

Е.И. Журавлев, Г.С. Федотов, С.С. Кубрин

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА РАБОТЫ ОЧИСТНОГО КОМПЛЕКСА НА ОСНОВЕ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Проведены анализ и прогнозирование параметров режима работы очистного комплекса на основе агентного моделирования представлены возможные подходы к решению задачи прогнозирования с помощью использования различных методов имитационного моделирования. Проведен анализ применимости различных подходов имитационного моделирования к ситуациям разного рода (штатные режимы работы и аварийные). Приведены примеры моделирования выбора режима работы очистного комплекса в зависимости от изменения количества влияющих факторов и их взаимовлияния на оценку зависимого параметра при изменяющихся горно-геологических условиях.

Ключевые слова: система анализа, прогнозирование, имитационное моделирование, программный инструментарий, агентное моделирование, механизированная крепь, добычной комбайн.

Проблема борьбы с различными проявлениями гео- и газодинамические явления [5], несмотря на многолетние исследования в этой области горных наук, остается по сей день очень актуальной для горнодобывающих предприятий. Количество динамических явлений значительно возрастает с интенсификацией горных работ и увеличением глубин разработки. Главной задачей всех систем геоинформационного мониторинга угледобывающих предприятий заключается в обеспечении безопасности работающих под землей и недопущением экономических потерь от материального ущерба от аварий. При помощи моделирования влияния внешних факторов на выбор режима работы технологического оборудования в добычном забое можно заблаговременно спрогнозировать ту или иную ситуацию при выборе неэффективного режима работы очистного комплекса и предотвратить ее.

При разработке систем мониторинга состояния массива горных пород главным фактором работоспособности в заданных ус-

ловиях является адекватность оценки прогнозных [1, 2, 8] и реальных величин опасности ведения горных работ. Чтобы оправдывать потраченные материальные и технологические ресурсы по поддержанию данных систем в работоспособности подобные системы для обеспечения максимального уровня эффективности. Разница между прогнозным состоянием и фактическим зарегистрированным показывает на сколько велика ошибка системы предсказания и необходимость дальнейшей корректировки модели, если заданный безопасный уровень ошибки был превышен.

Цель работы состоит в разработке и построении автоматизированной системы поддержки принятия решений, позволяющей путем моделирования функций объектов добычного забоя и их взаимоотношения между собой в периоды добычных и ремонтных смен, подобрать оптимальный режим работы очистного комплекса в зависимости от текущего задания на смену, влияния внешних факторов и энергетических затрат [6, 7].

Принцип выбора режима работы очистного комплекса в зависимости от входных параметров показан на рис. 1 [3, 4]. Модель выбора режима работы очистного комплекса строится из



Рис. 1. Классификация подходов выбора режима работы очистного комплекса

трех зависимостей: 1) использование регрессионных зависимостей, для определения логики на уровне множеств агентов; 2) формирование базы знаний агентов на основании интеллектуального анализа данных, для определения логики поведения отдельных агентов; 3) использование целевых функций для определения логики поведения агентов.

Модель смены режима работы очистного комплекса можно представить в виде продукционной системы: $PS = \langle R, B, I \rangle$, где R – множество режимов функционирования очистного комплекса; B – множество правил взаимодействия объектов в очистном забое; I – условие активизации выбранного режима.

Структура k -го правила $p_k, i = 1, K$ имеет форму

$$p_k : \text{if} (R_v \wedge \{q_j\}) \text{then} (R_m),$$

где R_v – текущий режим функционирования очистного комбайна; $q_j, j = 1, J$ – множество параметров, контролируемых в данном состоянии; R_m – новый режим функционирования очистного комбайна.

Представленные подходы к моделированию выбора режима работы очистного комплекса можно подразделить на 2 вида: первый – при большом количестве статистических данных и наличии устойчивых зависимостей между факторами влияния и конечными результатами, после работы системы продолжительный период времени; второй – при необходимости принятия решения при малом количестве подобных ситуаций произошедших ранее, т.е. в работе системы при аварийных и различных непредвиденных ситуациях. К первому виду подходов относятся использование регрессионные модели и модели с использованием баз знаний. Ко второму подходу относятся использование моделей на основе решения задач оптимизации, в которых целевой функцией обозначается поведение объектов модели очистного участка в различных ситуациях.

