

Гидравлика и инженерная гидрология

УДК 502/504 : 628.147: 628.882:557.4

С. Н. КАРАМБИРОВ, С. А. ТРИКОЗЮК

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы комплексной оптимизации систем подачи и распределения воды в условиях противоречивых требований, предъявляемых к системе подачи и распределения воды (СПРВ), состоящей из водозаборных сооружений, насосных станций, резервуаров, станций подкачки, арматуры, потребителей, водоводов и распределительных сетей. В качестве метода оптимизации выбран генетический алгоритм – численный аналог закона естественного отбора Чарльза Дарвина.

Комплексная оптимизация систем подачи и распределения воды, генетический алгоритм, закон естественного отбора Чарльза Дарвина, независимые переменные, неопределенность узловых расходов, гидравлическое сопротивление.

There are considered questions of complex optimization of water supply and distribution systems under the conditions of contradictory demands made to the water supply and distribution system (WSDS) consisting of diversion facilities, pump stations, reservoirs, relay pump station, armature, consumers, water conduits and distribution networks. As a method of optimization there is chosen a genetic algorithm – a numerical analog of the law of natural selection of Charles Darwin.

Complex optimization of water supply and distribution systems, genetic algorithm, law of natural selection of Charles Darwin, independent variables, fuzziness of units discharges, hydraulic resistance.

Выбор оптимальных параметров (диаметров труб и напоров), а также мест расположения и характеристик сетевых сооружений системы для уже заданной или выбранной на предыдущем

этапе схеме сети составляет одну из основных задач проблемы комплексной оптимизации систем водоснабжения.

В более узком смысле задача сводится к нахождению потокораспреде-

ления и диаметров, которые отвечали бы наибольшей экономичности как сети, так и связанных с ней насосных станций и регулирующих емкостей при соблюдении требований надежности. При таком подходе не учитывается ряд требований, предъявляемых к системе подачи и распределения воды, которые формулируются в виде представлений и пожеланий, часть из которых противоречит друг другу. К таким требованиям можно отнести: примерно равную пропускную способность параллельных транзитных магистралей; подачу воды крупным потребителям кратчайшим путем; примерно равные диаметры участков, близких к водопитателям; обеспечение намеченных подач в заданные интервалы времени; соотношение диаметров перемычек и магистралей сети; уменьшение диаметров магистралей от водопитателей к периферии; равные диаметры линий, состоящих из нескольких участков, и т.д.

Задача может быть решена, если отказаться от точного соответствия всем требованиям и стремиться к их выполнению приближенно [1, 2]. Авторами использован метод, когда сначала намечаются наиболее «предпочтительные» для данной задачи значения и степени ухудшения решения при отклонениях от этих величин [3–5].

В результате для каждого требования получаем функцию, которая в теории нечетких множеств называется функцией принадлежности [6, 7].

Затем решаем задачу приближения расчетных переменных к требуемым.

Применение вариантного проектирования позволяет получить ряд конкурирующих решений, однако переход от одного набора данных к другому не формализован и не дает гарантии, что во множестве вариантов попадет наилучшее решение. Вместе с тем, следует отметить, что при решении очень сложных задач основной целью является поиск не оптимального, а лучшего по сравнению с полученным ранее или заданным в качестве начального решения

[1]. Здесь методы, использующие элементы случайности, получают определенное преимущество перед остальными. Исследования показали, что внесение в такие методы детерминированной составляющей значительно улучшает сходимость алгоритма.

Среди вычислений наибольшее распространение получили генетические алгоритмы, которые в последнее время часто используются для решения задач функциональной оптимизации.

Генетические алгоритмы – адаптивные методы поиска решения оптимизационных задач, основанные на генетических процессах в биологических системах. Основные принципы генетических алгоритмов были сформулированы Голландом (Holland) в 1975 г. Генетические алгоритмы в отличие от эволюции, происходящей в природе, моделируют процессы, которые являются существенными для улучшения решения (развития). В них используются биологические термины, не имеющие к живой природе никакого отношения.

Цель вычислительных генетических алгоритмов состоит в нахождении лучшего решения по одному или нескольким критериям. Различные генетические алгоритмы отличаются деталями. Для реализации генетического алгоритма нужно выбрать подходящую структуру представления решений.

Как правило, структура данных генетического алгоритма состоит из строки оптимизируемых переменных. Термин «строка» в контексте с методом заменяют термином «хромосома», а ее элементы называют «генами». Биологический термин «генотип» соответствует структуре генетического алгоритма, а «фенотип» относится к наблюдаемым признакам и соответствует вектору в пространстве переменных, конкретные значения которого составляют «особь».

