

Академик НАН Украины,  
д-р техн. наук, профессор А.Ф. Булат,  
кандидаты техн. наук Т.В. Бунько,  
И.Е. Кокоулин (ИГТМ НАН Украины)

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПОИСКА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

Наведено класифікацію невизначеностей параметрів, які використовуються під час проектування вентиляційних систем, методів проектування та інформації, яка отримується. Охарактеризовано зміни у процесі проектування, які виникають з метою врахування вказаних невизначеностей. Зроблено висновок про те, що наявність невизначеностей робить неможливою оптимізацію аеродинамічних параметрів шахтних вентиляційних систем лише з використанням строгих математичних методів та чіткої логіки, а необхідно забезпечити ефективну участь проєктувальника у отриманні проміжних рішень, а в окремих випадках – звертатися до методів експертних оцінок.

## **METHODOLOGY QUEST OF RATIONAL PARAMETERS OF MINE VENTILATION SYSTEM IN THE CONDITIONS OF NON-DEFINITION**

The classification non-definitions of parameters, which use in the time projecting of ventilation systems, methods of projecting and information, which receives, was bring. The changes in process of projecting, which arises with the object of consideration indicated non-definitions, was characterized. To make the conclusion, that existence of non-definitions make impossible optimization air-dynamical parameters of mine ventilation system only with use of strict mathematical methods and clear logic. To need provide the effective participation of designer in a receiving of results. In separate chances need to address for methods of expert valuations.

Задача поиска рациональных аэродинамических параметров шахтной вентиляционной системы (ШВС) при проектировании и перспективном планировании состоит в формировании ШВС, способной обеспечивать объекты проветривания необходимым количеством воздуха в течение проектируемого периода при минимуме суммарных приведенных затрат и соблюдении требований Правил безопасности [1].

В действующих в настоящее время методиках проектирования [2] рациональные аэродинамические параметры ШВС выбираются таким образом, чтобы обеспечить эффективное функционирование не отдельных ее элементов, а системы в целом. Следует отметить, что аэродинамические характеристики вентиляторов главного проветривания (ВГП), средств местного регулирования и режимы функционирования ШВС в процессе эксплуатации существенно отличаются от проектных, что приводит к недостаточной эффективности функционирования ШВС в условиях действующих шахт. Причиной отклонения принятых проектных решений от эксплуатационных характеристик, является присущая процессу проектирования неопределенность.

К причинам появления неопределенности можно отнести:

- значительное количество различных факторов, влияющих на показатели эффективности функционирования системы. Часть из них неизвестна проектировщику. При построении детерминированной модели проектируемой ШВС обычно

ограничиваются отбором наиболее существенных параметров, что приводит к округлению и упрощению математической модели;

- погрешности, возникающие при использовании упрощенных зависимостей модели;

- погрешности, возникающие при проведении воздушно-депресссионных съемок (ВДС), измерении аэродинамических параметров и т.д.

Причины возникновения неопределенности могут быть субъективными и объективными. Объективные причины тесно связаны с технологическими особенностями конкретной проектируемой ШВС. К объективным причинам появления неопределенности можно отнести изменение планов горных работ в процессе эксплуатации, связанное с ним изменение топологии и аэродинамических параметров ШВС, невозможность достаточно точного определения на стадии проектирования значений коэффициентов теплопроводности, теплоотдачи горных пород и геометрических характеристик горных выработок (их формы и размеров). К субъективным причинам можно отнести квалификацию специалистов, участвующих в технологическом процессе проектирования и эксплуатации ШВС, уровень их опыта работа и т.д..

Развитие современных информационных технологий в области расчета, проектирования и управления ШВС, средств используемой вычислительной техники приводят к необходимости и возможности учета больших объемов данных о технологическом процессе проветривания. При этом зачастую используются качественные понятия и описания с неопределенными или нечеткими границами изменения используемых параметров. Искусственное введение однозначности существенно округляет исходные данные, что в ряде случаев может приводить к получению однозначного, но неверного результата. Исследование и учет неоднозначности и неопределенности используемых параметров и отношений, описывающих вентиляционную систему угольной шахты и представляет собой одну из задач построения математической модели проектируемой ШВС.

