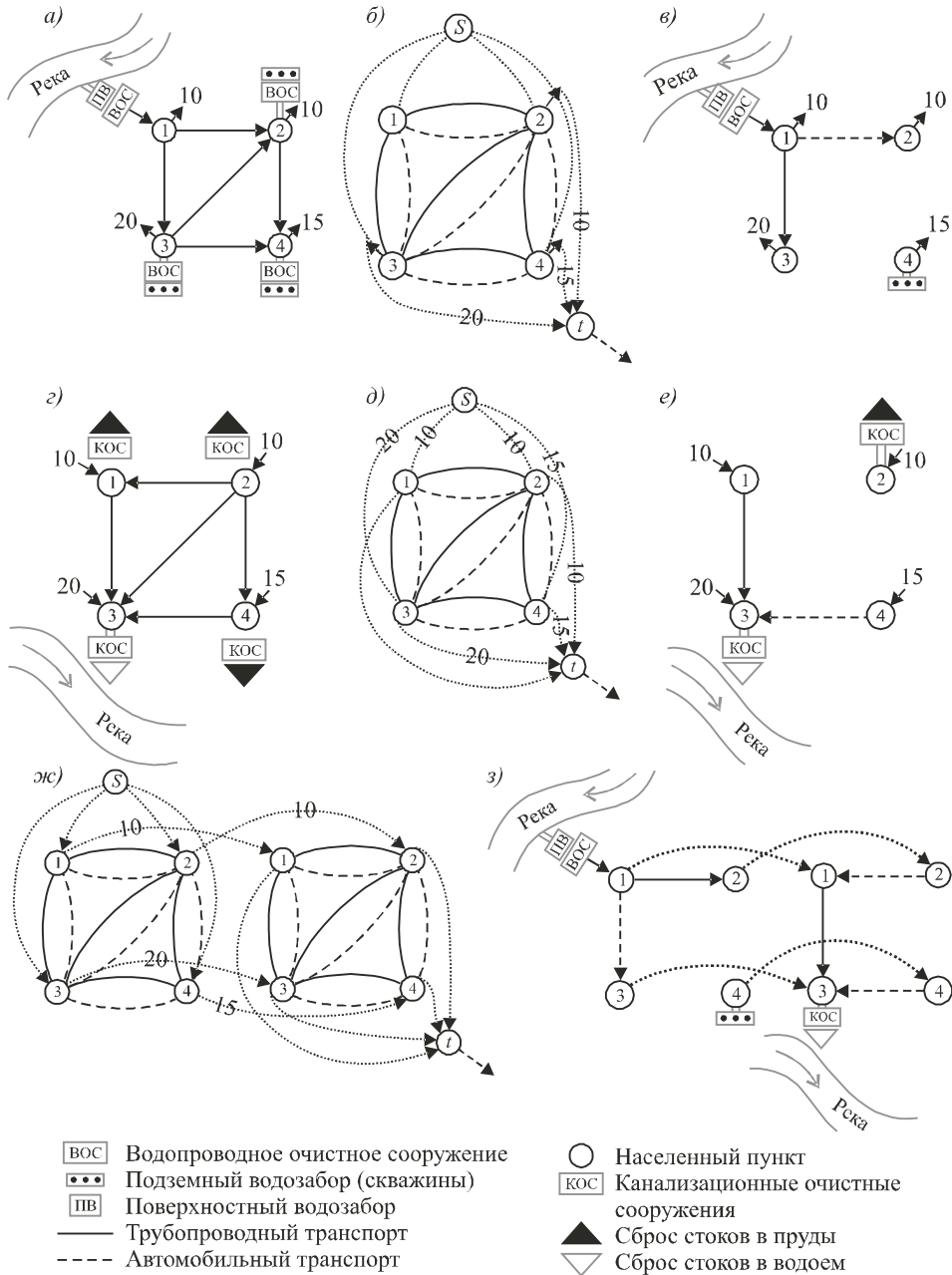


Рис. 1. Проектные варианты избыточной и транспортной схем районных систем водоснабжения и водоотведения

потребления воды замыкаются фиктивными ветвями с узлами сброса стоков (рис. 1, ж). Каждый участок моделируется двумя ветвями, сплошной линией – трубопроводный транспорт, штриховой – автомобильный транспорт. При этом для каждого участка транспортной сети назначаются ограничения на их пропускные способности (верхние и нижние).

