УДК 622.451.
001.24

П.Н. Танцов

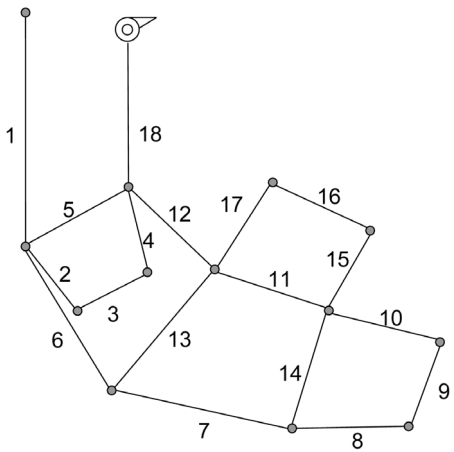
МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Представлен способ условной оптимизации шахтных вентиляционных сетей на основе мультиагентных методов поиска, включающий в себя возможность варьирования различных параметров выработок шахты, таких как аэродинамические сопротивления, напоры вентиляторов главного и местного проветривания, а также их расположение в шахте. Показаны основные математические идеи предлагаемого подхода. Представлены полученные результаты оптимизации для типового фрагмента шахтной вентиляционной сети.

Ключевые слова: шахтные вентиляционные сети, мультиагентные методы, оптимизация, алгоритмы оптимизации, аэродинамические сопротивления, шахтные вентиляторы, целевая функция.

Введение

Оптимизация шахтных вентиляционных сетей имеет большое значение для рентабельности предприятий. Существенную часть себестоимости угля образуют расходы на электроэнергию, главными потребителями которой являются венти-



Типовой фрагмент шахтной вентиляционной сети

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 3. С. 235–240.
© 2017. П.Н. Танцов.

ляторы главного и местного проветривания (ВГП и ВМП). На сегодняшний день многие угольные шахты не имеют возможности регулирования потребляемой мощности вентиляторов ввиду отсутствия возможности решения многопараметрической оптимизационной задачи.

В настоящей статье представлены основные идеи алгоритма оптимизации шахтных вентиляционных сетей. Алгоритм будет рассмотрен на типичном фрагменте вентиляционной сети шахты (рисунок).

Предложенный фрагмент шахтной сети состоит из 18 выработок и 13 узлов. ВГП располагается в 18 выработке, ВМП может быть установлен в одну из выработок.

Условия оптимизации

Целевой функцией F для оптимизации, как было указано выше, будем считать суммарную мощность ВГП и ВМП, прямо пропорциональную расходу электрической энергии:

$$F = H_{18}Q_{18} + H_iQ_i ,$$

где H_{18}, H_i – напоры ВГП и ВМП; Q_{18}, Q_i – расходы воздуха в соответствующих выработках; i – номер выработки, в которую установлен ВМП.

Целевая функция будет менять свое значение при изменении любых параметров шахтной вентиляционной сети. В данном случае, F является функцией 21 параметра:

$$F = (R_1, R_2, ..., R_{18}, H_{18}, H_i, i)$$

или

$$F = (x_1, x_2, ..., x_{21}).$$

Задача оптимизации состоит в поиске такого набора параметров $X = \{x_1, x_2, ..., x_{21}\}$, при котором функция F будет иметь глобальный минимум.

В качестве дополнительных условий оптимизации добавим следующие:

- ВМП может быть расположен в одной из следующих выработок: 4, 6, 7, 8, 10, 11, 15 или 16;
- $Q_3 \geq 10$ м^3/сек;
- $Q_9 \geq 11$ м^3/сек;
- $Q_{12} \geq 12$ м^3/сек.

Перечисленные условия, как правило, вытекают из необходимости соблюдения определенных правил безопасности. При невыполнении одного из этих условий на целевую функцию

налагается крупный штраф, что обеспечивает отбраковку заведомо неподходящих вариантов оптимизации.

Метод поиска оптимума

Сложность поставленной задачи заключается не только в количестве варьируемых параметров (21), но и в их диапазоне изменения, а также в различном влиянии на воздухораспределение. Поэтому классические математические методы для решения данной задачи практически не подходят.