На первой стадии математического моделирования ШВС (в задачах проектирования, выбора ее оптимальных параметров, описания процесса проветривания) необходимо определить, насколько однозначно определены параметры, используемые при математическом описании объекта моделирования. При этом необходимо определить, однозначно ли параметр определен или ему присуща некоторая неопределенность. Следует отметить, что неопределенными могут быть не только параметры, но и уравнения связи между ними.

В зависимости от *полноты описания* неопределенность можно дифференцировать на неизвестность, недостоверность и неоднозначность [3].

*Неизвестность*- это вид неопределенности, при которой информация, необходимая для математического моделирования процесса проветривания, полностью отсутствует.

*Недостоверность*- это вид неопределенности, которая для различных стадий подготовки информации для математического моделирования может классифицироваться как *неполнота*, *недостаточность*, *недоопределенность* и *неадекватность*. *Неполнота* характеризуется тем, что имеется не вся возможная информация. Примером неполноты информации может служить объективно существую-

шая невозможность получения в ходе ВДС значений аэродинамических параметров во всех элементах ШВС. *Недостаточность* - собрана не вся необходимая информация (например, при проведении частичной ВДС). *Недоопределенность* - для некоторых элементов ШВС определены не точные значения, а лишь множества, которым эти элементы принадлежат [4]; примером такого положения может служить задание на стадии проектирования значений геометрических характеристик элементов ШВС (например, площади поперечного сечения горных выработок) исходя из типового ряда сечений. Очевидно, в процессе реальной эксплуатации ШВС вследствие воздействия горно-геологических и горнотехнических факторов выработка деформируется и площадь поперечного сечения ее не соответствует проектному значению. *Неадекватность* - ряд элементов исследуемого объекта описан по аналогии с имеющимися описаниями подобных элементов, т.е. имеет место так называемое замещающее описание. Этот вид неопределенности появляется, например, в случае, когда при выборе схемы проветривания проектируемого выемочного участка в качестве аналога берется схема проветривания выемочного участка шахты, функционирующей в похожих условиях; естественно, адекватность получаемых решений будет весьма условной.

Дальнейший анализ неопределенности, учет новых факторов, определяющих исследуемое явление, может привести либо к устранению неопределенности, либо к его неоднозначности. *Неоднозначность* - это конечная (по полноте возможного описания) степень неопределенности, когда вся возможная информация собрана, но необходимая точность описания не получилась. Такая ситуация при проектировании проветривания горных предприятий присутствует практически всегда, и имеет смысл говорить лишь об оценке и повышении точности используемой математической модели, поскольку технологическая неопределенность связана с наличием нескольких возможностей, каждая из которых случайным образом может стать реальностью, либо с неточностью вычислений или измерений.

Поскольку цели исследования, проектирования и управления ШВС предполагают однозначное описание процесса проветривания угольной шахты, то предполагается, что связи между элементами сетевой модели являются однозначными. Однако свойства используемой исходной информации при решении технологических задач таковы, что для полного учета свойств изучаемого объекта можно использовать различные математические подходы к описанию неопределенности.

Математически неопределенность может быть описана стохастически, статистически, с позиций теории нечетких множеств, а также интервально.

*Стохастическое описание* используется тогда, когда неопределенные параметры имеют вероятностный (случайный) характер. При проектировании вентиляции такое описание не применяется, поскольку, как правило, закон распределения значений случайных параметров неизвестен.

*Статистическое описание* является, по существу, частным случаем стохастического описания. Эту форму описания применяют, когда заданы только выборочные оценки каких-либо характеристик случайной величины или наборы значений некоторых случайных параметров. Оно имеет место, например, при определении удельных аэродинамических сопротивлений горных выработок [5].

