

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



УДК 628.1(1-22)

В.Р. ЧУПИН, Н.М. ФАМ, Р.В. ЧУПИН

**ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ И ПАРАМЕТРОВ
РАЙОННЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
С УЧЕТОМ ТРУБОПРОВОДНОГО
И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА ВОДЫ**

Рассмотрены вопросы развития и реконструкции районных систем водоснабжения и предложены новые методики и методы оптимизации их структуры и параметров, которые позволяют в комплексе оптимизировать места установки и производительности водозаборных и очистных сооружений из поверхностных и подземных источников воды, способы транспортировки воды от источников до потребителей, включая выбор оптимальных границ использования автомобильного и трубопроводного транспорта. Разработанные методы основаны на построении избыточных проектных схем возможных вариантов забора, водоподготовки и транспортировки воды и поиске на них максимального потока минимальной стоимости. При этом учитываются пропускные способности систем и сооружений, оптимизируются способы реконструкции трубопроводных систем. Отдельно рассмотрены вопросы повышения сейсмостойкости и влияния сейсмических воздействий на структуру сооружений и на выбор способа транспортировки воды. Методика и метод позволили обосновать схему и логистику обеспечения водой трех районов Иркутской области.

К л ю ч е в ы е с л о в а: методика и методы оптимизации районных систем водоснабжения, оптимизация границ использования автомобильного и трубопроводного транспорта.

DOI 10.32683/0536-1052-2019-722-2-42-57

Российская Федерация обладает огромными водными ресурсами. Однако из-за их неравномерного распределения по территории во многих регионах наблюдается острый дефицит воды, а там где она имеется, ее качество не всегда удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.1074–01 и ГОСТ Р51232–98. С каждым годом, вследствие техногенных воздействий, ухудшается гидрологическая обстановка, загрязняются источники воды неочищенными сточными водами. Из-за значительных колебаний уровня поверхностных и подземных вод, по причине бессистемного бурения скважин, многие водозаборы работают на грани срыва или оголяются полностью.

© Чупин В.Р., Фам Н.М., Чупин Р.В., 2019

Одним из путей решения данной проблемы является строительство и развитие районных систем водоснабжения (РСВ) – систем, обслуживающих несколько крупных объектов, расположенных на значительном расстоянии друг от друга [1]. В южной и центральной зонах России уже построено достаточно большое количество таких систем. Некоторые из них представляют собой сложные, капиталоемкие водохозяйственные комплексы, предназначенные для транспортировки и подачи воды на большие расстояния неоднородным и рассредоточенным на обширной территории потребителям.

Однако на современном этапе, из-за недостаточного финансирования, многие РСВ находятся в аварийном состоянии, износ сетей и сооружений приближается к 80 %, автоматизация и диспетчеризация не соответствуют современным требованиям. Переход к рыночным механизмам функционирования и управления РСВ не решил этих проблем, хотя появились небольшие инвестиции, которые можно было бы направить на восстановление и развитие сетей и сооружений. При этом возникает задача, куда вложить эти ограниченные инвестиции: в строительство новых или реконструкцию сетей водоснабжения, в строительство новых локальных источников водоснабжения или в расширение существующих, в строительство новых централизованных водопроводных очистных сооружений (ВОС) или локальных ВОС. Возникает много новых задач, а именно [2–4]:

- обоснование мест расположения и производительности водозаборных и очистных сооружений, параметров насосных станций и регулирующих емкостей;
- обоснование способов и логистики транспортировки воды потребителям (автомобильный, трубопроводный, железнодорожный, водный);
- выбор оптимальной трассы и диаметров трубопроводной системы с учетом повышения надежности, управляемости и сейсмостойкости отдельных сооружений и РСВ в целом;
- оптимальное распределение капиталовложений в реконструкцию существующих и строительство новых объектов группового водоснабжения;
- оптимальная реконструкция систем водоснабжения в условиях сокращающегося водопотребления.

Критерием выбора наилучшего варианта являются затраты жизненного цикла [5, 6]. При постоянных эксплуатационных расходах затраты жизненного цикла можно представить следующим образом

$$ЗЖЦ = K + TЭ_3, \quad (1)$$

где T – срок службы системы водоснабжения, годы, принимается равным сроку службы самого долговечного из элементов системы водоснабжения;

K – капиталовложения, равные единовременным затратам, плюс затраты на восстановление отдельных элементов системы, чей срок жизни меньше расчетного (кратные затраты), тыс. руб., определяются на основании укрупненных нормативов цен строительства НЦС-81-02-14–2017;

$Э_3$ – годовые эксплуатационные затраты, тыс. руб./год, рассчитываются на основе рекомендаций по нормированию труда работников водопроводно-канализационного хозяйства (Приказ Госстроя РФ № 66 от 22.03.1999).

На основании приведенных нормативов несложно получить зависимость эксплуатационных затрат от расхода транспортируемой воды на участке длиной в 1 км

$$\Theta_3 = 0,116K + C_{\text{элк}} + 1,1253\Pi_{\text{ср}}x^{0,3} + 31536C_{\text{н,ст}}x, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{ср}}$ – средняя заработная плата по предприятию;

$C_{\text{н,ст}}$ – водный налог.

С учетом гидравлических характеристик трубопровода получена зависимость капиталовложений от расхода и скорости v транспортируемой воды в расчете на 1 км длины

$$K = (34796,4xv^{-1} + 8346,6x^{0,5}v^{-0,5} + 2537,9)L. \quad (3)$$

Формула (3) представлена для полиэтиленовых труб при разработке сухого грунта на глубину 3 м, что характерно для Иркутской области. Затраты электроэнергии приведены к участку трубопроводной сети длиной 1 км и выражены как функция расхода и скорости движения воды

$$C_{\text{элк}} = 108Z_{\text{элк}}(0,000642x_i^{0,387}v_i^{2,387}L_i \cdot 1000), \quad (4)$$

где $Z_{\text{элк}}$ – стоимость 1 кВт · ч электроэнергии.