Регрессионные модели получили широкое распространение при моделировании системной динамики, прогнозировании временных рядов и нахождении причинно-следственной связи. Главным недостатком таких моделей считается невозможность точно соотнести изменение зависимого параметра модели от изменения воздействия конкретного входного влияющего фактора. В целом модели данного вида ценятся за максимальную эффективность при минимальных временных затратах, при нивелировании фактора наличия данных статистике по всем

возможным сочетаниям состояний объектов очистного участка смоделированных в системе.

В случае применения моделей, основанных на применении базы знаний об объектах строятся локальные модели, определяющие логику поведения отдельного объекта модели очистного участка. Такие модели основываются на предположении, что исследуемые объекты, имеющие одинаковые наборы характеристик, в одних и тех же условиях ведут себя сходным образом. Таким образом, вероятность принятия решения о смене режима работы очистного комбайна изменяется с изменением характеристик объектов, входящих в состав модели очистного участка и перераспределением влияния объектов друг на друга.

Модели такого вида позволяют учесть все особенности характеристик объектов входящих в наблюдаемый регион. К преимуществам можно отнести следующие утверждения: 1) появляются новые качества прогнозных данных по сравнению с регрессионными зависимостями, такие как динамика развития, может быть отслежена на уровне отдельных групп объектов, а не только на уровне всего массива; 2) появляются возможности использования исходных данных статистики за весь прошедший период, а не за несколько периодов (как при применении регрессионных моделей). При этом следует учитывать, что на подобные расчеты необходимо выделять значительно больше исходных данных для прогнозирования, т.е. необходима помимо статистики поведения отдельных объектов группы еще и статистика, показывающая различные сочетания отличительных признаков.

Недостаточное количество статистических данных о происходящих процессах внутри наблюдаемого объекта, а также составляющих очистного участка требует использование набора целевых функций для определения логики поведения объектов модели в различных ситуациях. Применение экспертных моделей, при определении логики производственных объектов, из-за отсутствия необходимого числа статистической информации, необходимой для формирования базы знаний и оценки последствий развития ситуаций в различных горно-геологических и внешних условиях.

Входными данными имитационной модели выбора параметров работы очистного комплекса в зависимости от изменения горно-геологических условий являются характеристики объектов, входящих в модель и их взаимоотношения между собой. К таким объектам относятся: механизированная крепь, забой-

ный конвейер, энергопоезд, параметры угольного пласта, система разработки пласта, очистной комплекс, насосная станция и маслососная станция (рис. 2). Каждый из объектов имеет свои характеристики и взаимосвязи с другими объектами очистного участка шахты. В качестве критериев классификации механизированных крепей по разным признакам различают: по способу взаимодействия с боковыми породами; по схеме передвижки секций; по наличию кинематических связей между элементами крепи и другими машинами комплекса. В зависимости от текущих горно-геологических условий передвижка механизированной крепи может осуществляться по следующим схемам: 1) фланговая схема, когда передвижка осуществляется поочередно вслед за подвиганием комбайна; 2) фронтальная схема – передвижка осуществляется одновременно по всей длине забоя; 3) групповая схема – передвижка секций в «шахматном» порядке, через одну. По кинематическим схемам механизированные крепи подразделяются на комплектные и агрегатные. Агрегатные крепи имеют силовые связи между собой и забойным конвейером, поэтому состояния этих объектов в модели расчета режима работы очистного комплекса функционально связаны. Режимы работы энергопоезда включают: рабочий, чрезвычайны. К параметрам маслостанции относятся режимы: напорный и сливной. Очистной комплекс может работать в режиме холостого хода и снятия стружки угля, с различными параметрами длительности и частоты технологических

