

Р.К. Халкечев**РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Разработана архитектура специализированной системы автоматизации научных исследований в горной промышленности. Применение данной системы позволит существенно повысить производительность теоретического и экспериментального исследований, направленных на установление физических свойств различного типа геоматериалов.

Ключевые слова: автоматизированная система, научные исследования, элементарный объем, математическая модель.

Актуальность работы

Все возрастающие темпы добычи полезных ископаемых, истощение существующих месторождений и конкуренция на мировых минерально-сырьевых рынках требует разработки новых технологий рационального природопользования. Решение данной проблемы невозможно без проведения качественных и комплексных научных исследований, требующих взаимодействия большого коллектива ученых, инженеров, конструкторов со сложным дорожостоящим экспериментальным оборудованием. Для повышения эффективности работы такого взаимодействия традиционно используют автоматизированные системы научных исследований (АСНИ). В общем случае АСНИ, можно определить как программно-аппаратный комплекс, позволяющий получить новые знания об изучаемом объекте путем планирования, реализации, контроля и управления экспериментальными и теоретическими исследованиями.

Несмотря на повсеместное использование систем автоматизации основные трудоемкие задачи научных исследований в области горного производства (сбор, архивирование и обработка экспериментальных данных об объекте и/или процессе, проверка достовер-

ности полученных данных и др.) до сих пор выполняются вручную, либо с помощью пакетов приложений, не предназначенных для подобных целей.

В первую очередь это обусловлено тем, что в существующих АСНИ в качестве экспериментальных данных используются физические величины скалярного, реже векторного типа. В то же время большинство процессов и свойств объектов в горном производстве описываются тензорными характеристиками.

Кроме того, в существующих АСНИ разработка математических моделей исследуемых объектов производится на основе аппарата математической статистики (преимущественно используются такие статистические методы как регрессионный и факторный анализы). Однако при решении задач горного производства исследователям приходится иметь дело с таким классом изучаемых объектов, при математическом моделировании которых невозможно прямо указать фундаментальные законы или вариационные принципы, либо, с точки зрения наших сегодняшних знаний, вообще нет уверенности в существовании подобных законов, допускающих математическую формулировку. Такой класс объектов, согласно [1], принято называть

трудноформализуемыми. Очевидно, что в такой ситуации для построения адекватных математических моделей аппарата математической статистики явно недостаточно, и необходимы новые методы и средства моделирования.

В сложившейся ситуации особую актуальность приобретает разработка АСНИ физических процессов горного производства, лишенных выше обозначенных недостатков.

Цели и задачи АСНИ физических процессов горного производства

Как известно, каждое научное исследование в любой отрасли знаний, и горное дело в этом смысле не исключение, имеет уникальные особенности, отличающие их от других аналогичных исследований, а именно: постановкой задач исследований, методами проведения экспериментов и математического моделирования, используемым оборудованием и др. Несмотря на это, для исследований в области горного производства можно выделить ряд общих задач, с которыми сталкивается любой ученый и инженер. Одной из таких, наиболее распространенных задач, является определение физических свойств геоматериалов (минералов, горных пород, породных массивов и др.). Действительно, применение любой технологии добычи и обогащения полезных ископаемых приводит к изменению физических свойств геоматериалов и их последующему разрушению. В связи с этим сформулируем основную цель разрабатываемой АСНИ – повысить производительность теоретического и экспериментального исследований, направленных на установление физических свойств различного типа геоматериалов.

Обычно физические свойства геоматериалов изучают в опытах над макрообразцами. В связи с этим к свойствам геоматериала относят лишь те,

которые присущи всем образцам, изготовленным из исследуемого геоматериала. Образцы при этом обладают характеристическими признаками геоматериала, к которым относятся химический состав, технология изготовления, особенности структуры и другие. Вместе с тем результаты макроопытов иногда столь сложным образом зависят от геометрических размеров образца, способов обработки его поверхности и условий эксперимента, что выделить общее, присущее всем образцам, свойство геоматериала не удастся. В таком случае ставится под сомнение и возможность применения модели сплошной среды для исследования физических свойств таких геоматериалов. Это неразрешимая проблема проявлений масштабного эффекта.