С учетом значений эксплуатационных затрат (2) затраты жизненного цикла, тыс. руб., можно представить

$$\text{ЗЖЦ} = K + T(0,116K + C_{\text{элк}} + 1,1253\Pi_{\text{ср}}x^{0,3}). \quad (5)$$

Если взять частную производную затрат жизненного цикла по скорости и приравнять нулю, и далее полученное уравнение разрешить относительно скорости, то можно получить в каждом конкретном случае оптимальные значения скорости движения воды. Например, для Иркутской области v составляет 2,8 м/с, для Новосибирской области – $v = 2,07$ м/с.

На основании анализа цен, предлагаемых производителями, получены следующие зависимости:

1. Для подземных водозаборов из артезианских скважин глубиной 100 м с максимальным расходом 40 м³/ч, тыс. руб.

$$\text{ЗЖЦ} = 31500x_i + T(6300x_i + C_{\text{элк}} + 153\Pi_{\text{ср}}x_i^{0,3}). \quad (6)$$

2. Для очистных сооружений по обезжелезиванию и умягчению (удалению солей кальция и магния) от производителей ЗАО «Роса» – типовые станции водоподготовки на основе напорных фильтров обезжелезивания и умягчения (каталитическое окисление и фильтрация примесей в слое загрузки)

$$\text{ЗЖЦ} = 178085x_i + T(35617x_i + C_{\text{элк}} + 153\Pi_{\text{ср}}x_i^{0,3}). \quad (7)$$

3. Подземный водозабор с водопроводными очистными сооружениями

$$\text{ЗЖЦ} = 209585x_i + T(41917x_i + C_{\text{элк}} + 303\Pi_{\text{ср}}x_i^{0,3}). \quad (8)$$

4. Насосные станции

$$\text{ЗЖЦ} = 48053x_i + T(9610x_i + 153\Pi_{\text{ср}}x_i^{0,3}). \quad (9)$$

5. Транспортировка воды автомобильным транспортом

$$\text{ЗЖЦ} = 10800 \frac{x(C_m + C_r)}{V_e} \left(1 + \frac{2L}{45}\right) + T6307200 \frac{xL}{V_e}, \quad (10)$$

где C_m и C_r – стоимость автоцистерны и гаража, тыс. руб.;
 V_e – емкость автоцистерны, м³.

Для всех перечисленных сооружений и для различных способов их строительства и эксплуатации можно получить соответствующие функции и их линейные аппроксимации. На рис. 1 представлены такие функции для трубопроводного и автомобильного транспорта, из которых следует, что до расходов 0,0015 м³/с (130 м³/сут) эффективен для доставки воды автотранспорт (с объемом цистерны 8 м³ (см. рис. 1, б)), более – трубопроводный. При цистерне в 20 м³ объемы, перевозимые автотранспортом, увеличиваются до 446 м³/сут (см. рис. 1, а).

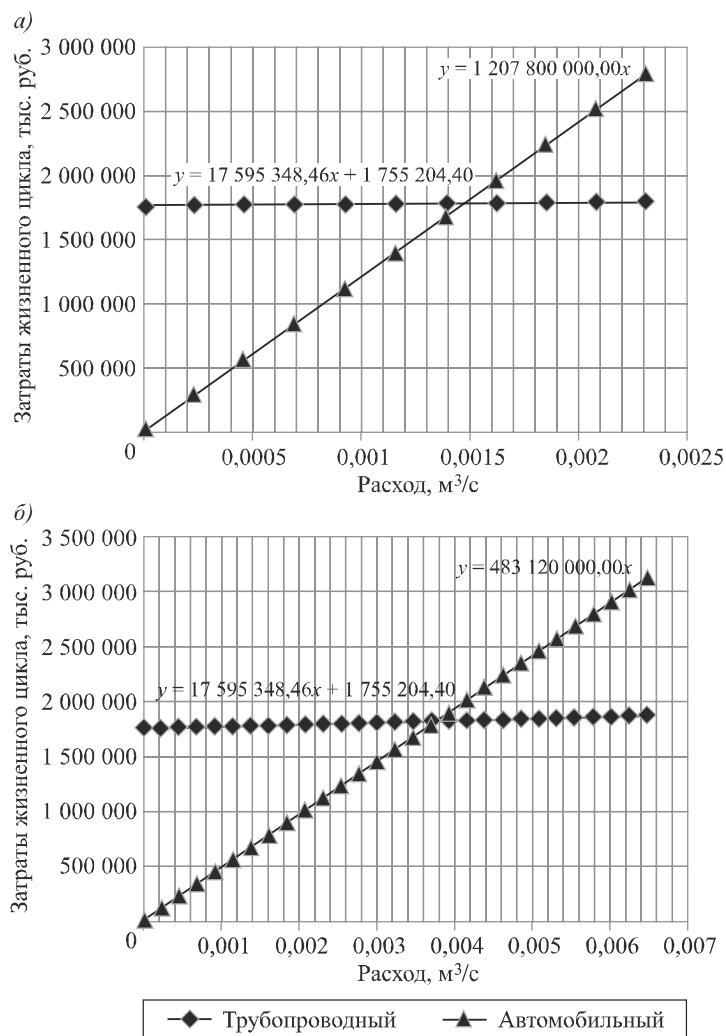


Рис. 1. Определение оптимальных границ автомобильного и трубопроводного транспорта воды

Вариантность проектирования является основным инструментом поиска рационального вложения инвестиций в развитие и реконструкцию систем водоснабжения. Проектировщики с учетом накопленного опыта и собственной интуиции всегда пользовались этим инструментом. Но из-за дефицита времени и средств ограничивались рассмотрением двух, трех или пяти вариантов. Хотя их может быть больше, особенно при обосновании структуры снабжения водой населенных пунктов, расположенных на значительных расстояниях друг от друга. При этом возможны следующие варианты:

– водозабор осуществляется из открытого источника, вода очищается до требуемых показателей к питьевой воде и подается в населенные пункты трубопроводным транспортом (групповые водопроводы);

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

– водозабор осуществляется из открытого источника с качеством воды, соответствующим требованиям к питьевой воде, и подается потребителям;

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

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

Возможны различные комбинации перечисленных вариантов.

