

УДК 622.862.3: 622.831.312: 004.42

И.Н. Слащев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
А.И. Слащев, аспирант,
В.Г. Шевченко, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

**ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО
ПРОГНОЗА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ
ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТ**

I.M. Slashchov, канд. техн. наук, ст. науч. співр.,
A.I. Slashchov, аспірант,
V.G. Shevchenko, д-р техн. наук, ст. науч. співроб.
(ІГТМ НАН України)

**ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО
ПРОГНОЗУ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З БЕЗПЕКИ ШАХТ**

I.N. Slashchev, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,
A.I. Slashchev, M.S (Tech.), Doctoral Student,
V.G. Shevchenko, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM, NAS of Ukraine)

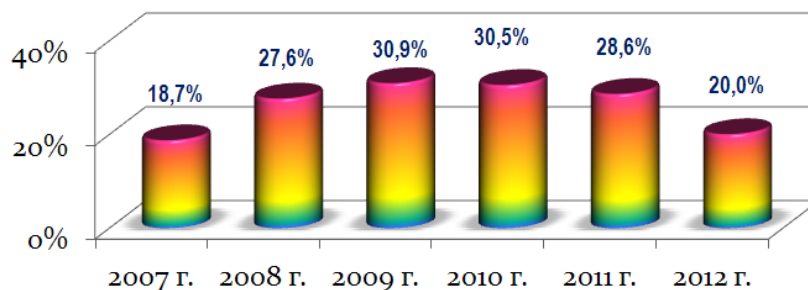
**OPTIMIZED INFORMATION SYSTEM FOR ON-LINE PREDICTING OF
GEOMECHANICAL PROCESS BEHAVIOR AND ENSURING PROPER
DECISION-MAKING ON THE MINE SAFETY**

Аннотация. В статье решена актуальная задача повышения быстродействия и эффективности работы информационной системы оперативного прогнозирования геомеханических и газодинамических процессов для обеспечения безопасности ведения подземных горных работ. С применением методов построения архитектуры проектов и программных моделей вычислительных и информационных процессов определены взаимосвязи между группами классов в объектно-ориентированной информационной системе, которые обеспечивают корректность выполнения алгоритмов и влияют на быстродействие системы. Дальнейшее развитие получил метод оценки вычислительной эффективности программных комплексов, отличающийся алгоритмом минимизации сумм отклонений метрик нестабильности и абстрактности Мартина по всем группам классов проекта. Исследованиями установлено, что время расчета в программах визуализации больших массивов данных снижается при увеличении центроостремительного сцепления взаимосвязанных групп классов и увеличивается при возрастании их абстрактности, что позволило за счет минимизации сумм отклонений метрик нестабильности и абстрактности Мартина по всем группам классов проекта получить наилучшую сбалансированность программного комплекса. Выполненные изменения исходного кода информационной системы позволили снизить отклонение параметров абстрактности и нестабильности от главной последовательности в среднем на 28 %. Новая архитектура проекта послужила основой информационной системы для поддержки принятия решений по безопасности шахт.

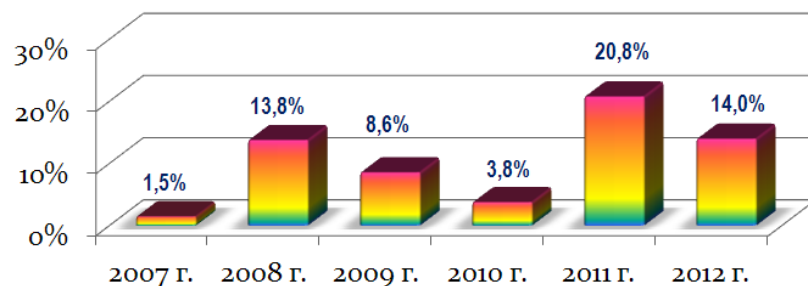
Ключевые слова: безопасность горных работ, моделирование, геомеханика, визуализация, оптимизация информационных систем, программная инженерия.