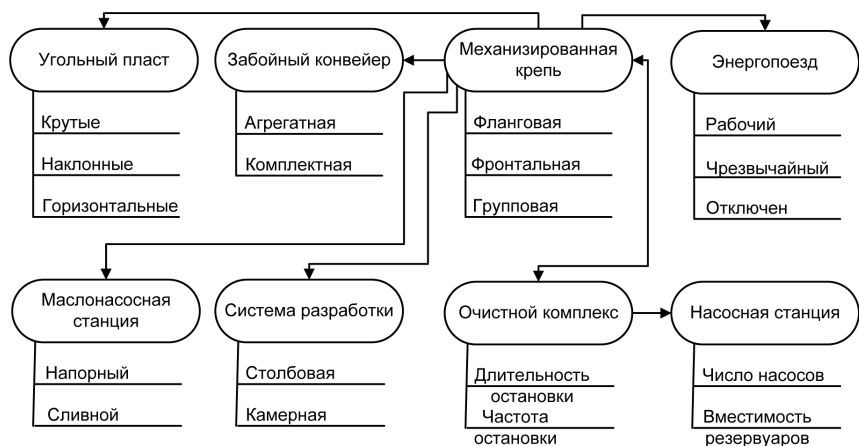


Рис. 2. Модель объектов и их взаимодействия в очистном участке

Процент ошибок объектов модели очистного комплекса

Название объекта	Модель работы очистного участка		
	10-ти мин.	часовой	сменный
Смена значения влияющего фактора раз в смену			
Наклон угольного пласта	0%	16%	90,2%
Система разработки	0%	33%	85,2%
Насосная станция	0%	50%	79,1%
Маслонасосная станция	0%	66%	81,5%
Очистной комплекс	0,07%	87%	85,2%
Забойный конвейер	0,46%	92%	93,9%
Механизированная крепь	2,77%	94,3%	97,6%
Энергопоезд	16%	95,2%	97,6%

или внезабойных остановок. Параметры насосной станции характеризуются числом насосов и размером резервуаров.

К входным параметрам горно-геологических условий относится система разработки угольного пласта, которая может быть как столбовая, так и камерная, а также угол залегания пласта: крутой, наклонный, горизонтальный. Данные параметры объектов очистного забоя связаны с параметрами установки механизированной крепи, в имитационной модели эти связи представляются в виде функциональных зависимостей параметров данных объектов.

Расчеты по допустимости результатов имитационного моделирования модели очистного забоя выполнялись на основе сопоставления периодичности изменения информации о характеристиках объектов, входящих в наблюдаемый участок. Так параметры, заложенные в сменное задание не могут меняться быстрее чем раз в смену. Система разработки и наклон угольного пласта принималась постоянной на все время работы имитационной системы, остальные же параметры могут изменяться дискретно в любой момент времени работы очистного участка. Сводная статистика ошибок вычисления анализа режимов работы объектов и взаимовлияния друг на друга представлены в таблице.

Выводы

Проведенный анализ на основе агентных моделей прогнозирования режимов работы очистного комплекса показывает, что

построенные модели абстрагируются от соответствия реальному объекту наблюдения. Таким образом, можно сделать вывод, что при прогнозировании режимов работы очистного комплекса необходим анализ всех влияющих факторов на моделируемый объект и учет взаимовлияния составляющих его объектов для прогноза развития ситуации влияния динамических явлений на безопасность ведения горных работ в очистном забое. Применения средств мультиагентного имитационного моделирования является целесообразным, так как многие задачи прогнозирования решаются только при детальном описании моделей поведения объектов на рассматриваемом участке шахтного поля, что достигается при использовании агентного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Тимченко Т. Н.* Системный анализ в управлении: Учебное пособие. — М.: ИД РИОР, 2013. — 161 с.
2. *Прогнозирование и планирование в условиях рынка: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. Т. Г. Морозовой, А. В. Пикулькина.* — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. — 279 с.
3. *Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата.* — М.: Изд-во Юрайт, 2014. — 389 с.
4. *Павловский Ю. Н., Белотелов Н. В., Бродский Ю. И.* Имитационное моделирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр «Академия», 2008. — 236 с.
5. *Зыков В. С.* Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. — Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2010. — 333 с.
6. *Шкуратник В. Л., Николенко П. В.,* Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород, Научно-образовательный курс. — М.: МГГУ, 2012.
7. *Городниченко В. И., Дмитриев А. П.,* Основы горного дела, Учебное пособие. — М.: изд-во «Горная книга», 2008. — 484 с.
8. *Журкин И. Г., Шайтура С. В.* Геоинформационные системы. — М.: Кудиц-пресс, 2009. — 272 с. **ГИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Журавлев Евгений Игоревич*¹ — аспирант,
e-mail: engene@mail.ru,