Такие возможные варианты представлены на рис. 2, а–г. На рис. 2, д приведен граф, который получен в результате наложения вариантов 2, а–г. Этот граф отражает все возможные варианты проектируемой районной системы водоснабжения и его принято называть «избыточной проектной схемой» [7, 8]. В графе содержится не четыре, а несколько десятков и даже сотен вариантов.

При построении избыточных схем можно заранее избежать заведомо неоптимальные решения и обеспечить возможность генерировать множество

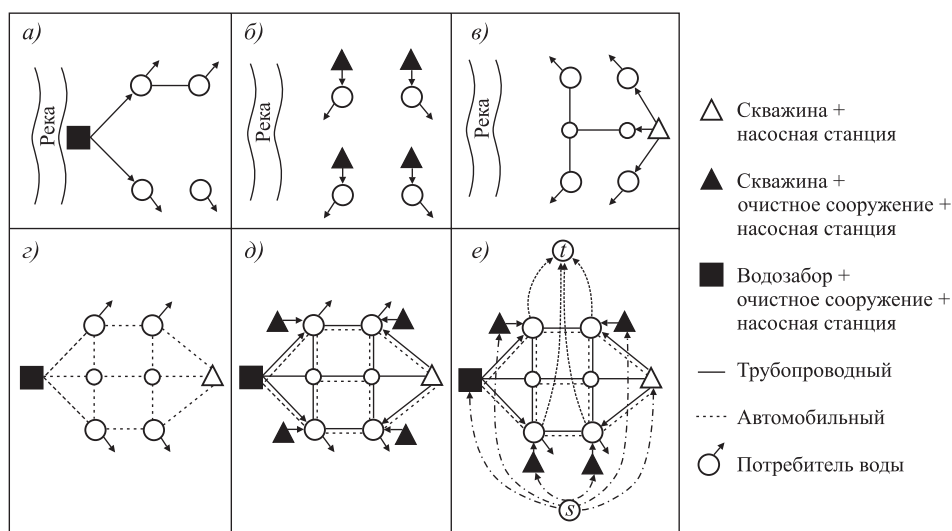


Рис. 2. Проектные варианты (а–г), избыточная (д) и транспортная (е) схемы районных систем водоснабжения

допустимых вариантов структуры и параметров систем водоотведения, отличающихся друг от друга приведенными затратами. Также можно обозначить на тех или иных участках сети способы их реконструкции (параллельная прокладка, перекладка, прокладка нового трубопровода, устройство насосных станций, очистных сооружений и др.). Задача состоит лишь в том, чтобы в этом графе отбраковать неэффективные связи и узлы. Для этих целей предлагается метод [9–12], основанный на построении транспортной сети и поиске на ней максимального потока минимальной стоимости (затрат жизненного цикла). Для построения транспортной сети все узлы – потребители воды замыкаются с помощью фиктивных ветвей на общий узел t – выхода потока (см. рис. 2, e), а узлы – источники воды замыкаются на общий фиктивный узел входа потоков S . При этом для каждого участка транспортной сети назначаются ограничения на их пропускные способности (верхние и нижние). Для фиктивных ветвей входа потоков верхние ограничения соответствуют максимально возможным заборам воды из источников водоснабжения, а для фиктивных ветвей выхода потоков – потребностям населенных пунктов или абонентов в воде. Ограничения на потоки проектируемых трубопроводных участков сети и на маршруты автомобильным транспортом не назначаются. Для существующих участков сети верхнее ограничение на потоки определяется исходя из оптимальных значений скорости движения воды

$$\bar{v} = V_{\text{опт}} \frac{\pi d^2}{4}. \quad (11)$$

По каждому участку сети определяется и назначается стоимость единицы потока. Для фиктивных ветвей входа потоков – это стоимость забора и водоподготовки 1 м^3 воды, для реальных новых трубопроводных участков сети – это стоимость строительства и транспортировки 1 м^3 воды на 1 км трубопровода, для автомобильного транспорта – это стоимость перевозки 1 м^3 воды на 1 км длины дороги. Для фиктивных участков выхода потока стоимость не назначается, либо принимается в виде затрат на дальнейшую транспортировку 1 м^3 воды до конкретных абонентов. Для существующих участков сети стоимость единицы потока соответствует эксплуатационным затратам. С учетом построенной таким образом транспортной сети решается задача поиска максимального потока минимальной стоимости. В итоге определяются оптимальные места положения и производительность 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.

С учетом полученных зависимостей (1–10) можно сформулировать математическую задачу оптимизации структуры и параметров районных систем водоснабжения как задачу минимизации линейных функций затрат на множестве допустимых значений расходов транспортируемой воды

$$\sum_{i=1}^n C_i x_i \rightarrow \min, \text{ при } \underline{v}_i \leq x_i \leq \bar{v}_i, \quad Ax = q'_{\text{сп}}, \quad (12)$$

где x_i – искомый поток на ветви избыточной или транспортной сети;

$\underline{v}_i, \overline{v}_i$ – нижние и верхние ограничения на поток x_i ;

A – матрица соединений узлов и ветвей сети;

$q_{\text{ср}}^i$ – вектор расчетных расходов потребления воды населенными пунктами, м³/с.

Если известна величина выделяемых инвестиций в строительство новых и реконструкцию существующих сетей и сооружений, то дополнительно вводится следующее ограничение

$$\sum_{i=1}^n C_i x_i \leq \overline{C}, \quad (13)$$

где \overline{C} – выделяемые инвестиции в строительство и реконструкцию системы водоснабжения.

При решении задачи (12)–(13) используется алгоритм поиска максимального потока минимальной стоимости. Работа метода начинается с выбора кратчайшего маршрута от S к t , который соответствует минимальному значению суммы удельных величин стоимости потока, умноженному на длину ветви. Затем величина потока увеличивается с помощью систематического поиска всех возможных маршрутов от S к t . Как только будет найдена одна из таких цепей, поток вдоль нее возрастает 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 выделяемые инвестиции оптимально распределяются в строительство новых и реконструкцию существующих объектов водоснабжения, оставшиеся фиктивные ветви укажут на оптимальные источники воды, а оставшиеся участки избыточной схемы – на оптимальную трассу и вид транспорта воды.