При описании с позиций *нечетких множеств* неопределенный параметр зада-

ется некоторым множеством возможных его значений, характеризующихся той или иной степенью принадлежности объекту (с помощью так называемой функции принадлежности), описываемому этим нечетким множеством [3]. Иными словами, в противовес четкому определению «принадлежит – не принадлежит», определяется частичная принадлежность (функция принадлежности принимает значения от 1, что соответствует полной принадлежности, до 0 – полной непринадлежности). В практике проектирования такое описание применяется для качественной характеристики состояния горной выработки; в наиболее простом случае таких значений внутри интервала определения функции принадлежности три, но может быть и больше, по мере усложнения модели и учета новых используемых параметров. Функция принадлежности в этом случае будет точечной или кусочно-непрерывной.

*Интервальное описание* можно использовать, когда неопределенные параметры заданы только диапазонами возможных значений (верхней и нижней границами), причем параметр может принимать любое значение внутри интервала и ему нельзя приписать никакой вероятностной меры. Примером может служить расчет потребного расхода воздуха, значения которого задаются в первом приближении некоторым интервалом значений, а в дальнейшем уточняются внутри этого интервала с учетом необходимости выполнения в процессе проектирования ряда дополнительных ограничений на другие оптимизируемые параметры.

Обеспечение требуемых расходов воздуха в объектах проветривания является обязательным условием эффективной эксплуатации вентиляционных систем. Погрешность детерминированных оптимизационных моделей ШВС при проектировании зависит собственно от погрешности принятой топологической модели и ее аэродинамических параметров, а также от погрешности задания условий ее работы.

Математическое решение задачи выбора оптимальных аэродинамических параметров проектируемой ШВС в условиях неопределенности исходных данных определяет некоторую область рациональных решений, а не один вариант. Однако такое решение задачи противоречит нормативным документам, принятым в отрасли, поскольку в состав проекта должна быть включена необходимая детерминированная количественная информация об объекте проектирования. Поэтому задачи выбора оптимальных параметров в условиях неопределенности исходных данных могут быть заменены детерминированными задачами, решаемыми оригинальными сетевыми методами оптимизации, разработанными в ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. При этом в качестве неопределенных исходных данных могут быть использованы их вероятностные характеристики.

Каждая проектная операция может быть охарактеризована перечнем параметров, математической моделью, описывающей взаимодействие параметров, и правилами их выбора. В первую группу исходных параметров при проектировании включаются однозначно определенные параметры элементов ШВС, т.е. физические законы движения воздуха в сети горных выработок и утечек, физические константы, требования нормативных документов [1,2], характеристики принятых и утвержденных к этому времени проектных решений. В этом случае можно говорить о полной определенности исходной информации.

Ко второй группе можно отнести параметры, в отношении которых проекти-

ровщик может указать лишь диапазон их возможных значений. При решении задачи оптимизации аэродинамических параметров ШВС в условиях неопределенности исходных данных следует различать два случая. В первом случае есть возможность уточнить исходные данные в процессе принятия проектных решений. Решение такой задачи относится к классу задач перспективного планирования вентиляции в изменяющихся условиях эксплуатации. Особенностью задачи перспективного планирования является то, что значительная часть ШВС существует, и ее аэродинамические параметры определены достаточно точно по результатам ВДС. Во втором случае отсутствует возможность уточнить данные в ходе процесса оптимизации аэродинамических параметров. К задачам такого класса относится оптимальное проектирование ШВС.

К третьей группе проектных параметров относятся те характеристики объекта (выходные данные проектирования), выбор конкретных значений которых и представляет собой конечную цель проектирования; эффективность полученного проектного решения оценивается по специальным критериям.

Таким образом, проектная операция по выбору оптимальных параметров ШВС представляет собой задачу принятия решений в условиях неопределенности исходных данных, которая включает следующие компоненты:

- множество неопределенностей, представляющих собой совокупность возможных значений параметров, описывающих условия эксплуатации ШВС;
- множество допустимых значений, описывающих возможные режимы функционирования ШВС;
- множество возможных значений показателей эффективности эксплуатации.

Если неопределенных исходных данных нет и используется один показатель эффективности, то задача проектирования вентиляционной сети становится детерминированной и решается методами, изложенными в [6-8].