В природе особи в популяции конкурируют друг с другом за различные ресурсы. Те особи, которые наиболее приспособлены к окружающим условиям, имеют относительно больше шансов

воспроизвести высокоадаптированных потомков, гены которых будут распространяться на следующие поколения. Биологические популяции развиваются в течение нескольких поколений по законам естественного отбора, открытого Чарльзом Дарвином – выживает наиболее приспособленный.

Генетические алгоритмы используют прямую аналогию с таким механизмом. Они работают с совокупностью особей – популяцией, каждая особь – это возможное решение проблемы. Каждая особь характеризуется мерой ее соответствия решению задачи (приспособленностью). Наиболее приспособленные особи получают возможность «воспроизводить» потомство с помощью «перекрестного скрещивания», или кроссвера. При кроссвере хромосомы предков делятся на две части, а затем обмениваются своими половинками. Возможен и многоточечный кроссвер, при котором родительские хромосомы обмениваются сегментами генов, которые находятся между точками разбиения. Это приводит к появлению двух новых особей, которые сочетают в себе некоторые характеристики, наследуемые ими от родителей.

Так воспроизводится вся новая популяция допустимых решений, выбирая лучших представителей предыдущего поколения, скрещивая их и отбирая особи с лучшими характеристиками. Скрещивание наиболее приспособленных особей приводит к тому, что исследуются наиболее перспективные участки пространства поиска. В конечном итоге популяция приведет к оптимальному решению задачи.

При наследовании возможны «мутации», в результате которых могут измениться некоторые гены в хромосомах родителей. Измененные гены передаются потомству и придают ему новые свойства. Если эти свойства полезны, они скорее всего сохранятся в данном виде. При этом произойдет скачкообразное повышение приспособленности вида (рис. 1).



Рис. 1. Схема генетического алгоритма

Приведем реализацию генетического алгоритма. Рассмотрим трубопроводную сеть (разветвленную или кольцевую), состоящую из n участков, m узлов и k водопитателей. Оптимизируемыми параметрами являются параметры системы, удовлетворяющие заданному набору требований. В простейшем случае это могут быть диаметры участков, выбираемые из дискретного ряда стандартных диаметров труб, укладка которых возможна на каждом участке. Конкретные значения этих диаметров образуют первые n элементов последовательности решения. Затем к ней приписываются оптимизируемые напоры водопитателей, которые являются производными от требуемых подач и допустимых напоров и прямо или косвенно входят в целевую функцию. В многорежимной оптимизации с каждым интервалом времени связана своя величина напора насосных станций, что на практике соответствует процессу управления. Кроме того, в оптимизируемый вектор могут входить: вариант схемы (путем включения в избыточный прототип отдельных элементов со значениями целевой функции 0 или 1, соответствующими отсутствию или наличию элемента в решении), параметры элементов, нечеткие гидравлические сопротивления, удельная стоимость строительства регулирующих емкостей, насосных станций и других объектов – всего p компонентов.

Для рассматриваемой задачи оптимизации трубопроводной сети независимо меняются только первые $n + p$ компонентов. Если вариант уже существует (при реконструкции), соответствующий компонент решения фиксируется.

Для каждого набора независимых переменных (диаметров участков, конкретной конфигурации сети, значений

узловых расходов, гидравлических сопротивлений и т.д.) получаем набор уровней принадлежности каждого контролируемого параметра соответствующему ограничению – μ_1, μ_2, μ_3 . В этот набор входят такие функции принадлежности основной оптимизируемой величины (затрат), ограничений и исходных данных, которые при нечеткой оптимизации неразличимы. Характерные виды функций принадлежности приведены в [5].

В программной реализации предусмотрены следующие функции и ограничения (рис. 2, 3): включение в оптимизацию экономического показателя; приближение подачи водопитателей к требуемым в часы Q_{\min} и Q_{\max} ; проверка на пропуск пожарного расхода; подача крупным потребителям по кратчайшему пути; допуск изменения конфигурации сети; учет неопределенности узловых расходов; учет неопределенности гидравлических сопротивлений; допустимое снижение общего водопотребления $Q_{\text{общ}}$ при авариях; допустимое снижение узловых расходов $Q_{\text{узл}i}$ при авариях; примерно равные диаметры магистральных участков.

Следует заметить, что на практике нет необходимости учитывать все

предложенные ограничения, так как это может привести к пустому множеству допустимых решений. Более конструктивный подход основан на задании 2...4 ограничений и рассмотрении нескольких решений, близких к оптимальному, среди которых выбирается то, которое в большей мере удовлетворяет незааявленным условиям.

Дополнительно в качестве исходных данных задают следующие: размер популяции; число пар родителей; число точек разбивки решения на подстроки при кроссвере; выбор родителей (смежные пары или случайные); вероятность мутации; число лучших особей, сохраняемых для анализа; максимальное число итераций; возможность оптимизировать только экономический показатель.