В результате оптимизации определяются трасса и параметры новых участков сети, варианты реконструкции коллекторов (открытым способом, бесканальной перекладкой, прокладкой параллельного трубопровода и др.), производительность очистных сооружений. На рис. 3 представлены такие варианты.

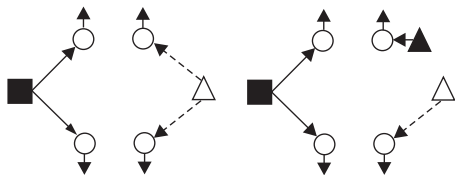


Рис. 3. Варианты оптимальных решений

Для сейсмически опасных районов вопросам надежности районных систем водоснабжения должно уделяться особое внимание, поскольку при сильных землетрясениях в первую очередь разрушаются подземные коммуникации. Территория города заливается сточными водами, горячей водой, водопроводы разрушаются и тушить пожары становится невозможным. Именно по этой причине многие крупные землетрясения в Японии и Средней Азии имели катастрофические последствия. Из теории сейсмостойкого строительства известно, что трубопроводы, расположенные параллельно сейсмическому воздействию, наиболее подвержены разрушению. Чем трубопровод больше заглублен, тем больше он заземлен и подвержен сейсмическому воздействию. Чем больше сейсмическое воздействие, тем больше интенсивность отказов. Самые подверженные разрушению трубопроводы

из чугуна, самые сейсмостойкие – из полиэтилена. В работах [13, 14] на основе статистического материала получены зависимости увеличения интенсивности отказов в зависимости от ориентации сейсмического воздействия и балльности B по шкале MSK-64. Учитывая произвольный угол наклона $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ сейсмического воздействия по отношению к расположению участка i , можно получить следующую зависимость

$$K^\alpha = 0,08418 \sin(74,709 + \alpha) B^{2,6}. \quad (14)$$

Следует отметить, что при балльности меньше 4 сейсмические воздействия на трубопроводы не проявляются. На этот коэффициент увеличивается интенсивность отказов трубопроводных участков сети. Например, для участков сети, расположенных параллельно сейсмическому воздействию (при балльности 9, что характерно для Иркутской области), интенсивность отказов возрастает в 24,6 раза, а для участков, расположенных перпендикулярно сейсмическому воздействию, – в 6,7 раза.

Интенсивность отказов (количество отказов в год на 1 км длины) на основе статистических данных определяется по формуле $\lambda = a/D^b$ [15], где в зависимости от материала труб и условий прокладки трубопроводов $a = 0,307-0,229$, а $b = 0,6-1$, где D – диаметр трубопровода, м. Следовательно, количество аварий на трубопроводе за год будет равно $\lambda L K^\alpha$, а затраты на ликвидацию аварийных ситуаций составят: $Z^{ав} = \lambda L K^\alpha Z^1$, где Z^1 – затраты на ликвидацию аварии, которые по данным водоканалов изменяются от 50 до 150 тыс. руб. в зависимости от диаметров трубопроводов. Таким образом, каждый участок в зависимости от его ориентации будет иметь различные удельные (на единицу потока и длины) затраты жизненного цикла

$$ZЖЦ = K + T \times (0,116K + C_{элк} + 1,1253\Pi_{ср} x^{0,3} + K^\alpha (-10,174x^{1,5} + 36,36x^{0,5} + 5,49x^{-0,5})L). \quad (15)$$

На рис. 4 представлены зависимости затрат жизненного цикла от балльности землетрясений и расхода транспортируемой воды. Из рисунка видно, что использование автомобильного транспорта в районах с повышенной сейсмичностью будет более эффективным даже при емкости цистерны в 8 м^3 .

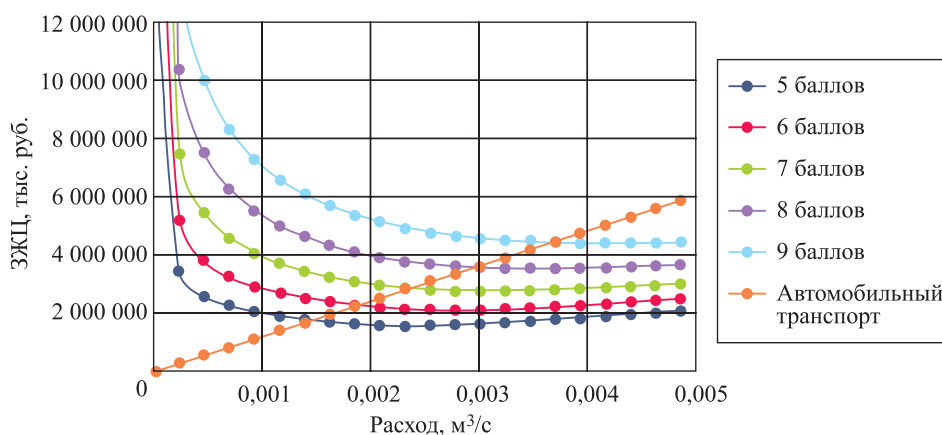


Рис. 4. Зависимости затрат жизненного цикла от балльности землетрясений территории

Фактор сейсмических воздействий можно учитывать при составлении избыточных проектных схем за счет ориентации трубопроводных участков сети. Что касается автомобильного транспорта, то можно считать, что сейсмические воздействия на него не влияют. В качестве примера рассмотрим задачу обоснования структуры и параметров районной системы водоснабжения, состоящей из источника воды и 11 населенных пунктов, удаленных друг от друга на расстояние 30 км. На рис. 5, а представлена избыточная схема вариантов транспортировки воды потребителям (сплошные линии – трубопроводный транспорт, штриховые – автомобильный). Если не учитывать фактор сейсмических воздействий, то оптимальным будет вариант, представленный на рис. 5, б, для которого 6 участков будут трубопроводным транспортом и 5 автомобильным. Но если учитывать сейсмические воздействия с направлением, указанным на рис. 5, а, то оптимальным будет вариант, представленный на рис. 5, в, который существенно отличается от варианта рис. 5, б и имеет уже 2 трубопроводных участка и 9 автомобильных.