Как правило, масштабный эффект проявляется в виде зависимости параметров физических свойств от размеров макрообразцов; испытания над образцами с разными геометрическими характеристиками, изготовленными из одного геоматериала, приводят к различным значениям параметров, характеризующих их физические свойства.

Но при этом установлено, что если объемы образцов некоторого геоматериала из исследуемой совокупности превышают или равны некоторой величине (которую принято называть элементарным объемом), то значения параметров, характеризующих физические свойства данных образцов, будут совпадать. Полученные таким образом физические свойства считают свойствами этого геоматериала.

Экспериментальное определение элементарного объема как минимум трудоемкий процесс, а в большинстве случаев для геоматериалов имеются принципиальные ограничения. Так для большинства геоматериалов размеры элементарного объема настолько велики, что их невозможно определить существующими экспери-

ментальными методами. В сложившейся ситуации разработка для каждого типа геоматериала теоретических методов определения характерного размера элементарного объема позволит существенно повысить производительность научных исследований в области горного производства. Одним из таких наиболее плодотворных методов является математическое моделирование, достигшее наибольших успехов при изучении объектов, для которых экспериментальное исследование занимает много времени и денежных средств, либо является опасным или попросту невозможным [1].

В тоже время существование для геоматериала элементарного объема, дает возможность описать физические свойства исследуемого объекта с помощью модели сплошной среды. Данное обстоятельство позволяет проблеме экспериментального определения физических свойств геоматериала решить с помощью методологии математического моделирования, позволяющей более экономно по затратам труда и средств, но с разумной точностью, провести качественный и количественный анализ изучаемых свойств.

Кроме того, следует особо отметить, что характерные размеры элементарного объема для каждого типа геоматериала индивидуальны и напрямую зависят от их структуры, которую невозможно получить без применения экспериментальных методов.

С учетом выше изложенного разрабатываемая АСНИ физических процессов горного производства должна решать следующие задачи:

1) посредством соответствующего технического обеспечения автоматизировать процесс получения экспериментальных данных о структуре исследуемого геоматериала;

2) на основе полученных данных, с помощью методологии математического моделирования установить, су-

ществует ли элементарный объем для изучаемого геоматериала;

3) в случае существования элементарного объема, посредством соответствующих математических моделей определить физические свойства рассматриваемого геоматериала, в противном случае – сообщить о невозможности установления физических свойств исследуемого объекта.

Для разрабатываемой АСНИ является целесообразным выделить следующие виды обеспечений: математическое, техническое, программное, информационное и организационное. В дальнейшем основное внимание будет уделяться первым трем видам обеспечений.

Математическое, программное и техническое обеспечения рассматриваемой АСНИ

В соответствии со сформулированными выше задачами АСНИ, математическое обеспечение разрабатываемой системы будет составлять две совокупности математических моделей.

Первую совокупность составляют математические модели структуры геоматериалов различного типа – минерала, минерала с газонаполненными (или наполненными жидкостью) порами, минерала с газонаполненными (или наполненными жидкостью) включениями, горная порода и породный массив. Все эти модели построены и подробно исследованы в работе [2].

Данные модели на основе экспериментальных данных о кристаллической структуре исследуемого геоматериала (в части размеров, формы и взаимного расположения зерен) позволяют установить факт существования или отсутствия элементарного объема для изучаемого объекта. В случае существования подобного объема, рассматриваемые модели определяют его величину.

Вторую совокупность моделей, входящих в математическое обеспечение

рассматриваемой АСНИ, составляют библиотеки математических моделей геоматериалов относительно различных физических свойств – деформационных, прочностных, тепловых, электрических, магнитных, волновых и др.

