

$W_{i,атм} \frac{P_{атм}}{P_{мин} + P_{атм}}$, т. е. меньше объема воздуха, соот-

ветствующего минимальному давлению, то ψ_{ij} вычисляется по формуле (5), так же вычисляются значения ϕ_{ij} , H_{ij} , ΔQ_{ij} , W_{ij} . Если при этом значение $H_{ij} - Z_i$ получается меньше $P_{мин}/\rho g$, это будет означать, что в расчетной точке происходит образование кавитационного разрыва сплошности потока. Поэтому $h_{ij} = H_{ij} - Z_i$ принимается в этих случаях равным $P_{мин}/\rho g$ и в соответствии с этим условием осуществляется расчет изменения объема разрыва сплошности потока. Таким образом, в следующий момент времени ($j + 1$) величина W_{ij+1} будет боль-

ше $W_{i,атм} \frac{P_{атм}}{P_{мин} + P_{атм}}$ и управление будет передавать-

ся к расчету образования кавитационного разрыва сплошности потока. В случае последующего умень-

шения величины W_{ij} ниже $W_{i,атм} \frac{P_{атм}}{P_{мин} + P_{атм}}$ вно-

вновь осуществляется расчет сжатия нерастворенного воздуха.

УДК 628.147:628.882:557.4

Л.Б. Бекешева

Московский государственный университет природообустройства

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ КАК МЕТОД СИНТЕЗА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

На практике достаточно часто встречаются задачи выбора параметров сложной системы, доставляющих оптимальное значение целевой функции (показателя эффективности функционирования системы). Такие задачи обычно сводятся к схеме математического программирования (линейного или нелинейного). Целевая функция и функции, описывающие ограничения, накладываемые на параметры системы, могут задаваться в произвольном виде: аналитическими выражениями, таблицами, моделирующими алгоритмами, полученными в ходе имитационного моделирования.

Оптимизация системы подачи и распределения воды (СПРВ) осложняется тем, что на участках могут быть уложены лишь трубы стандартного диаметра, а многие требования к системе плохо формализованы.

Универсальным методом оптимизации СПРВ мог бы быть полный перебор возможных диаметров труб для каждого участка. Однако, например, для сети из 50 участков и 5 сортаментов труб для каж-

Вывод

Разработанные дополнения к программе для расчета переходных процессов при наличии в транспортируемой по напорным трубопроводам значительного количества нерастворенного в воде воздуха дают возможность учитывать:

- изменение величины скорости распространения волн в трубопроводах;
- смягчающее действие нерастворенного воздуха на величину повышения деления.

Список литературы

1. Алышев В.М., Зубкова И.Г. Анализ формул для определения скорости распространения волны мгновенного гидравлического удара в двухфазном газожидкостном потоке // Гидравлика: сб. науч. тр. — М.: Московский гидромелиоративный институт, 1969. — С. 245–268.
2. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. — М.: Недра, 1975. — 296 с.
3. Дикаревский В.С. Скорости распространения волн гидравлического удара в водоводах // Водоснабжение и санитарная техника. — 1967. — № 2. — С. 17–19.
4. Картвелишвили Л.Н. Гидравлический удар: пути развития теории и принципы расчета. — М.: ЗАО «МЭЙН», 2001. — 32 с.

дого участка число вариантов перебора составляет $5^{50} \approx 10^{35}$, что совершенно не реально. Если же перебор всех вариантов за разумное время возможен, то найденное решение будет оптимальным.

Кроме того, для оптимизации кольцевых сетей необходимо оптимизировать потокораспределение. Однако, учитывая дополнительные условия, накладываемые на систему, можно получить решение, близкое к оптимальному.

В последнее время появился ряд принципиально новых алгоритмов оптимизации, подсмотренных у самой природы. К ним относятся генетические алгоритмы и нейронные сети.

По эволюционной теории каждый биологический объект развивается и изменяется с целью наилучшего приспособления к окружающей среде, что в определенном смысле является процессом оптимизации живых организмов.