Рассмотрим возможность и покажем эффективность применения разработанных подходов при оптимизации схем больших систем водоснабжения на примере крупного города Ханоя. Система водоснабжения Ханоя функционирует с 1894 г. и сейчас город с населением в 7,587 млн человек потребляет 910 тыс. м³/сут воды, на жителя приходится 120 л в сутки. Протяженность сетей составляет 3 100 км. Вода в город подается из озера Донг Бай (водозабор Щонг Да) по водоводу d 1800 мм и протяженностью 10 км в количестве 500 тыс. м³/сут. В городе есть 8 водозаборов из подземных источников воды, суммарной производительностью 410 тыс. м³/сут. За городом имеется еще 7 подземных водозаборов, производительностью 126 тыс. м³/сут. Согласно утвержденной схеме перспективного развития системы водоснабжения Ханоя на период до 2030 г., население составит 11 200 тыс. человек и объем потребления воды возрастет до 2,016 млн м³/сут, что в расчете на жителя составит 180 л в сутки. Потребуется строительство еще двух открытых водозаборов: Щонг Дуонг на 600 тыс. м³/сут и Щонг Хунг на 450 тыс. м³/сут.

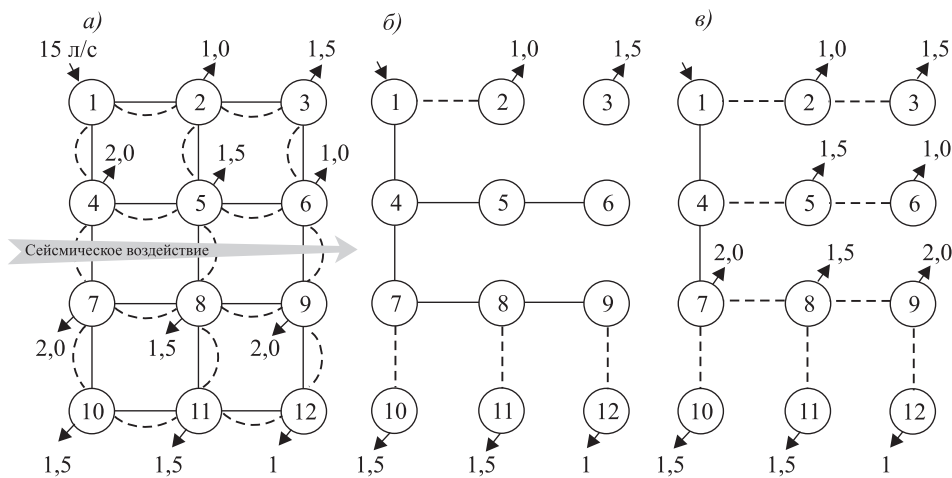


Рис. 5. Учет сейсмических нагрузок в задачах оптимизации районных систем водоснабжения

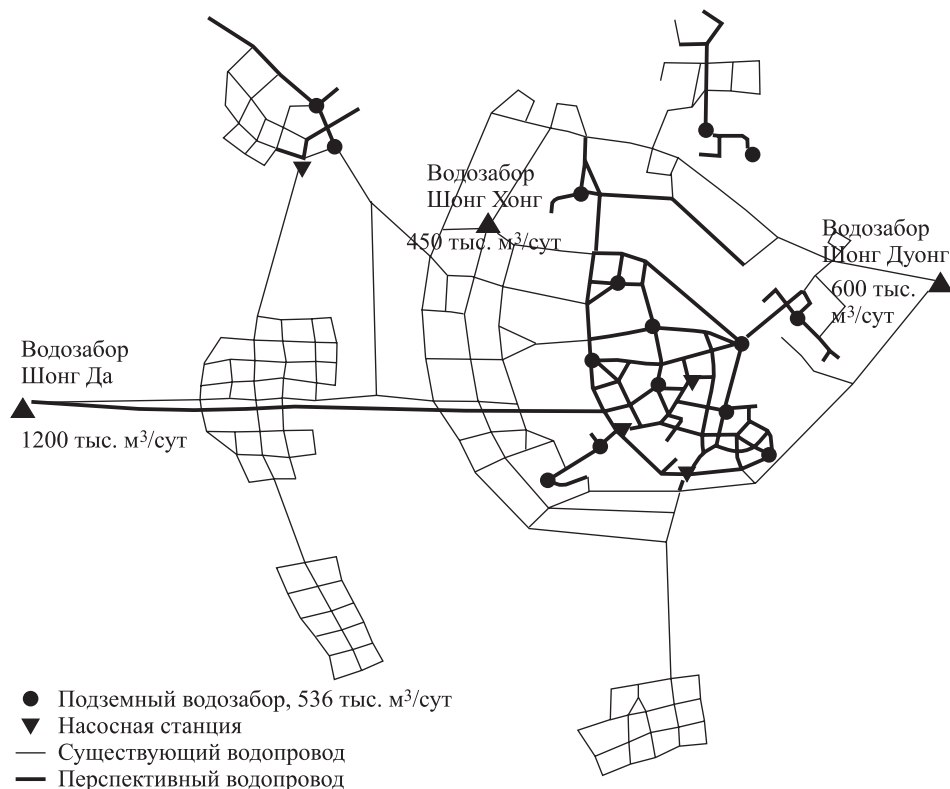


Рис. 6. Существующая и перспективная схема водоснабжения Ханоя

При этом будут построены новые жилые районы: Западный с потребностью в воде на 514,2 тыс. м³/сут; Южный – 88,7; Восточный – 256,5; Северный – 487,1 тыс. м³/сут; Центральный район получит развитие с потребностью до 1 млн м³/сут. На основании представленной планировки город будет агломерацией из пяти районов, для которых требуется организация единой системы водоснабжения.

На рис. 6 приведены существующие и проектируемые сети водоснабжения и водозаборы (открытые и подземные, существующие и новые).

Для выбора оптимальной структуры и схемы представим вновь проектируемые районы узлами потребления воды, и на основании выбранных проектировщиками трассировок трубопроводов, наметим избыточную схему (рис. 7, а). В результате оптимизации получен вариант, показанный на рис. 7, б жирными линиями.