В научных исследованиях в области горного производства наиболее часто возникает задача определения деформационных свойств геоматериалов. По этой причине рассмотрим библиотеку математических моделей геоматериалов относительно деформационных свойств. Среди данной библиотеки особого внимания заслуживают мультифрактальные математические модели геоматериалов [3].

Они строятся посредством мультифрактального метода математического моделирования [3]. Он заключается в построении для исследуемого объекта модели, представляющей собой совокупность «вложенных» одна в другую математических моделей фрактальных сред. При этом свойства каждой последующей фрактальной среды основываются на свойствах предыдущей.

Архитектура программного обеспечения разрабатываемой АСНИ представлена на рис. 1.

В представленной архитектуре присутствуют пять подсистем и один пакет. Первая подсистема «ExperimentalUnitControl» отвечает за управление

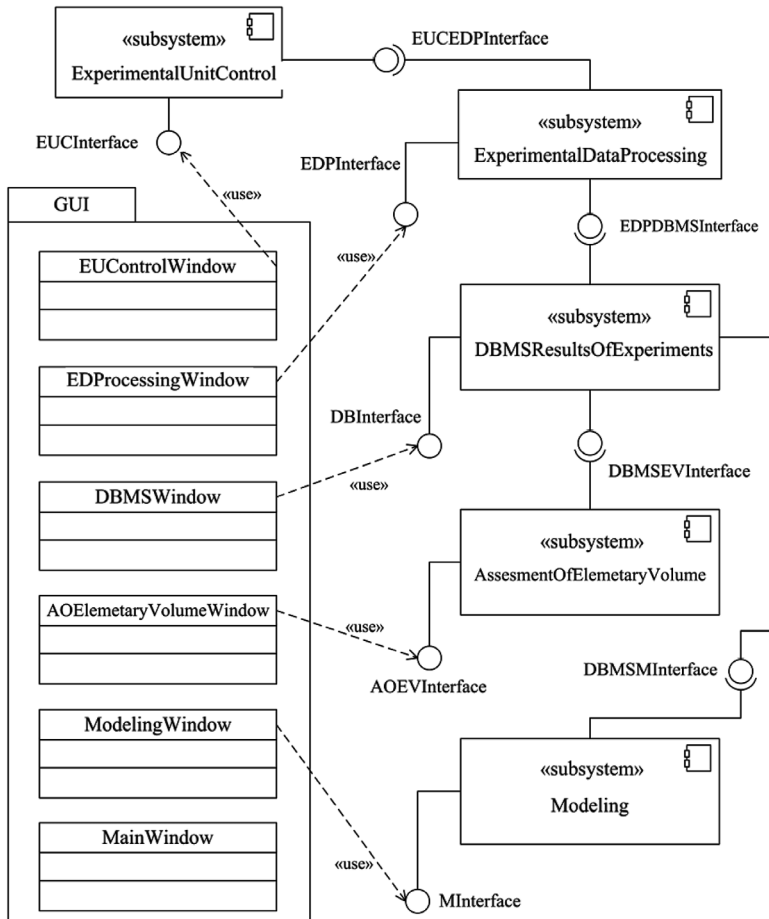


Рис. 1

экспериментальной установкой, включающей:

1) ленточный конвейер, посредством которого перемещается исследуемый геоматериал (в случае изучения породного массива, геоматериал представляет собой керн);

2) три (или более) электронных оптических микроскопа, закрепленных вблизи натяжного барабана ленточного конвейера, и получающих микрофотографии исследуемого геоматериала в трех плоскостях;

3) устройство распределения и управления электропитанием, позволяющее дистанционно включать и выключать ленточный конвейер.

Вторая подсистема «Experimental DataProcessing» предназначена для обработки микрофотографий, с целью получения значений параметров, описывающих структуру элементов (зерен, включений, блоков Вороного) геоматериала, и необходимых для определения элементарного объема исследуемого объекта посредством соответствующих математических моделей.

Полученные численные значения параметров структурных элементов геоматериала записываются в базу данных результатов эксперимента. Управление данной базой возложено на подсистему «DBMSResultsOfExperiments».