Применительно к системам водоснабжения для фиктивных ветвей входа потоков верхние ограничения соответствуют максимально возможным объемам забора воды из источников водоснабжения, а для фиктивных ветвей выхода

потоков верхние ограничения соответствуют потребностям населенных пунктов или абонентов в воде. Применительно к системам водоотведения для фиктивных ветвей входа потоков верхние ограничения соответствуют объемам сброса сточных вод в канализацию от абонентов, а для фиктивных ветвей выхода потоков верхние ограничения соответствуют объемам (производительности) возможных очистных сооружений. Для участков, моделирующих автомобильный транспорт, верхнее ограничение на поток назначается из граничных условий их применимости. Ограничения на потоки проектируемых трубопроводных участков сети не назначаются. Для существующих напорных трубопроводных участков сети верхнее ограничение на потоки определяется исходя из оптимальных значений скоростей движения воды (1), а для безнапорных самотечных трубопроводных участков сети назначается из условия работы их полным сечением (2):

$$\bar{v} = V_{\text{опт}} \frac{\pi d^2}{4}, \quad (1)$$

$$\bar{v}_{ij} = q_n = \frac{0,314}{N} d^{2,667} I^{0,5}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{опт}}$  – оптимальная скорость в трубопроводном участке сети, рассчитывается согласно [1, 2, 12];

$d$  – диаметр существующего трубопровода, м;

$N$  – коэффициент шероховатости;

$I$  – гидравлический уклон.

По каждому участку сети определяется и назначается стоимость единицы потока. Для фиктивных ветвей входа потоков – это стоимости забора и водоподготовки  $1 \text{ м}^3$  воды, для реальных новых трубопроводных участков сети – это стоимость строительства и транспортировки  $1 \text{ м}^3$  воды на  $1 \text{ км}$  трубопровода, для автомобильного транспорта – это стоимость перевозки  $1 \text{ м}^3$  воды на  $1 \text{ км}$  длины дороги. Для фиктивных ветвей выхода потока воды стоимости не назначаются, либо принимаются в виде затрат на дальнейшую транспортировку  $1 \text{ м}^3$  воды до конкретных абонентов. Для фиктивных ветвей выхода потока сточных вод стоимости принимаются в виде затрат на очистку  $1 \text{ м}^3$  стоков и сброса их в проточный водоем или искусственный пруд-накопитель. Для существующих участков сети стоимости единицы потока соответствуют стоимости эксплуатационных затрат  $1 \text{ м}^3$  транспортируемой воды или сточной жидкости.

С учетом транспортной сети математическая постановка задачи оптимизации систем водоснабжения и водоотведения формируется следующим образом [13]. Требуется минимизировать функцию затрат жизненного цикла (3) при выполнении условия баланса потоков в сети (4) и ограничений на потоки по каждому участку транспортной сети:

$$\sum_{i=1}^n (B_i + C_i x_i) \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$Ax = q_{\text{об}} \quad (4)$$

$$\text{при } \underline{v}_i \leq x_i \leq \bar{v}_i.$$

Здесь функция затрат жизненного цикла систем водоснабжения и водоотведения представлена как линейная функция потока воды и сточной жидкости по участкам транспортной сети [14–17];

$n$  – количество участков транспортной сети;  
 $B_i, C_i$  – коэффициенты аппроксимации стоимости единицы потока для водозаборов, очистных сооружений, автомобильного и трубопроводного транспорта, тыс. руб. за 1 м<sup>3</sup>;  
 $x_i$  – искомый поток на участках транспортной сети, м<sup>3</sup>/с;  
 $A$  – матрица смежности узлов и участков транспортной сети систем водоснабжения и водоотведения;  
 $q_{об}$  – вектор расчетных расходов воды и стоков у абонентов, м<sup>3</sup>/с;  
 $\underline{v}_i, \bar{v}_i$  – нижние и верхние ограничения на потоки. Нижнее ограничение назначается из условия не заиливающих и минимально допустимых скоростей движения воды и стоков.