Полученный оптимальный вариант не подтвердил мнение проектировщиков, что надо развивать существующий водозабор Шонг Да. Экономически выгодно строительство двух новых водозаборов, причем основной из них будет Шонг Дуонг.

Рассмотрим возможность и покажем эффективность применения разработанных подходов при оптимизации схем систем группового водоснабжения маленьких населенных пунктов Заларинского района Иркутской области. На рис. 8, а представлена избыточная схема возможных водоводов и мест устройства водозаборов Заларинской системы группового водоснабжения

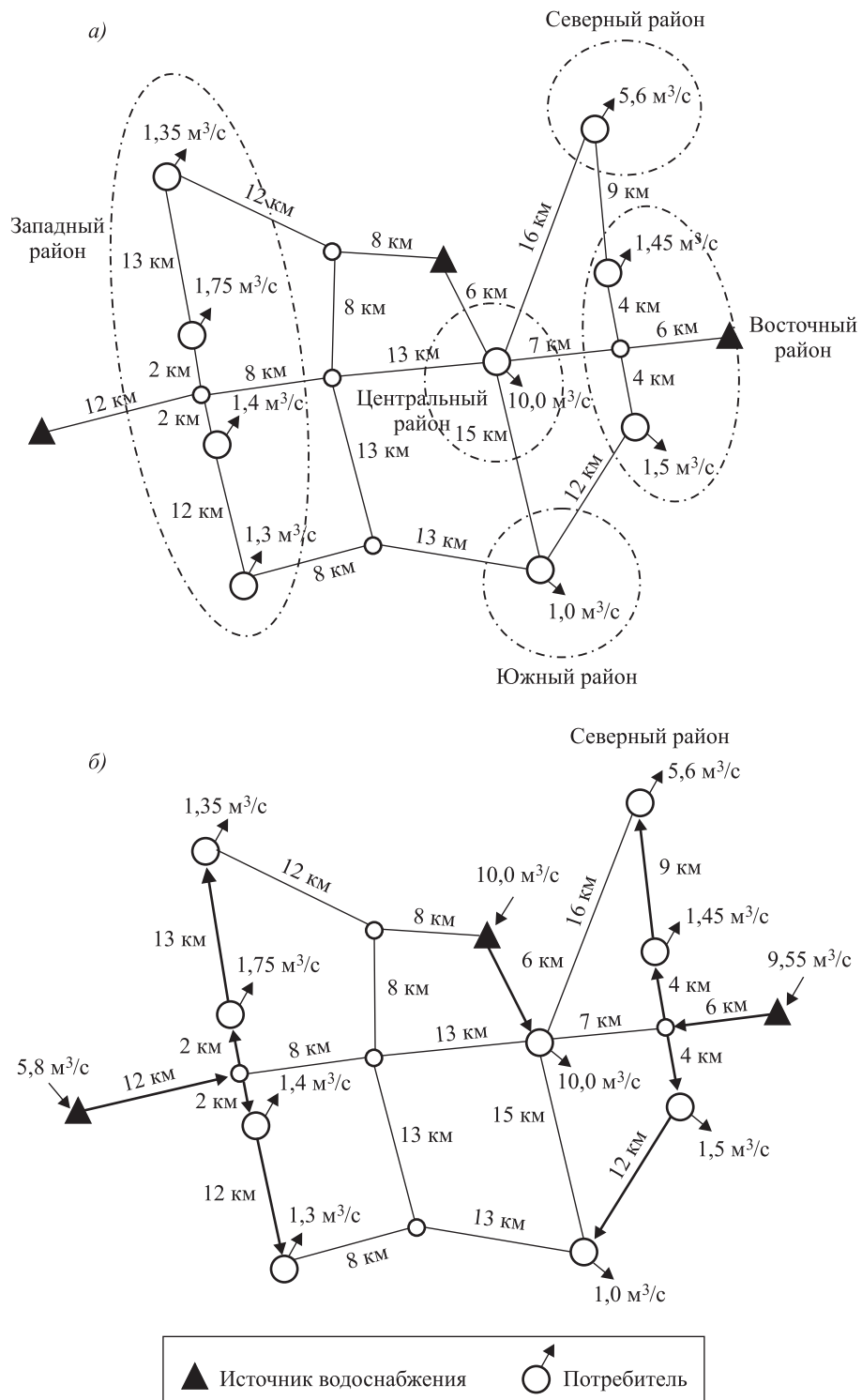


Рис. 7. Избыточная схема (а) и оптимальный вариант (б) перспективной схемы развития систем водоснабжения Ханоя