После обработки входных данных о структуре исследуемого геоматериала, управление передается следующей подсистеме – «AssessmentOfElementaryVol», которая посредством математических моделей структуры геоматериалов определяет существует ли элементарный объем для изучаемого объекта. В случае существования подобного объема, рассматриваемые модели определяют его величину. Полученные значения также записываются в базу данных результатов эксперимента.

Перейдем к последней подсистеме – «Modeling», одной из функций

которой является определение физических свойств исследуемого геоматериала. Эта подсистема является экспертной, и позволяет пользователю системы для целей конкретного научного исследования принимать решения о выборе наиболее подходящей модели из существующих в математическом обеспечении рассматриваемой АСНИ.

При этом правила, составляющие базу знаний данной экспертной подсистемы, основываются на границах адекватности используемых методов и моделей. Так, например, применение метода конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния геоматериалов, ограничено размерами элемента, равного элементарному объему изучаемого объекта. В таком случае если исследователя интересуют процессы, протекающие в структурных элементах геоматериала, элементарный объем которого достаточно велик, то применение метода конечных элементов и использующих его математических моделей не даст адекватных результатов.

Таким образом, за счет внедрения экспертной составляющей, подсистема «Modeling» помимо определения физических свойств исследуемого геоматериала может давать рекомендации и по поводу применения того или иного метода моделирования для построения новых математических моделей, используемых в дальнейших исследованиях (например, для разработки моделей разрушения геоматериалов).

Также, необходимо отметить, что взаимодействие пользователей с вышеописанными подсистемами осуществляется посредством пакета «GUI», включающего графические окна «EUControlWindow», «EDProcessing Window», «DBMSWindow», «AOElementary VolumeWindow», «ModelingWindow», «MainWindow».

В завершение приведем архитектуру технического обеспечения АСНИ

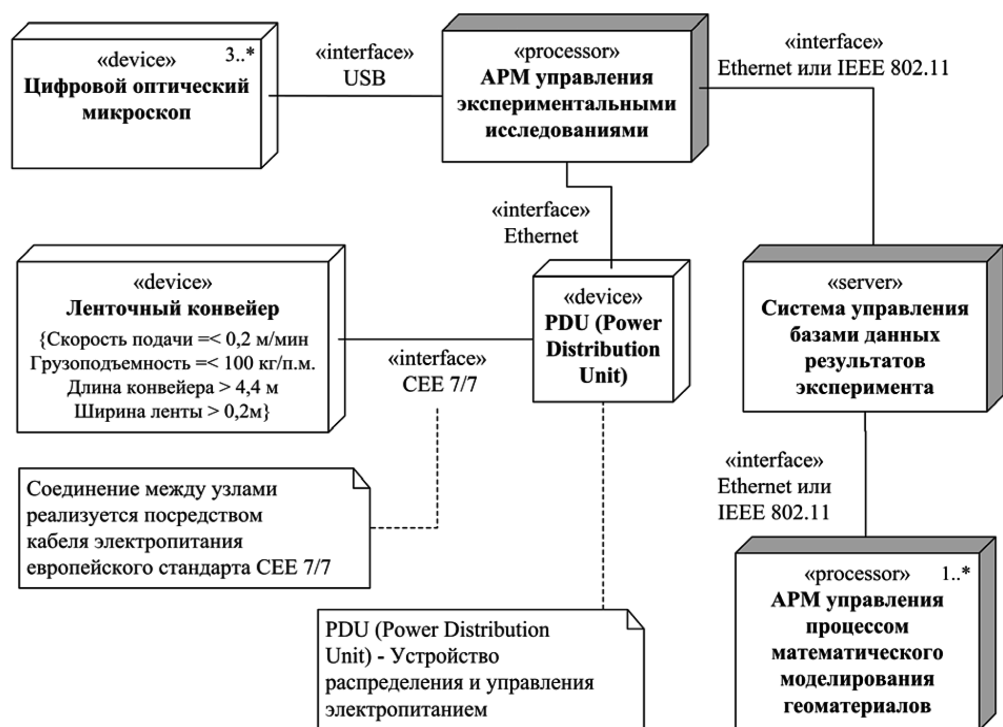


Рис. 2

физических процессов горного производства (рис. 2).