В связи с этим выбор был сделан в пользу мультиагентных методов, основное преимущество которых состоит в том, что они позволяют задавать практически любой набор варьируемых параметров без необходимости их математического преобразования.

Существует множество модификаций мультиагентных методов [5–7]. Большинство из них отличается исключительно способами расчета целевой функции и определения поправки для варьируемых параметров на каждой итерации.

На первом этапе вычислений инициализируется N агентов, каждый из которых представляет собой набор значений из пространства решений $X_i = \{x_1, x_2, ..., x_{21}\}$. Параметр N выбирается в зависимости от сложности поставленной задачи, количества варьируемых параметров, а также вычислительных возможностей ЭВМ.

Для каждого из N агентов вычисляется целевая функция путем решения задачи расчета воздухораспределения с известными параметрами любым из известных методов [1–4].

Далее сравниваются целевые функции двух агентов F_i и F_j. Если $F_i < F_j$, то положение i-го агента в пространстве решений изменяется по следующему правилу:

$$x_k^{new} = x_k^{old} + e^{-\gamma r}(x_{k,i} - x_{k,j}) + \alpha S_k rand(-0,5 \div 0,5),$$

где k – номер варьируемого параметра; α, γ – параметры скорости обучения; $rand$(-0,5÷0,5) – случайное число из диапазона [-0,5...0,5] с равномерным распределением случайной величины; S_k – коэффициент масштабирования, отвечающий за корректную обработку варьируемых параметров с разным диапазоном изменения и порядком изменяемой величины.

Параметр $r = \sum_{k=1}^{21}\left(x_{k,i} - x_{k,j}\right)^2$ – расстояние между агентами в пространстве решений, представляющий собой «привлекательность» агентов друг к другу и определяющий направление их движения.

Результаты оптимизации

Итерация	1	10	20	30	40
R_1	0,75	0,71	0,68	0,69	0,68
R_2	0,38	0,71	0,70	0,71	0,70
R_3	0,28	0,41	0,42	0,41	0,40
R_4	0,15	0,36	0,36	0,37	0,38
R_5	0,43	0,50	0,49	0,48	0,51
R_6	0,14	0,28	0,27	0,27	0,27
R_7	0,44	0,27	0,27	0,28	0,27
R_8	0,54	0,12	0,11	0,10	0,09
R_9	0,59	0,15	0,15	0,15	0,09
R_{10}	0,46	0,22	0,20	0,19	0,20
R_{11}	0,28	0,75	0,75	0,75	0,70
R_{12}	0,26	0,17	0,15	0,15	0,14
R_{13}	0,57	0,44	0,44	0,44	0,43
R_{14}	0,29	0,38	0,41	0,41	0,39
R_{15}	0,31	0,65	0,64	0,64	0,64
R_{16}	0,47	0,80	0,80	0,80	0,78
R_{17}	0,58	0,41	0,40	0,40	0,36
R_{18}	0,58	0,15	0,14	0,14	0,16
H_1	2,47	52,4	21,4	15,6	0,78
H_i	10,8	5,00	9,18	3,76	8,34
i	8	16	16	10	16
F	520	462	151	90,9	28,1

После каждой итерации цикла сравнения целевых функций и настройки значений варьируемых параметров, целевые функции агентов пересчитываются с добавлением «штрафа» в случае, если дополнительные условия не выполняются. В результате Вычислений выбирается агент с наименьшим значением целевой функции.

Результаты расчета типового примера шахтной вентиляционной сети представлены в таблице. Сопротивления указаны в кМюргах, депрессии – в мм водного столба.

Результаты расчетов демонстрируют достаточно быструю сходимость при правильном выборе параметров оптимизации, и метод показывает свою состоятельность.

Применение

Реальные шахтные вентиляционные сети при оптимизации предложенным методом будут иметь сравнимое количество варьируемых параметров в связи с тем, что количество ВГП и ВМП в шахтах сильно ограничено, а также количество выработок, в которых возможно регулирование аэродинамического сопротивления, невелико.