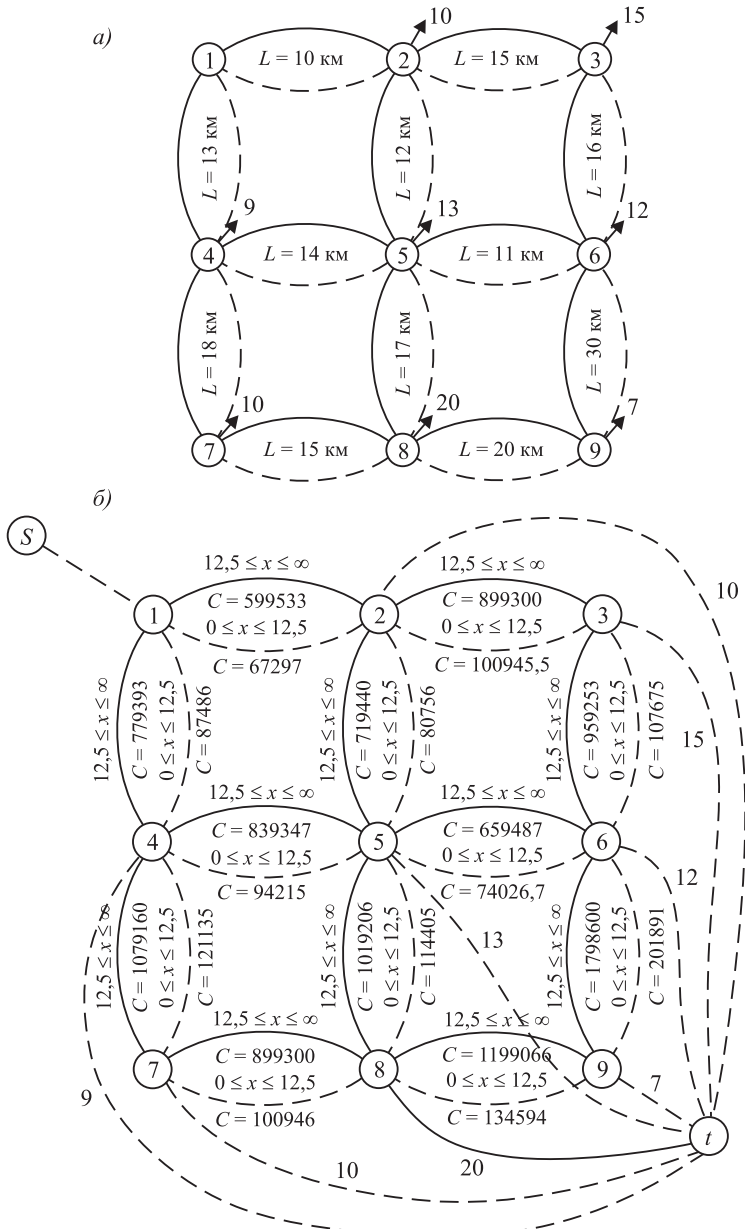