Наиболее приспособленные особи получают возможность воспроизводить потомство с помощью перекрестного скрещивания — кроссвера

с другими особями популяции. Это приводит к появлению новых особей, которые наследуют от родителей некоторые их характеристики. После смены поколений приспособленность особей данного вида заметно возрастает. Кроме того, отдельные особи подвержены мутации.

Отмеченные особенности нашли применение в генетических алгоритмах. Генетические алгоритмы — адаптивные методы решения задач функциональной оптимизации по одному или нескольким критериям. Они основаны на генетических процессах биологических организмов: популяции развиваются в течение нескольких поколений, подчиняясь законам естественного отбора «выживает сильнейший». Они требуют содержательного наполнения для решения конкретной задачи. При этом сохраняется биологическая терминология в упрощенном виде.

Как правило, структура данных генетического алгоритма состоит из строки оптимизируемых переменных. Термин «строка» в контексте с методом заменяют термином «особь» или «хромосома», а ее элементы называют «генами». В системах ПРВ такая строка может состоять из диаметров труб, прокладываемых на каждом участке, и параметров водопитателей. При реконструкции отдельные гены в хромосоме фиксируются. Генетические алгоритмы работают с совокупностью «особей» — популяцией, каждая из которых является потенциальным решением задачи. Особи оцениваются мерой их «приспособленности», в задачах оптимизации таковой является значение целевой функции.

На первом этапе случайным образом генерируется начальная популяция из $n_{ген}$ особей (диаметров участков). Если после подбора водопитателей и проведения гидравлического расчета напоры отдельных водопитателей окажутся больше предельно допустимых значений по соображениям прочности и практической реализуемости, вариант (особь) выбраковывается как не жизнеспособный. Затем особи подвергаются кроссверу. Для оптимизации СПРВ хорошо зарекомендовали себя следующие варианты отбора родительских пар:

- особи скрещиваются случайным образом;
- выбираются наиболее приспособленные особи (с лучшими значениями целевой функции);
- производится кроссвер лучших и худших особей с целью обновления крови.

Отобранные пары подвергаются кроссверу с заданной вероятностью $P_{с_{ген}}$. Для оптимизации СПРВ наилучшим оказался вариант кроссвера, когда случайным образом выбирается число точек разрыва, генерируются соответствующие сегменты, а затем обмен генами (диаметрами) происходит с заданной вероятностью $P_{s_{ген}}$.

При оптимизации СПРВ механизм кроссвера имеет отмеченные выше особенности: не вся-

кая особь — потомок является жизнеспособной, а следовательно, не всякая пара родителей способна создать полноценное потомство. В противном случае происходит смена родителей. Процесс повторяется до формирования всех $2nr_{ген}$ потомков, где $nr_{ген}$ — число пар родителей. До или после кроссвера отдельные особи могут подвергаться мутации. Применительно к СПРВ эта операция сводится к изменению стандартных диаметров в отдельных позициях строки решения. Эта процедура характеризуется вероятностью мутации, случайным выбором числа изменяемых диаметров и вероятностью мутации отдельной позиции. После размножения популяция содержит $(n_{ген} + 2nr_{ген})$ особей. Для приведения ее к исходному размеру служит операция отбора. При оптимизации СПРВ хорошо зарекомендовал себя следующий вариант алгоритма. Особи сортируются в порядке убывания их приспособленности (целевой функции). Первые $ne_{ген}$ особей считаются «элитой» и переходят в новую популяцию. Из остальных членов популяции выбирается случайным образом $(n_{ген} - ne_{ген})$ особей, а остальные отбрасываются. После отбора к новой популяции опять применяются операции кроссвера и мутации, затем опять происходит отбор и т. д. Схема генетического алгоритма представлена на рис. 1 [1].