В связи с этим возможно применение предложенного метода для многопараметрической оптимизации шахтных вентиляционных сетей, а именно:

- оптимизации расположения и напора ВГП и ВМП;
- оптимизация элементов шахтной вентиляционных сетей (сопротивлений выработок, расстановки перемычек);
- поиска возможных решений по ликвидации аварий, связанных с аэрологией.

Выводы

В данной работе представлен способ оптимизации шахтных вентиляционных сетей, позволяющий включать в набор варьируемых параметров как напоры вентиляторов и номера выработок их расположения, так и аэродинамические сопротивления выработок. Предложенный алгоритм мультиагентного поиска показал свою пригодность при заданном наборе варьируемых параметров и их количестве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шкундин С. З.*, *Петров А. Г.*, *Вановский В. В.*, *Танцов П. Н.* Динамический расчет шахтных вентиляционных сетей. – М.: МГГУ, 2013. – 8 с.: – Деп. в изд. «Горная книга» 11.06.13 № 978/09–13.

2. *Шкундин С. З.*, *Иванников А. Л.*, *Зинченко И. Н.* Расчет вентиляционных сетей угольных шахт методом межузловых депрессий // Уголь. – 2009. – № 1. – С. 35–37.

3. *Cross H.* Analysis of flow in networks of conduits or conductors. Urbana, Illinois: Eng. Exp. Station of Univ. of Illinois, 1936, November, Bull. № 286. 29 p.

4. *Абрамов Ф. А.*, *Тян Р. Б.*, *Потемкин В. Я.* Расчет вентиляционных сетей шахт и рудников. – М.: Недра, 1978. – 232 с.

5. *Карпенко А. П.* Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых малоизвестных алгоритмов // Информационные технологии. – 2012. – № 7. – С. 1–32

6. *Карпенко А. П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 446 с.

7. *Dorigo M.*, *Gambardella L. M.* Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1, 1. – P. 53–66. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Танцов Петр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, НИТУ «МИСИС», e-mail: ptantsov@gmail.com.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2017. No. 3, pp. 235–240.

UDC 622.451.001.24

P.N. Tantsov

MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF MINE VENTILATION NETWORKS

This paper presents a method of specified optimization of mine ventilation networks based on multi-agent search methods, which include the possibility of varying the different types of parameters of the mine workings, such as aerodynamic resistance, pressure of the main fan and local subsurface fans, as well as their location in the mine. The basic mathematical ideas of the proposed approach are presented. The optimization results for a typical fragment of mine ventilation network are presented.

Key words: mine ventilation networks, multi-agent methods, optimization, optimization algorithms, aerodynamic resistance, mine fans, target function.

AUTHOR

Tantsov P. N., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ptantsov@gmail.com.

REFERENCES

1. Shkundin S. Z., Petrov A. G., Vanovskiy V. V., Tantsov P. N. *Dinamicheskiy raschet shakhtnykh ventilyatsionnykh setey* (Dynamic analysis of mine ventilation networks), Moscow, MGGU, 2013, 8 p.: Deposited in Publishing house «Mining Book» 11.06.13 № 978/09-13.

2. Shkundin S. Z., Ivannikov A. L., Zinchenko I. N. *Ugol'*. 2009, no 1, pp. 35–37.

3. Cross H. *Analysis of flow in networks of conduits or conductors*. Urbana, Illinois: Eng. Exp. Station of Univ. of Illinois, 1936, November, Bull, no 286. 29 p.

4. Abramov F. A., Tyan R. B., Potemkin V. Ya. *Raschet ventilyatsionnykh setey shakht i rudnikov* (Design of mine ventilation networks), Moscow, Nedra, 1978, 232 p.

5. Karpenko A. P. *Informatsionnye tekhnologii*. 2012, no 7, pp. 1–32

6. Karpenko A. P. *Sovremennye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennye prirodoy* (Modern search optimization algorithms, Nature-inspired algorithms), Moscow, Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2014, 446 p.

7. Dorigo M., Gambardella L. M. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*. 1997. Vol. 1, 1. P. 53–66.