При наличии неопределенных параметров первой группы и использовании единственного показателя эффективности различают два класса задач [9]:

- в числе исходных величин имеются детерминированные и случайные величины с известными вероятностными характеристиками (имеет место частичное стохастическое описание);
- в числе исходных данных имеются случайные величины, для которых вероятностные характеристики известны неточно или неизвестны (т.е. используются статистическое, интервальное описание или описание с позиции нечетких множеств).

Для оценки полученных оптимизационных проектных решений в условиях неопределенности исходных данных в настоящее время известно значительное количество критериев [10-13]. Однако невозможно сделать результат получения решения в условиях неопределенности исходных данных не зависящим от проектировщика. Зачастую практически и теоретически невозможно доказать, что одно решение лучше другого. Поэтому принцип поиска оптимального решения в условиях неопределенности исходных данных заменяется принципом поиска наиболее обоснованного решения [14].

Эффективная методика проектирования в частном случае, когда задача проектирования ШВС является детерминированной, позволяет определять единственное оптимальное решение. В случае, когда задача проектирования является мно-

гокритериальной и ведется в условиях неопределенности исходных данных, необходимо обеспечить участие проектировщика в процессе поиска решений и обеспечить тем самым однозначный выбор решения.

Следует отметить, что субъективность применяемых критериев оптимизации может быть устранена с помощью специальных методов экспертных оценок принимаемых проектных решений [5].

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Правила безопасности в угольных шахтах. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. Утверждены приказом Министерства труда и социальной политики Украины от 22.08.2000 № 215.- Киев, 2000.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Утверждено Приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда № 131 от 20.12.1993 ДНАОТ 1.1.30-6.09.93.- Киев, 1994.
3. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений// А.Н. Борисов, А.В. Алексеев, Г.В. Меркурьева и др.- М: Радио и связь, 1989, 263 с.
4. Нариньяни А.С. Недоопределенность в системе представления и обработки знаний// Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1986, № 5. С. 3-28.
5. К вопросу экспертной оценки вентиляционных систем при отсутствии полной информации об их состоянии/ А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, О.С. Торопчин, Ю.Д. Беликов// Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. тр./ Ин-т геотехн механики НАН Украины.- Днепропетровск, 2003.- вып. 46.- с. 3-9.
6. Т.В. Пономаренко. Метод оптимизации параметров шахтной вентиляционной сети с учетом развития горных работ. Техника и технология горного производства: Тезисы докл. молодых ученых и специалистов. - Днепропетровск: ДГУ, 1990. – С. 94-95.
7. Т.В. Пономаренко. Алгоритм снижения депрессии шахтной вентиляционной сети (ШВС) без расширения сечений выработок. Техника и технология горного производства: Сб. науч. трудов / ИГТМ НАНУ.- К: Наук. думка, 1993. - С.40-44.
8. В.Я. Потемкин. Т.В. Пономаренко. Компьютерная технология проектирования шахт и рудников в сложных горно-геологических условиях Материалы XVI Всемирного горного конгресса. - София, 1994. - С. 239-244
9. Математические методы исследования операций/ Ю.М. Ермолев, И.П. Ляшко, В.С. Михайлович и др.- Киев: Вища шк., 1979.- 51 с.
10. Основы исследования операций: В 3 т.- Мир, 1973.- Т.3.- 501 с.
11. Крамер Г. Математические методы статистики/ Пер. со 2-го англ. изд под ред. А.Н. Колмогорова.- М.: Мир, 1975.- 648 с.
12. Ланге О. Оптимальные решения.- М.: Прогресс, 1967.- 285 с.
13. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение.- М.: Наука, 1970.- 707 с.
14. А.Ф.Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин. Методология математического моделирования процессов управления шахтной вентиляционной системой в нормальном режиме функционирования и при возникновении экзогенного пожара. V Международная конференция по математическому моделированию (9-14 сентября 2002 г., г. Херсон).-Вестник Херсонского государственного университета. Вып. 2(15).-Херсон: ХГТУ, 2002.-С.99-103