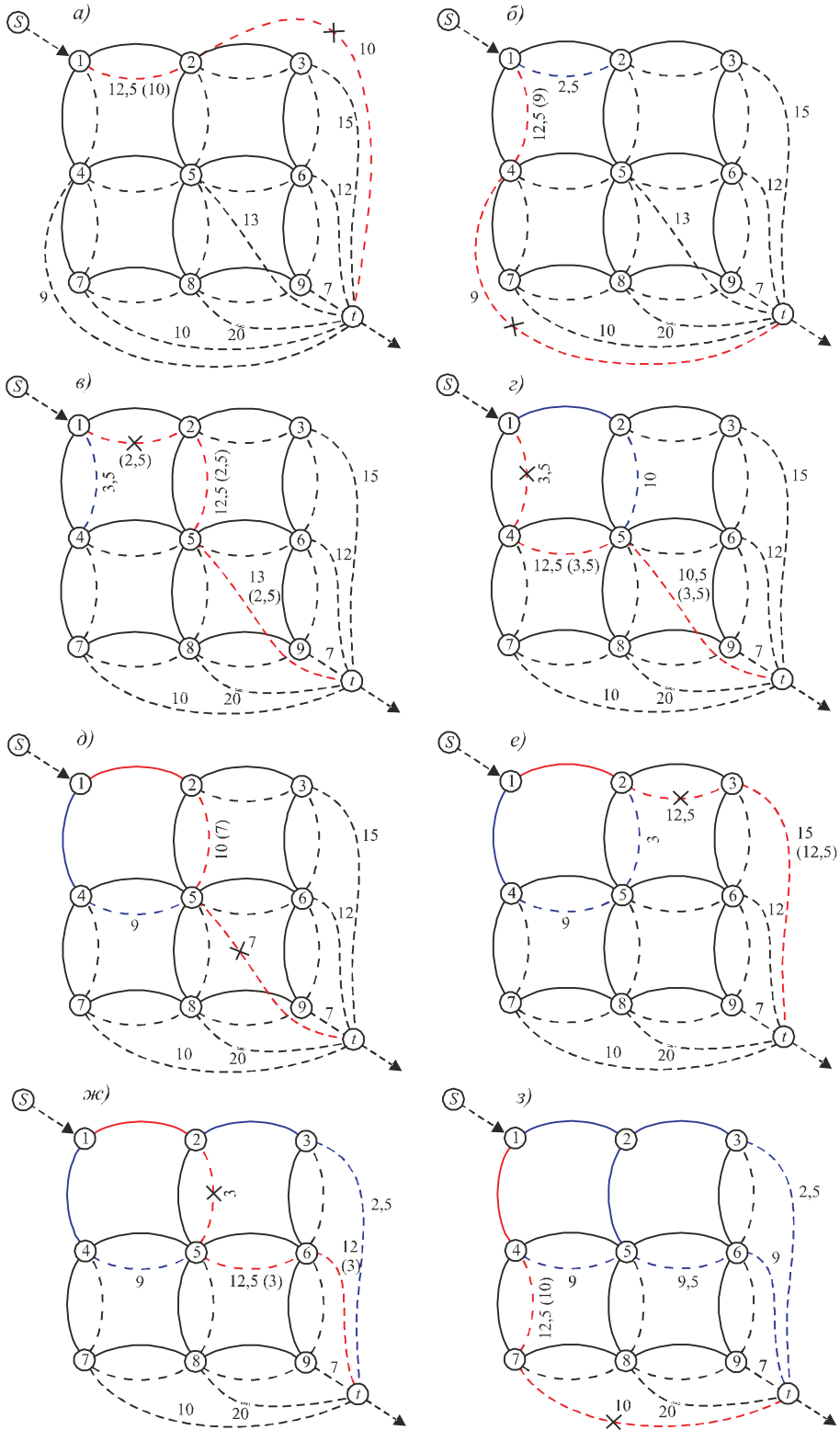