При запуске программы перечисленные величины заполнены рекомендуемыми значениями, определяемыми параметрами задачи (рис. 2).

Для сравнения двух решений необходимо преобразовать полученный вектор в число. Это можно сделать, выбрав в качестве показателя оптимальности минимальный компонент вектора с заданным весом (так как остальные приближения точнее):

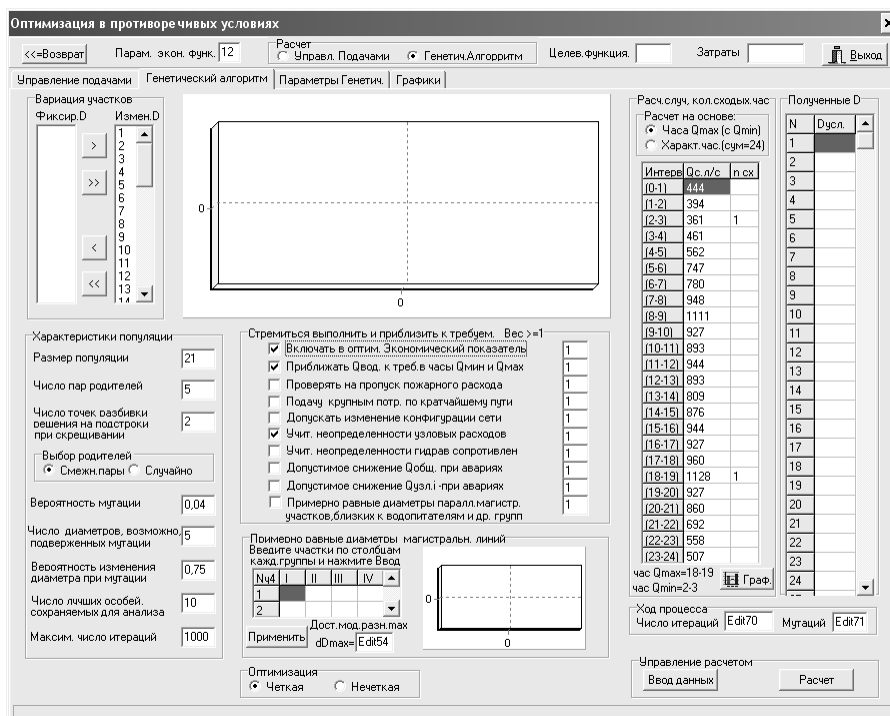


Рис. 2. Основное окно ввода данных

$$\mu_{\min} = \min \mu_{i,c_i}, \quad (1)$$

где c_i – коэффициент, учитывающий значимость ограничения, $c \geq 1$.

Тогда оптимальным будет решение (из k возможных), для которого этот минимум достигает максимального значения (принцип Беллман–Заде):

$$Z_{\max} = \mu_{\text{опт}} = \max_k \min_i \mu_{k_i} c_{k_i}. \quad (2)$$

Каждое допустимое решение однозначно определяется многомерным вектором своих параметров. Для скалярной характеристики особи можно принять

«расстояние» диаметров ее участков d_i от начального приближения d_{H1} :

$$d = \sqrt{(d_1 - d_{H1})^2 + \dots + (d_n - d_{Hn})^2}. \quad (3)$$

На рис. 4 приведены точки, показывающие оптимизационный процесс в координатах d, z . Особи, попавшие между горизонтальными прямыми, расстояние между которыми определяется экспертными оценками, образуют множество неразличимых решений.