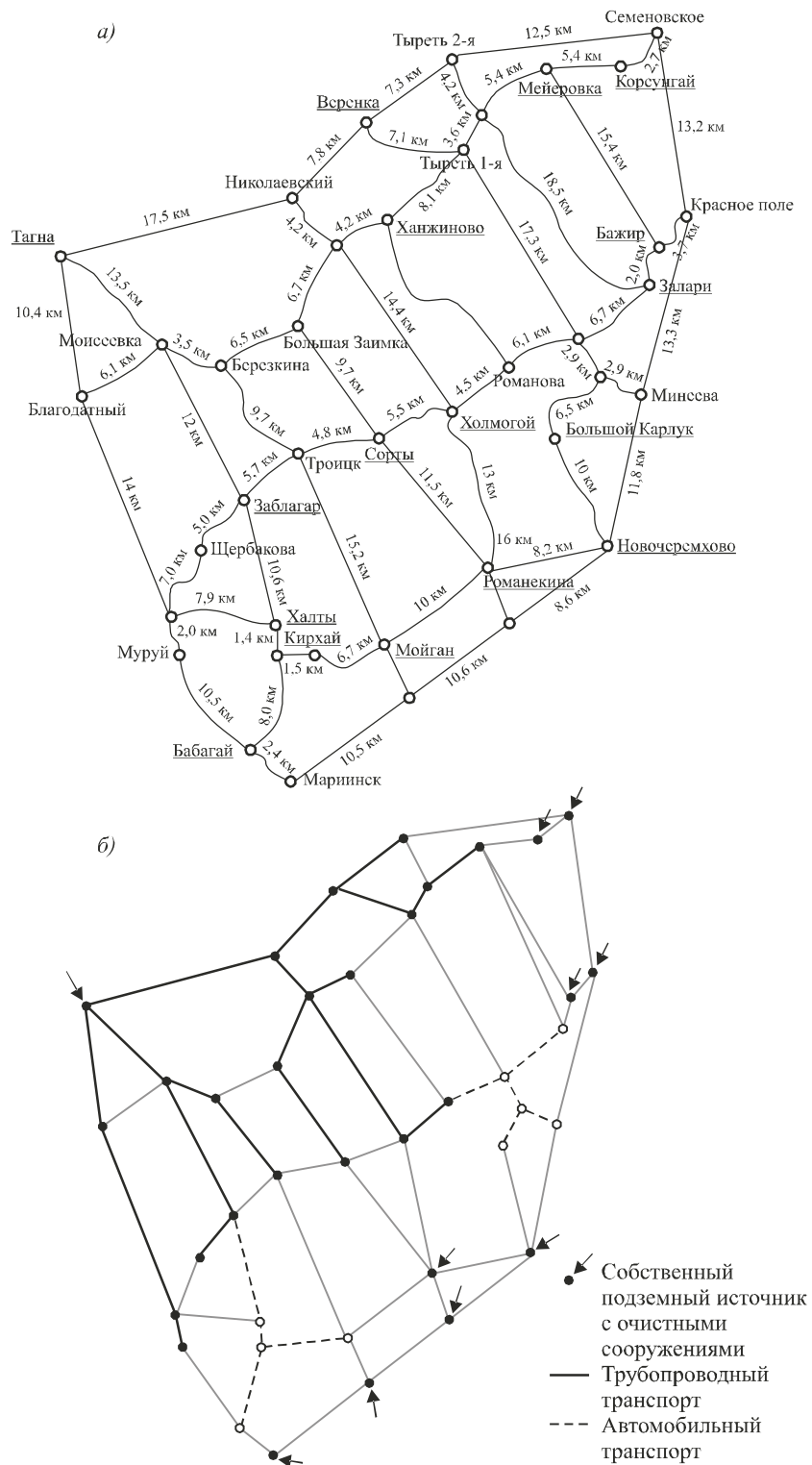


Рис. 8. Избыточная схема (a) и оптимальный вариант (б) Заларинского группового водопровода

(количество населенных пунктов 30, общий объем потребления воды составляет 4909,0 м³/сут, суммарная протяженность 520 км). В каждом населенном пункте вода находится на глубине 80 м, но ее общая жесткость составляет 10–12 мг-экв/л, т.е. требуется очистка. В одном подземном источнике (пос. Тагна) вода не требует очистки. С учетом этих факторов и считая, что эксплуатационные запасы воды в Тагнинском месторождении неограниченные, построена транспортная сеть и в результате оптимизации получен вариант, представленный на рис. 8, б. Согласно этому варианту оптимальной является схема с подачей воды из Тагнинского месторождения в 20 населенных пунктов трубопроводным и автомобильным транспортом. Протяженность трубопроводного транспорта составила 162,5 км, автомобильного 42,7 км. В 10 населенных пунктах будут собственные подземные водозаборы с установками ЗАО «Роса» для подготовки воды питьевого качества. Проектировщики предложили вариант подачи воды из Тагнинского месторождения трубопроводным транспортом во все 30 населенных пунктов. Полученный вариант на основе предлагаемого в работе метода оптимизации оказался по затратам жизненного цикла на 256 млн руб. дешевле, чем проектный.

Разработанные подходы и методы реализованы в программном комплексе Трасе–ВК в виде подпрограммы для оптимизации районных систем водоснабжения. На основе этого программного комплекса получены перспективные схемы систем водоснабжения и водоотведения многих городов и населенных мест Иркутской области, в их числе Заларинский, Куйтунский, Черемховский групповые водопроводы.

Выводы. Получены новые зависимости затрат жизненного цикла от расхода транспортируемой воды различными видами транспорта. Эти зависимости и их исследования позволили обосновать метод оптимизации поиска максимального потока минимальной стоимости на предварительно построенной избыточной схеме проектных решений. Доказано, что определяющим фактором выбора способа транспортирования воды являются объемы транспортируемой воды.

Впервые предложены и разработаны методы оптимизации районных систем водоснабжения по критерию затрат жизненного цикла с учетом многообразия способов транспортировки воды, надежности и сейсмостойкости сооружений. Такой подход, в отличие от традиционной технологии проектирования систем водоснабжения, значительно повышает обоснованность и эффективность принимаемых решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кемелев А.А. Групповые системы сельскохозяйственного водоснабжения. М.: Колос, 1971. 192 с.
2. Пупырев Е.И., Примин О.Г. Методическое обеспечение разработки схем централизованных систем водоснабжения и водоотведения // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2013. № 5. С. 4–8.
3. Примин О.Г., Борткевич В.С., Миркис В.И., Кантор Л.И., Винарский С.Л. О разработке схем водоснабжения городов России // Водоснабжение и сан. техника. 2014. № 7. С. 26–32.

4. Карамбиров Н.А. Сельскохозяйственное водоснабжение. М.: Колос, 1978. 438 с.
5. Гогина Е.С., Гуринович А.Д. Применение методики LCC для оценки эффективности проектов сооружений очистки сточных вод // Водоснабжение и сан. техника. 2016. № 9. С. 36–41.
6. 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.
7. Чупин Р.В., Фам Н.М. Оптимизация структуры и параметров развивающихся систем группового водоснабжения // Водоснабжение и сан. техника. 2019. № 1. С. 30–36.
8. Чупин Р.В. Оптимизация перспективных схем развития систем водоотведения в условиях ограниченного финансирования // Водоснабжение и сан. техника. 2018. № 2. С. 67–74.
9. Таха Х. Введение в исследование операций. В 2 кн. М.: Мир, 1985.
10. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Поток в сетях. М.: Мир, 1963. 216 с.
11. Чупин Р.В. Оптимизация развивающихся систем водоотведения. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. техн. ун-та, 2015. 418 с.
12. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование системы подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности: Моногр. М.: Стройиздат, 2004. 197 с.
13. Гехман А.С., Зайнетдинов Х.Х. Расчет, конструирование и эксплуатация трубопроводов в сейсмических районах. М.: Стройиздат, 1988. 184 с.
14. Напетваридзе Ш.Г. Сейсмостойкость транспортных и сетевых сооружений. М.: Наука, 1986. 120 с.
15. Алексеев В.С. Повышение надежности систем водоснабжения в чрезвычайных ситуациях // Водоснабжение и сан. техника. 2001. № 5.1. С. 2–4.