Федотов Григорий Сергеевич — аспирант,
e-mail: Grishatal@mail.ru,
НИТУ «МИСиС»,

*Кубрин Сергей Сергеевич*¹ — доктор технических наук,
профессор, зав. лабораторией,
e-mail: s_kubrin@mail.ru,

¹ ИПКОН РАН.

UDC
622.268.13:
622.281.5

E.I. Zhuravlev, G.S. Fedotov, S.S. Kubrin

ANALYSIS AND FORECASTING MODE SETTINGS OF COAL FACE SYSTEM BUILD ON COMPLEX AGENT-BASED MODELING

The article analysis and forecasting of regime parameters of sewage treatment complex based on agent-based modeling shows possible approaches to solving the problem of forecasting by using various methods of simulation. The applicability of different modeling approaches to situations of various kinds (normal operation and alarm). Examples of simulation mode of sewage treatment complex, depending on changes in the number of influencing factors, and their interaction on the dependent parameter estimation under varying geological conditions.

Key words: system analysis, forecasting, simulation, software tools, agent-based modeling, powered roof supports, mining combine.

AUTHORS

*Zhuravlev E.I.*¹, Graduate Student, e-mail: engene@mail.ru,
Fedotov G.S., Graduate Student, e-mail: Grishatal@mail.ru,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia,

*Kubrin S.S.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Laboratory, e-mail: s_kubrin@mail.ru,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Timchenko T.N. *Sistemnyy analiz v upravlenii*: Uchebnoe posobie (System analysis in management: Educational aid), Moscow, ID RIOR, 2013, 161 p.
2. *Prognozirovaniye i planirovaniye v usloviyakh rynka*: Uchebnoe posobie dlya vuzov. Pod red. T.G. Morozovoy, A.V. Pikul'kina. 2-e izd. (Forecasting and planning in the market environment: Higher educational aid. Morozova T.G., Pikul'kin A.V. (Eds.), 2nd edition), Moscow, YuNITI-DANA, 2003, 279 p.
3. *Imitatsionnoye modelirovaniye: uchebnyy i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata* (Simulation modeling: tutorial and workshop for undergraduate academic), Moscow, Izd-vo Yurayt, 2014, 389 p.
4. Pavlovskiy Yu. N., Belotelov N. V., Brodskiy Yu. I. *Imitatsionnoye modelirovaniye: uchebnoe posobie dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy* (Simulation modeling: Higher educational aid), Moscow, Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2008, 236 p.
5. Zykov V.S. *Vnezapnyye vybrosy uglya i gaza i drugie gazodinamicheskie yavleniya v shakhtakh* (Coal and gas outbursts and other gas-dynamic events in mines), Kemerovo, Institut uglya i uglekhimii SO RAN, 2010, 333 p.
6. Shkuratnik V.L., Nikolenko P.V. *Metody opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gornyykh porod*, Nauchno-obrazovatel'nyy kurs (Methods for determination of stress state of rocks, Scientific-educational course), Moscow, MGGU, 2012.
7. Gorodnichenko V.I., Dmitriev A. P. *Osnovy gornogo dela*, Uchebnoe posobie (Fundamentals of mining, Educational aid), Moscow, izd-vo «Gornaya kniga», 2008, 484 p.
8. Zhurkin I. G., Shaytura S. V. *Geoinformatsionnyye sistemy* (Geoinformation systems), Moscow, Kudits-press, 2009, 272 p.