Рис. 2. Избыточная и транспортная схемы системы водоснабжения



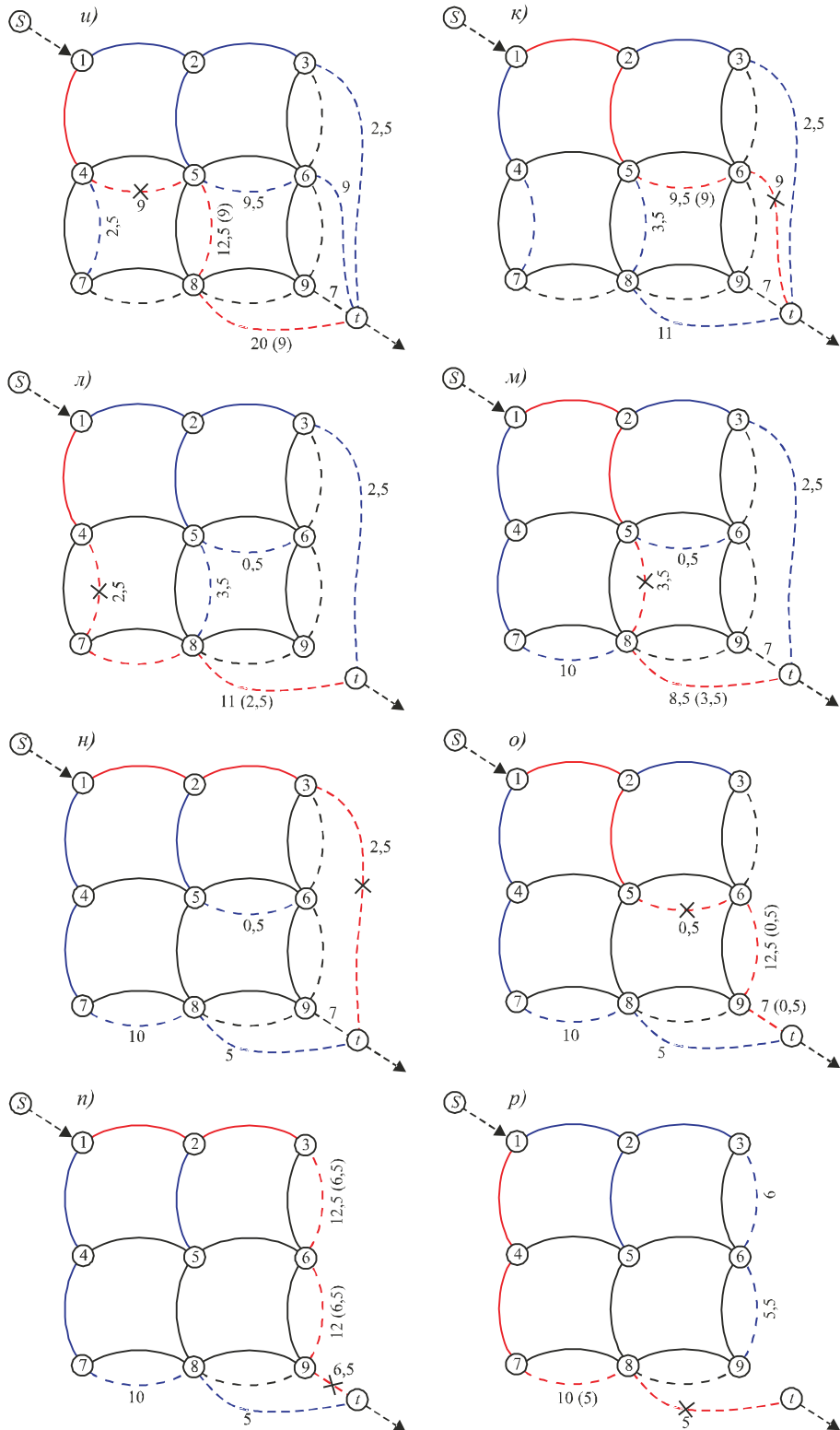


Рис. 3. Иллюстрация работы метода максимального потока минимальной стоимости



Работа метода начинается с выбора маршрута от  $S$  к  $t$ , который соответствует минимальному значению суммы удельных величин стоимости потока  $(B_i + C_i)$ . Исходя из ограничений  $\underline{e}_i, \bar{e}_i$ , определяется максимальный поток, который пройдет по выбранному маршруту. Участки, для которых расход  $x_i$  будет равен верхнему ограничению по потоку, из транспортной сети удаляется. Затем снова выбирается минимальный относительно удельных величин стоимости потока  $(B_i + C_i)$  маршрут и т.д. При этом величина потока увеличивается с помощью систематического поиска всех возможных кратчайших маршрутов от  $S$  к  $t$ . Как только будет найдена одна из таких цепей, поток вдоль нее увеличивается до максимального значения. Алгоритм заканчивает работу и дает максимальный поток, если нельзя найти ни одну цепь, увеличивающую поток. При этом граф распадается на два несвязных подграфа. В итоге определяются оптимальные места положения и производительности водозаборов и очистных сооружений, вид транспорта воды (трубопроводный, автомобильный), трасса трубопроводной системы и ее параметры. При этом возможны варианты полностью централизованной или децентрализованной системы водоснабжения и водоотведения (рис. 1, в, е, з). Предлагаемая методика реализована в программном комплексе TRACE-VR [13].

В качестве иллюстрации предлагаемого метода оптимизации рассмотрим систему водоснабжения, состоящую из восьми населенных пунктов и одного поверхностного источника. Избыточная схема представлена на рис. 2, а, где штриховыми линиями показаны участки возможного автомобильного транспорта, сплошными – трубопроводного транспорта. С учетом фиктивных ветвей, узлов входа и выхода потоков построена транспортная схема, которая представлена на рис. 2, б. На рис. 3 проиллюстрированы этапы работы предлагаемого метода поиска максимального потока минимальной стоимости. Красным цветом показан путь, соответствующий минимальной стоимости единицы потока, для которого затем определяется максимальный и его стоимость. Штриховыми линиями синего цвета показаны оптимальные участки сети с потоками, меньшими, чем пропускная способность этой ветви. Сплошными синими линиями показаны оптимальные участки сети с потоками, равными пропускной способности этой ветви.