Чупин Виктор Романович, д-р техн. наук, профессор; E-mail: chupinvr@istu.edu
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Фам Нгок Минь, преподаватель; E-mail: minhrow@gmail.com
Винь университет, Вьетнам

Чупин Роман Викторович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник;
E-mail: ch-r-v@mail.ru
Иркутский национальный исследовательский технический университет

Получено 14.01.19

Chupin Viktor Romanovich, DSc, Professor; E-mail: chupinvr@istu.edu
Irkutsk National Research Technical University, Russia

Fam Ngok Min, Lecturer; E-mail: minhrow@gmail.com
Vin' University, Vietnam

Chupin Roman Viktorovich, PhD, Senior Scientist; E-mail: ch-r-v@mail.ru
Irkutsk National Research Technical University, Russia

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE AND PARAMETERS OF DISTRICT WATER SUPPLY SYSTEMS TAKING INTO ACCOUNT PIPELINE AND AUTOMOBILE TRANSPORT

The issues of development and reconstruction of district water supply systems are considered and new techniques and methods for optimizing their structure and parameters are proposed, which allow the complex to optimize installation sites and performance of

water intake and treatment facilities from surface and underground water sources, methods of transporting water from sources to consumers, including the selection optimal use of road and pipeline transport. The developed methods are based on the construction of redundant design schemes of possible options for the intake, water treatment and transportation of water and the search for the maximum flow of the minimum cost. This takes into account the capacity of existing systems and structures, optimized methods for the reconstruction of existing pipeline systems. Separately, the issues of increasing seismic resistance and the influence of seismic effects on the structure of structures and on the choice of the method of transporting water are considered. The technique and method allowed to substantiate the scheme and logistics of providing water to three districts of the Irkutsk region.

Key words: methods and methods of optimization of district water supply systems, optimization of the use of road and pipeline transport.

REFERENCES

1. Kemelev A.A. Gruppovye sistemy sel'skokhozyaystvennogo vodosnabzheniya [Group systems of agricultural water supply]. Moscow, 1971. 192 p. (in Russian)
2. Pupyrev E.I., Primin O.G. Metodicheskoe obespechenie razrabotki skhem tsentralizovannykh sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Methodological support of the development of schemes for centralized systems of water supply and drainage]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie [Water treatment. Water treatment. Water supply]. 2013. No. 5. Pp. 4–8. (in Russian)
3. Primin O.G., Bortkevich V.S., Mirkis V.I., Kantor L.I., Vinarskiy S.L. O razrabotke skhem vodosnabzheniya gorodov Rossii [On the development of water supply schemes for cities in Russia]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2014. No. 7. Pp. 26–32. (in Russian)
4. Karambirov N.A. Sel'skokhozyaystvennoe vodosnabzhenie [Agricultural water supply]. Moscow, 1978. 438 p. (in Russian)
5. Gogina E.S., Gurinovich A.D. Primenenie metodiki LCC dlya otsenki effektivnosti proektov sooruzheniy ochistki stochnykh vod [The use of the LCC method for assessing the efficiency of projects of wastewater treatment plants]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2016. No. 9. Pp. 36–41. (in Russian)
6. Bazhenov V.I., Pupyrev E.I., Samburskiy G.A., Berezin S.E. Razrabotka metodiki rascheta stoimosti zhiznennogo tsikla oborudovaniya sistem i sooruzheniy dlya vodosnabzheniya i vodootvedeniya [Development of a methodology for calculating the life-cycle cost of equipment for systems and structures for water supply and drainage]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2018. No. 2. Pp. 10–19. (in Russian)
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]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2019. No. 1. Pp. 30–36. (in Russian)
8. Chupin R.V. Optimizatsiya perspektivnykh skhem razvitiya sistem vodootvedeniya v usloviyakh ogranichennogo finansirovaniya [Optimization of promising schemes for the development of water disposal systems in conditions of limited funding]. Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2018. No. 2. Pp. 67–74. (in Russian)
9. Taha H. Vvedenie v issledovanie operatsiy [Introduction to Operations Research. In 2 books]. Moscow, 1985. (in Russian)

10. Ford L.R., Falkerson D.R. Potoki v setyakh [Flows in networks]. Moscow, 1963. 216 p. (in Russian)
 11. Chupin R.V. Optimizatsiya razvivayushchikhsya sistem vodootvedeniya [Optimization of developing wastewater systems]. Irkutsk: Irkutsk State Technical University Publishing House, 2015. 418 p. (in Russian)
 12. Karambirov S.N. Matematicheskoe modelirovanie sistemy podachi i raspredeleniya vody v usloviyakh mnogorezhimnosti i neopredelennosti: Monografiya [Mathematical modeling of the water supply and distribution system under conditions of a lot of regimes and uncertainties: Monograph]. Moscow, 2004. 197 p. (in Russian)
 13. Gekhman A.S., Zaynetdinov H.H. Raschet, konstruirovaniye i ekspluatatsiya truboprovodov v seymicheskikh rayonakh [Calculation, design and operation of pipelines in seismic areas]. Moscow, 1988. 184 p. (in Russian)
 14. Napetvaridze Sh.G. Seymostoykost' transportnykh i setevykh sooruzheniy [Seismic resistance of transport and network facilities]. Moscow, 1986. 120 p. (in Russian)
 15. Alekseev V.S. Povysheniye nadezhnosti sistem vodosnabzheniya v chrezvychaynykh situatsiyakh [Improving the reliability of water supply systems in emergency situations]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2001. No. 5.1. Pp. 2–4. (in Russian)
-