Практические задачи, как правило, многомерны и многомерны. Для них не существует универсальных методов эффективного поиска оптимальных решений. Комбинируя переборный и градиентный методы, можно получить решение, достаточно быстро приближающееся к оптимальному. Генетический алгоритм представляет собой именно такой комбинированный метод. Процедуры скрещивания и мутации в некотором смысле реализуют метод перебора, а отбор лучших решений — градиентный спуск. На рис. 2 [1] видно, что такое сочетание обеспечивает хорошую эффективность генетического алгоритма для любых типов оптимизационных задач.

Для возможности сравнения целевая функция и ограничения приводятся к безразмерному виду. В большинстве случаев ограничения противоречат друг другу.

Задача может быть решена, если отказаться от точного удовлетворения всем требованиям

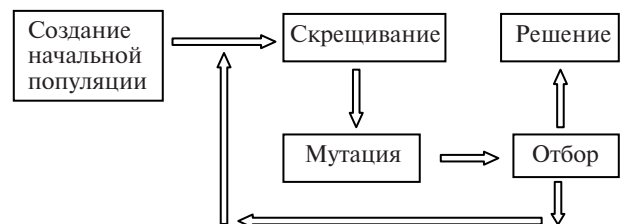


Рис. 1. Схема генетического алгоритма

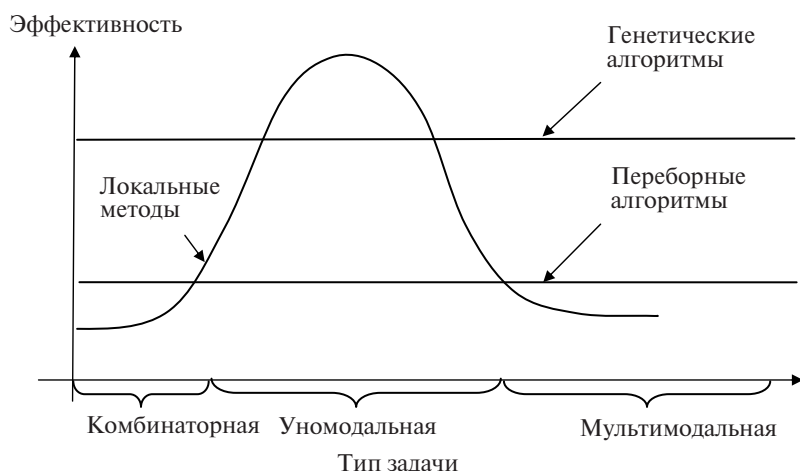


Рис. 2. Эффективность генетических алгоритмов

ям и стремиться к их выполнению приближенно [2–6]. Авторами использован метод, когда сначала намечаются наиболее «предпочтительные» для данной задачи значения и степени ухудшения решения при отклонениях от этих величин. В результате для каждого требования получаем функцию, которая в теории нечетких множеств называется функцией принадлежности $\mu(x) \leq 1$, которая обычно достигает максимума при требуемых значениях $x = x_{тр} (\mu(x_{тр}) = 1)$, а в других отличных от нуля точках изменяется по одному из заданных законов: линейно — треугольному, экспоненциальному, трапецеидальному, нормальному распределения, ступенчатому, в виде сопряженных отрезков парабол (р-функций) и т. д. [7–8]. Такие функции (в общем случае с весовыми коэффициентами) используются для выбора лучшего из двух сравниваемых значений параметра и мало зависят от выбора кривой. Носители функций принадлежности выбираются исходя из достигнутых в первом приближении значений параметров, возможных интервалов их изменения, а также на основе накопленного опыта и системы предпочтений лица, принимающего решение. Так, для экономического показателя z -интегральных дисконтированных затрат — аддитивной функции от числа расчетных случаев (1...24), приближающих график водопотребления, подобная функция может иметь следующий вид:

$$\mu(z) = \begin{cases} 1 - e^{\lambda(z/z_d-1)}, & z < z_d; \\ 0, & z \geq z_d, \end{cases} \quad (1)$$

где z_d — достигнутое в начальном приближении значение экономического фактора, параметр $\lambda = 10...12$ контролирует крутизну функции.