Выводы

Разработанная система является представителем нового поколения АСНИ. В предлагаемых системах, в отличие от существующих, творческий аспект выбора пользователем (ученым, инженером, конструктором и др.) соответствующей математической моде-

ли и метода дальнейшего теоретического исследования поддается частичной автоматизации. Реализация данной функции возможна за счет включения в архитектуру АСНИ экспертной подсистемы, база знаний которой основывается на правилах, определяющих границы адекватности используемых математических методов и моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. – М.: Наука, Физматлит, 1997. – 320 с.
2. Халкечев Р.К. Алгоритм определения элементарного объема горной породы / Математическое моделирование трудноформализуемых объектов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные

статьи (специальный выпуск). – 2012. № 7. – С. 12–16.

3. Халкечев Р.К. Теоретические основы мультифрактального моделирования трудноформализуемых объектов / Прикладная и промышленная математика // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельные статьи (специальный выпуск). – 2013. – № 9. – С. 8–16. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Халкечев Руслан Кемалович – кандидат физико-математических наук, доцент, e-mail: syrus@list.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

ARCHITECTURE DEVELOPMENT OF THE SCIENTIFIC RESEARCHES AUTOMATED SYSTEM OF MINING PHYSICAL PROCESSES

Khalkechev R.K., Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Assistant Professor, e-mail: syrus@list.ru,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

In the presented article specialized systems architecture of the scientific researches automation applied in mining industry are considered. Use of this system will allow to increase significantly productivity of the theoretical and experimental researches directed on establishment of physical properties of various type of geomaterials.

Key words: the automated system, scientific researches, elementary volume, mathematical model.

REFERENCES

1. Samarskii A.A., Mikhailov A.P. *Matematicheskoe modelirovanie* (Mathematical modeling), Moscow, Nauka, Fizmatlit, 1997. 320 c.
2. Khalkechev R.K. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. Special edition *Matematicheskoe modelirovanie trudnoformalizuemykh ob"ektov*. 2012, no 7, pp. 12–16.
3. Khalkechev R.K. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. Special edition *Prikladnaya i promyshlennaya matematika*. 2013, no 9, pp. 8–16.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

РАЗВИТИЕ НАУЧНЫХ ПОДХОДОВ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Агафонов Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор,
Беляев Вячеслав Вячеславович – аспирант, msmu-prpm.yandex.ru,
МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: msmu-prpm.yandex.ru.

В современных условиях функционирования шахтного фонда особую значимость приобретает задача обоснования рациональных и высокоэффективных проектных решений технологических систем угольных шахт, что напрямую связано с изменением и трансформацией технологий угледобычи. Данный аспект предполагает адаптацию методологической и методической базы проектирования с рядом новых технико-экономических аспектов, направленных на создание сбалансированной и высокоэффективной структуры шахтного фонда.

Ключевые слова: угольная шахта, технологическая система, теория графов, синтез, функциональная структура, проектные решения.

DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC APPROACHES TO THE JUSTIFICATION OF DESIGN DECISIONS AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF COAL MINES

Agafonov V.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
Belyaev V.V.¹, Graduate Student, e-mail: msmu-prpm@yandex.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

In modern conditions of functioning of the mining assets of particular significance is the problem of substantiation of rational and highly efficient design solutions and technological systems of coal mines, which is directly related to change and transformation technologies of coal mining. This aspect involves the adaptation of the methodological and methodical base design with a number of new technical and economic aspects, aimed at creating a balanced and highly effective patterns mining assets.

Key words: coal mine, a technological system, graph theory, synthesis, functional structure, design solutions.