На рис. 4, а представлена оптимальная схема, полученная в результате 16 шагов оптимизации. В итоге выделено пять трубопроводных участков (сплошные линии) и шесть участков автомобильного транспорта (штриховые линии). На рис. 4, а над каждой линией указаны объемы перевозимой воды ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ). Затраты жизненного цикла этого варианта составляют 42 673 401 тыс. руб.

Если оптимизировать систему водоснабжения только с учетом трубопроводного транспорта воды, то оптимальный вариант будет иметь структуру, показанную на рис. 4, б, и его затраты жизненного цикла составят 46 977 708 тыс. руб.

Если оптимизировать систему водоснабжения только с учетом автомобильного транспорта воды, то оптимальный вариант будет иметь такую же структуру, показанную на рис. 4, в, но его затраты жизненного цикла составят 43 101 698 тыс. руб.

Таким образом, оптимизация комбинированной системы транспортировки воды оказывается более выгодной на 4 304 307 тыс. руб. и на 428 297 тыс. руб.



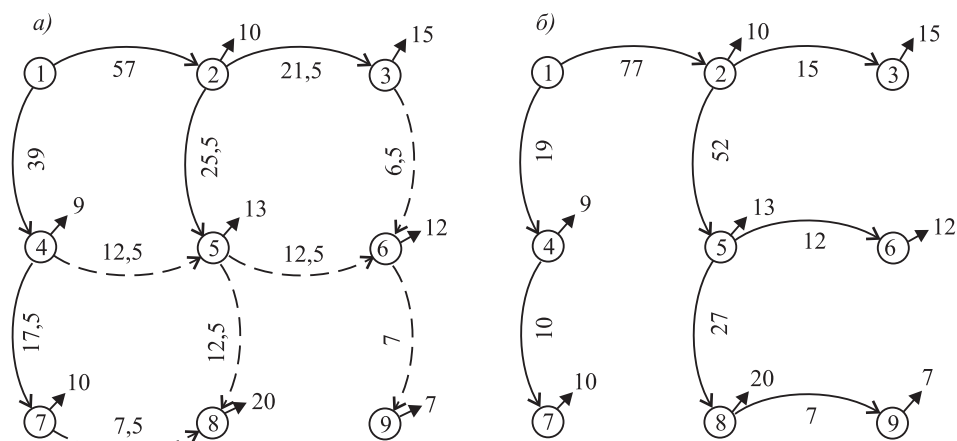


Рис. 4. Оптимальные схемы системы водоснабжения

соответственно по отношению к трубопроводному и автомобильному транспорту воды.

В работе предлагается новая методика комплексной оптимизации параметров систем водоснабжения и водоотведения, позволяющая определять наилучшие способы транспортирования воды и стоков, места устройства водозаборов, водопроводных и канализационных очистных сооружений, оптимальные трубопроводные трассы и автомобильные маршруты между этими сооружениями и абонентами.

На основании опыта применения разработанного метода оптимизации и его реализации в виде программного комплекса TRACE-VR можно сделать следующие выводы:

1. Учет автомобильного транспорта при оптимизации систем водоснабжения и водоотведения оказывает существенное влияние на структуру сооружений и топологию маршрутов транспортировки воды и сточной жидкости.
2. Повышение тарифа на электроэнергию изменяет степень централизации и увеличивает количество участков с автомобильным транспортом воды.
3. Учет и увеличение надежности и сейсмостойкости систем группового водоснабжения и водоотведения приводит к удорожанию трубопроводной части и, следовательно, сдвигает решение в сторону децентрализации источников водоснабжения и использования автомобильного транспорта.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2-х кн. М.: Мир, 1985. I кн. – 476 с., II кн. – 496 с.
2. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. М.: Мир, 1963. 216 с.
3. Чупин В.Р., Фам Н.М., Чупин Р.В. Оптимизация структуры и параметров районных систем водоснабжения с учетом трубопроводного и автомобильного транспорта воды // Изв. вузов. Строительство. 2019. № 2. С. 48–57.
4. Чупин Р.В., Фам Н.М. Оптимизация вариантов развития систем водоотведения // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2016. № 3 (18). С. 101–113.
5. Pham N.M., Chupin R.V., Chupin V.R., Melekhov E.S. The parameters justification of new and reconstructed sewage systems under the conditions of uncertain perspective water consumption and discharge effluents // Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate. 2017. Vol. 7. No. 2. P. 49–61.