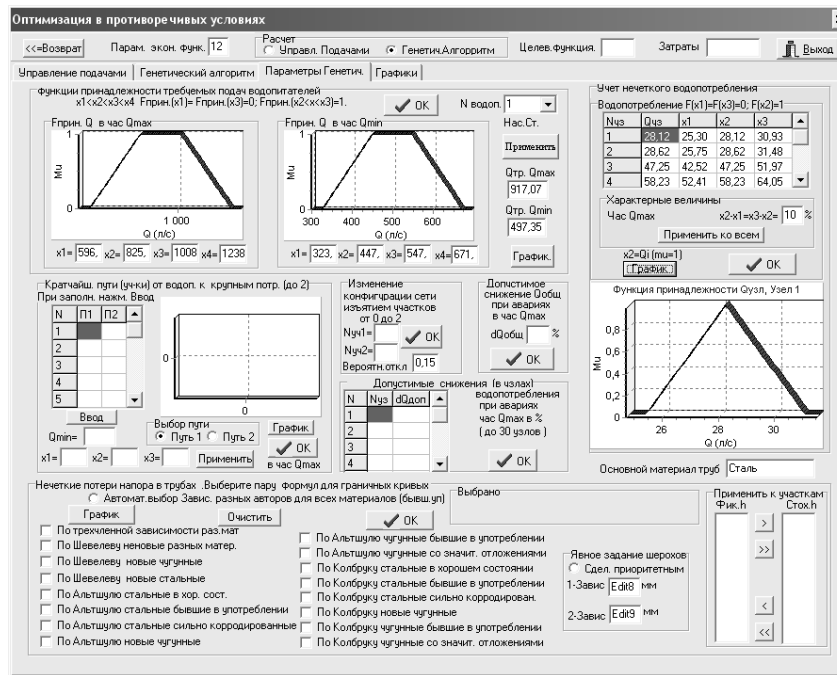


Рис. 3. Окно выбора параметров

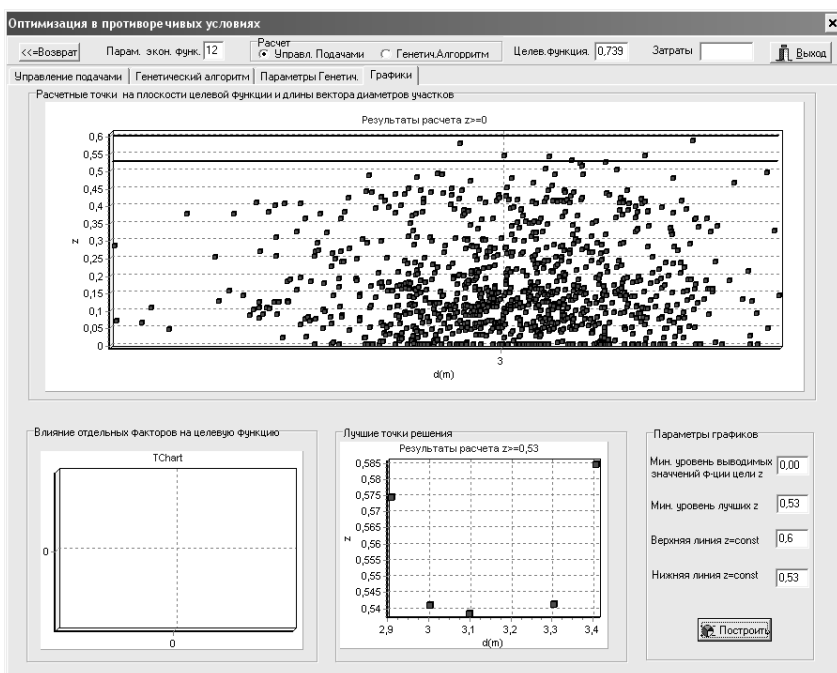


Рис. 4. Окно результатов расчета

В результате остается решение, в наибольшей степени удовлетворяющее всем поставленным условиям.

Рекомендуется сравнить несколько постановок задачи на основе «составления моделей».

Выводы

Для оптимизации систем подачи и распределения воды при многих, зачастую противоречивых условиях целесообразно использовать не сами ограничения, а их функции принадлежности.

Наиболее адекватным методом решения таких задач является генетический алгоритм.

Список литературы

1. **Карамбиров С. Н.** Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях многорежимности и неопределенности [Текст] / С. Н. Карамбиров : монография. – М. : МГУП, 2004. – 197 с.

2. **Карамбиров, С. Н.** Многорежимная стохастическая оптимизация систем подачи и распределения воды [Текст] / С. Н. Карамбиров, С. А. Трикозюк // Природообустройство : научно-практический журнал. – М., 2008. – № 5. – С. 63–69.

3. **Карамбиров С. Н., Манукьян Д. А.** Генетический алгоритм в сложных задачах оптимизации водохозяйственных сис-

тем [Текст] : доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 6. – С. 62–65.

4. **Карамбиров, С. Н.** Использование генетического алгоритма в нетрадиционных задачах теории подачи и распределения воды [Текст] / С. Н. Карамбиров // Водное хозяйство России. – 2006. – № 3. – Екатеринбург. – С. 65–73.

5. **Карамбиров, С. Н.** Решение задач подачи и распределения воды в водопроводных сетях при нечетких исходных данных [Текст] / С. Н. Карамбиров, А. М. Курганов, С. А. Трикозюк // Вестник гражданских инженеров : научно-технический журнал. – Санкт-Петербург. – 2007. – № 1 (10). – С. 68–71.

6. **Заде, Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к понятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М. : Мир, 1976.

7. **Корнеев, В. В.** Базы данных. Интеллектуальная обработка информации [Текст] / В. В. Корнеев, А. Ф. Гареев, С. В. Васютин, В. В. Райх. – М. : Издательство Нолидж, 2001. – 496 с.

Материал поступил в редакцию 12.10.09.

Карамбиров Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Вычислительная техника и прикладная математика»

Тел. 8 (499) 153-97-66

Трикозюк Сергей Алексеевич, аспирант кафедры

Тел. 8 (495) 976-49-39