Так, задача на минимум превращается в задачу на максимум. Затем решается задача приближения расчетных переменных к требуемым. Оптимизация основывается на первом приближении — традиционном гидравлическом расчете, при котором

выбранные характеристики системы попадают в допустимую область. Далее стандартные диаметры участков и параметры водопитателей меняются генетическим алгоритмом так, чтобы удовлетворить необходимым требованиям и условиям [5]. При этом на каждом этапе решается задача синтеза трубопроводной системы, возможно с регулированием характеристик насосов.

Не все из требований нуждаются в построении функций принадлежности. Часть из них удовлетворяется на стадии формирования начального приближения. После проведения гидравлического расчета некоторые решения отбрасываются как недопустимые.

Кроме того, на конечной стадии расчета целесообразно рассматривать не единственное оптимальное решение, а множество близких по значениям целевой функции «неразличимых решений», из которых затем выбирается наиболее предпочтительное [6]. Для заданного набора независимых переменных получаем набор уровней принадлежности каждого контролируемого параметра соответствующего ограничения (m_1, m_2, \dots, m_n). Заметим, что в этот набор входят функции принадлежности основной оптимизируемой величины (затрат) и ограничений, которые при такой постановке оптимизации неразличимы. Для сравнения двух решений необходимо свернуть полученный вектор в число, выбрав в качестве показателя оптимальности минимальный компонент вектора (так как остальные приближения лучше):

$$m_{\min} = \min m_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Тогда оптимальным будет решение, для которого этот минимум достигает максимального значения (принцип Беллмана–Заде). В результате получается решение, достаточно близкое к требуемому.

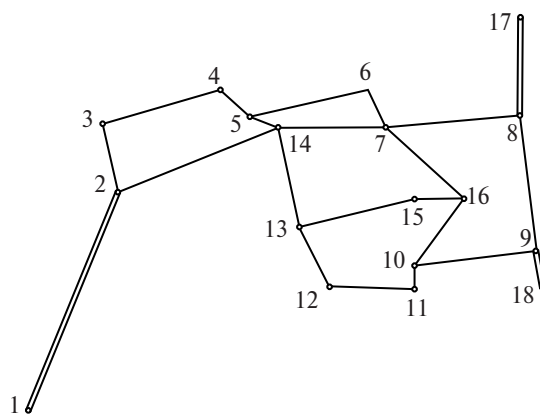


Рис. 3. План сети

Рассмотрим работу генетического алгоритма на примере сети, представленной на рис. 3. В узле 1 находится насосная станция, а в узле 17 — башня.

Выводы

1. При синтезе систем подачи и распределения воды хорошие результаты показали методы, сочетающие детерминированные и стохастические подходы, в частности генетический алгоритм.

2. Особенностью метода генетического алгоритма является полный синтез системы на каждом шаге оптимизации, что исключает процесс адаптации параметров системы к стандартным значениям.

3. Метод генетического алгоритма позволяет учесть дополнительные требования, предъявляемые к системе, т. е. является многокритериальным.

Список литературы

1. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB+Simulink Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. — М.: Солон-Пресс, 2006. — 456 с.
2. Карамбиров С.Н. Математическое моделирование систем подачи и распределения воды в условиях

многорежимности и неопределенности: монография. — М.: МГУП, 2004. — 198 с.

3. Карамбиров С.Н., Манукьян Д.А. Генетический алгоритм в сложных задачах оптимизации водохозяйственных систем // 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 // Водное хозяйство России. — 2006. — № 3. — С. 65–73.

5. Карамбиров С.Н., Курганов А.М., Трикозюк С.А. Решение задач подачи и распределения воды в водопроводных сетях при нечетких исходных данных // Вестник гражданских инженеров. — 2007. — № 1(10). — С. 68–71.

6. Карамбиров С.Н., Трикозюк С.А. Реализация генетического алгоритма для оптимизации водохозяйственных систем // Природообустройство. — 2009. — № 5. — С. 69–74.

7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 166 с.

8. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх. — М.: Нолидж, 2001. — 496 с.