6. *Chupin R.V., Pham N.M., Gorkov E.A., Moroz M.V.* Indicative and adaptive management of the development of sewerage system // Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate. 2018. Vol. 8. No. 2. P. 94–107.
7. *Чупин Р.В., Фам Н.М.* Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и сан. техника. 2019. № 1. С. 30–37.
8. *Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R.* Pressure-Flow and Free-Flow Discharge Models in Closed-Loop Sewage Systems // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017. Vol. 262.
9. *Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R.* Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption // E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems. 2019. Vol. 102.
10. *Чупин Р.В., Мелехов Е.С.* Развитие теории и практики моделирования и оптимизации систем водоснабжения и водоотведения: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2011. 323 с.
11. *Чупин Р.В.* Оптимизация развивающихся систем водоотведения: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 418 с.
12. *Ху Т.* Целочисленное программирование и потоки в сетях. М.: Мир, 1974. 520 с.
13. *Мелехов Е.С., Чупин В.Р., Чупин Р.В.* Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2016615463 TRACE-VR от 25 мая 2016 г.
14. *Гогина Е.С., Гуринович А.Д.* Применение методики ЛСС для оценки эффективности проектов сооружений очистки сточных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2016. № 9. С. 36–41.
15. *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 сан. техника. 2018. № 2. С. 10–19.
16. *Меренков А.П., Хасилев В.Я.* Теория гидравлических цепей. М.: Наука, 1985. 278 с.
17. *Абрамов Н.Н., Поспелова М.М., Сомов М.А. и др.* Расчет водопроводных сетей. М.: Стройиздат, 1983. 273 с.

**Чупин Виктор Романович**, д-р техн. наук, проф.; E-mail: [chupinvr@istu.edu](mailto:chupinvr@istu.edu)  
Иркутский национальный исследовательский технический университет  
**Мороз Мария Викторовна**, асп.; E-mail: [morozmariyav@gmail.com](mailto:morozmariyav@gmail.com)  
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Получено 21.10.2020

**Chupin Viktor Romanovich**, DSc, Professor; E-mail: [chupinvr@istu.edu](mailto:chupinvr@istu.edu)  
Irkutsk National Research Technical University, Russia  
**Moroz Mariya Viktorovna**, Post-graduate Student; E-mail: [morozmariyav@gmail.com](mailto:morozmariyav@gmail.com)  
Irkutsk National Research Technical University, Russia

## **METHOD FOR FINDING THE MAXIMUM FLOW OF THE MINIMUM COST IN THE PROBLEMS OF SUBSTANTIATING THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF GROUP WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS**

Due to the uneven distribution of water resources on the territory of our country, many localities and even cities do not have their own water supply sources and reservoirs where it would be possible to discharge treated wastewater. To solve this problem, group and

district water supply and sanitation systems are designed, built and developed. The length of such systems is hundreds or even thousands of kilometers. The construction and operation of such facilities annually requires significant financial investments. Therefore, the choice of routes, the composition of structures, and especially the methods of transporting water and wastewater, the justification of the locations of water intakes, treatment facilities are relevant and require special attention and technical and economic analysis of design options. The paper proposes a method for complex optimization of parameters of water supply and sanitation systems, which allows determining the best ways of transporting water and wastewater, places of water intakes, water and sewer treatment facilities, optimal pipeline routes and automobile routes between these facilities and subscribers.

**Key words:** group water supply and sewerage systems, method of finding the maximum flow of minimum cost, road and pipeline transport.

## REFERENCES

1. *Takha H.* Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. Moscow, Mir, 1985. (in Russian)
2. *Ford L.R., Falkerson D.R.* Potoki v setyakh [Streams in networks]. Moscow, Mir, 1963. 216 p. (in Russian)
3. *Chupin V.R., Fam N.M., Chupin R.V.* Optimizatsiya struktury i parametrov rayonnykh sistem vodosnabzheniya s uchetom truboprovodnogo i avtomobil'nogo transporta vody [Optimization of the structure and parameters of district water supply systems, taking into account pipeline and road transport of water]. *Izvestiya vyzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2019. No. 2. Pp. 48–57. (in Russian)
4. *Chupin R.V., Fam N.M.* Optimizatsiya variantov razvitiya sistem vodootvedeniya [Optimization of options for the development of drainage systems]. *Izvestiya vyzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate]. 2016. No. 3 (18). Pp. 101–113. (in Russian)
5. *Pham N.M., Chupin R.V., Chupin V.R., Melekhov E.S.* The parameters justification of new and reconstructed sewage systems under the conditions of uncertain perspective water consumption and discharge effluents. *Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate.* 2017. Vol. 7. No. 2. Pp. 49–61.
6. *Chupin R.V., Pham N.M., Gorkov E.A., Moroz M.V.* Indicative and adaptive management of the development of sewerage system. *Proceedings of Universities. Investments. Construction. Real estate.* 2018. Vol. 8. No. 2. Pp. 94–107.
7. *Chupin R.V., Fam N.M.* Optimizatsiya struktury i parametrov razvivayushchikhsya sistem gruppovogo vodosnabzheniya [Optimization of the structure and parameters of developing group water supply systems]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary technique]. 2019. No. 1. Pp. 30–37. (in Russian)
8. *Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R.* Pressure-Flow and Free-Flow Discharge Models in Closed-Loop Sewage Systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2017. Vol. 262.
9. *Chupin R.V., Pham N.M., Chupin V.R.* Optimization of development schemes for group water supply systems under uncertainty of prospective water consumption. *E3S Web of Conferences: Mathematical Models and Methods of the Analysis and Optimal Synthesis of the Developing Pipeline and Hydraulic Systems.* 2019. Vol. 102.
10. *Chupin R.V., Melekhov E.S.* Razvitiye teorii i praktiki modelirovaniya i optimizatsii sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya: monografiya [Development of theory and practice of modeling and optimization of water supply and sanitation systems: monograph]. Irkutsk, IrGTU, 2011. 323 p. (in Russian)

11. *Chupin R.V.* Optimizatsiya razvivayushchikhsya sistem vodootvedeniya: monografiya [Optimization of evolving drainage systems: monograph]. Irkutsk, IrGTU, 2015. 418 p. (in Russian)
12. *Xy T.* Tselochislennoye programmirovaniye i potoki v setyakh [Integer programming and streams in networks]. Moscow, Mir, 1974. 520 p. (in Russian)
13. *Melekhov E.S., Chupin V.R., Chupin R.V.* Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy na EVM [Certificate of state registration of the computer program No. 2016615463 TRACE-VR dated May 25, 2016]. (in Russian)
14. *Gogina E.S., Gurinovich A.D.* Primeneniye metodiki LCC dlya otsenki effektivnosti proektov sooruzheniy ochistki stochnykh vod [Application of the LCC Methodology to Evaluate the Efficiency of Wastewater Treatment Plant Projects]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary technique]. 2016. No. 9. Pp. 36–41. (in Russian)
15. *Bazhenov V.I., Pupyrev E.I., Samburskiy G.A., Berezin S.E.* Razrabotka metodiki rascheta stoimosti zhiznennogo tsikla oborudovaniya sistem i sooruzheniy vodospabzheniya i vodootvedeniya [Development of a methodology for calculating the cost of the life cycle of equipment for systems and structures for water supply and sanitation]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary technique]. 2018. No. 2. Pp. 10–19. (in Russian)
16. *Merenkov A.P., Khasilev V.Ya.* Teoriya gidravlicheskiykh tsepey [Hydraulic circuit theory]. Moscow, Nayka, 1985. 278 p. (in Russian)
17. *Abramov N.N., Pospelova M.M., Somov M.A. et al.* Raschet vodoprovodnykh setey [Calculation of water supply networks]. Moscow, Stroyizdat, 1983. 273 p. (in Russian)