По прогнозам нефтяной компании British Petroleum энергетические запросы на уголь в мировом масштабе к 2030 году увеличатся на 39 % с темпами ежегодного роста 1,6 %, а нефть начнет терять свои позиции. Несмотря на то, что этот рост в основном коснется стран, не входящих в состав Международной экономической организации развитых стран OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), уголь в ближайшее десятилетие продолжит завоевывать новые позиции на энергетическом рынке. Украина на сегодняшний день отстает от большинства стран в объемах потребления угля, которое в перерасчете на одного жителя Украины меньше, чем в Германии в четыре раза, чем в Польше - более чем в три раза, в США и ЮАР - почти в два раза, в России - более чем в 1,5 раза [1, 2]. Эти тенденции стремительного роста энергопотребления требуют повышения эффективности добычи угля на шахтах Украины, которые, бесспорно, относятся к предприятиям с особо опасными условиями эксплуатации.

Высокая опасность шахт вызвана, прежде всего, объективными горно-геологическими факторами, так как добыча угля осуществляется на большой глубине (зачастую более 1000 метров) в условиях слабых обрушающихся и (или) выбросоопасных вмещающих пород, высокой газонасыщенности породного массива метаном и другими газами. Остаются высокими аварийность и травматизм от геомеханических и газодинамических факторов: внезапных обрушений и вывалов пород, горных ударов, выбросов породы и газа, взрывов газа и пыли, рис. 1, достигающий, в совокупности, 30-50 % от общего числа пострадавших [3]. Эти явления реализуются в виде неуправляемых деформаций породных массивов, разрушений крепи и завалов выработок.



а)



б)

- а – травматизм от вывалов и обрушений пород (геомеханические факторы);
 б – травматизм от внезапных выбросов и взрывов газа (газодинамические факторы).

Рисунок 1 – Статистика травматизма на угольных шахтах Украины

Одним из эффективных путей снижения аварийности и травматизма является оперативное прогнозирование условий отработки угольных пластов и оценка сценариев развития геомеханических и газодинамических процессов с применением современных информационных систем (ИС). В частности, прогнозирование длительной устойчивости выработок снижает вероятность обрушений пород за счет применения необходимых средств их охраны и поддержания; прогнозирование зон повышенной трещиноватости и ориентации в геопространстве магистральных трещин позволяет снизить риск внезапных проявлений горного давления и своевременно применить мероприятия по их предотвращению; прогноз миграции в породном массиве потоков свободного метана позволяет повысить эффективность дегазации путем корректировки параметров заложения дегазационных скважин; прогноз состояния водонасыщенного массива и водопритоков в горные выработки позволяет снизить риск от обрушений обводненных пород и затоплений выработок. Актуальной является задача обеспечения стабильной работы и повышения быстродействия информационных систем оперативного прогнозирования протекания геомеханических и газодинамических процессов для повышения надежности принимаемых решений по обеспечению безопасности на шахтах.

Информационная система «GEO-RS», разработанная в Институте геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, предназначена для моделирования геомеханических и газодинамических процессов в сложноструктурном породном массиве [4]. Система применяется для анализа устойчивости обнажений массива горных пород, оперативного прогноза геомеханических процессов, что, в свою очередь, является основой для принятия решений по обеспечению требуемой безопасности ведения горных работ по геомеханическому фактору. Архитектура ИС содержит основные структурные элементы и связанные между собой функции системы, рис. 2. Функционально модули программы разделены на группы. В первую группу входят алгоритмы защиты от несанкционированного доступа (рис. 2, блок 1). Система защищена паролем при входе в программу и выходе из ждущего режима компьютера. Вторая группа модулей (препроцессор) обеспечивает загрузку сохраненной или создание новой расчетной схемы в интерактивном режиме с формированием динамических массивов исходных данных для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) среды (рис. 2, блок 3). Модули препроцессора позволяют: на базе треугольных элементов формировать расчетные схемы породного массива с учетом его структуры и конфигурации выработок; вводить исходные прочностные и деформационные характеристики пород послойно и для каждого элемента в отдельности; в интерактивном режиме выполнять загрузку, корректировку и предварительный просмотр подготовленных расчетных схем.

В результате расчетов определяют узловые смещения и силы, значения осевых деформаций, главных и касательных напряжений для каждого элемента расчетной схемы. В каждом конкретном случае для более детальной характеристики НДС породного массива рассчитываются интегральные информативные

параметры: полные смещения узлов, ориентация площадок скольжения, площади зон неупругого деформирования и разрыва сплошности, концентрации и интенсивность изменения во времени главных напряжений, ориентация главных напряжений и деформаций и др.

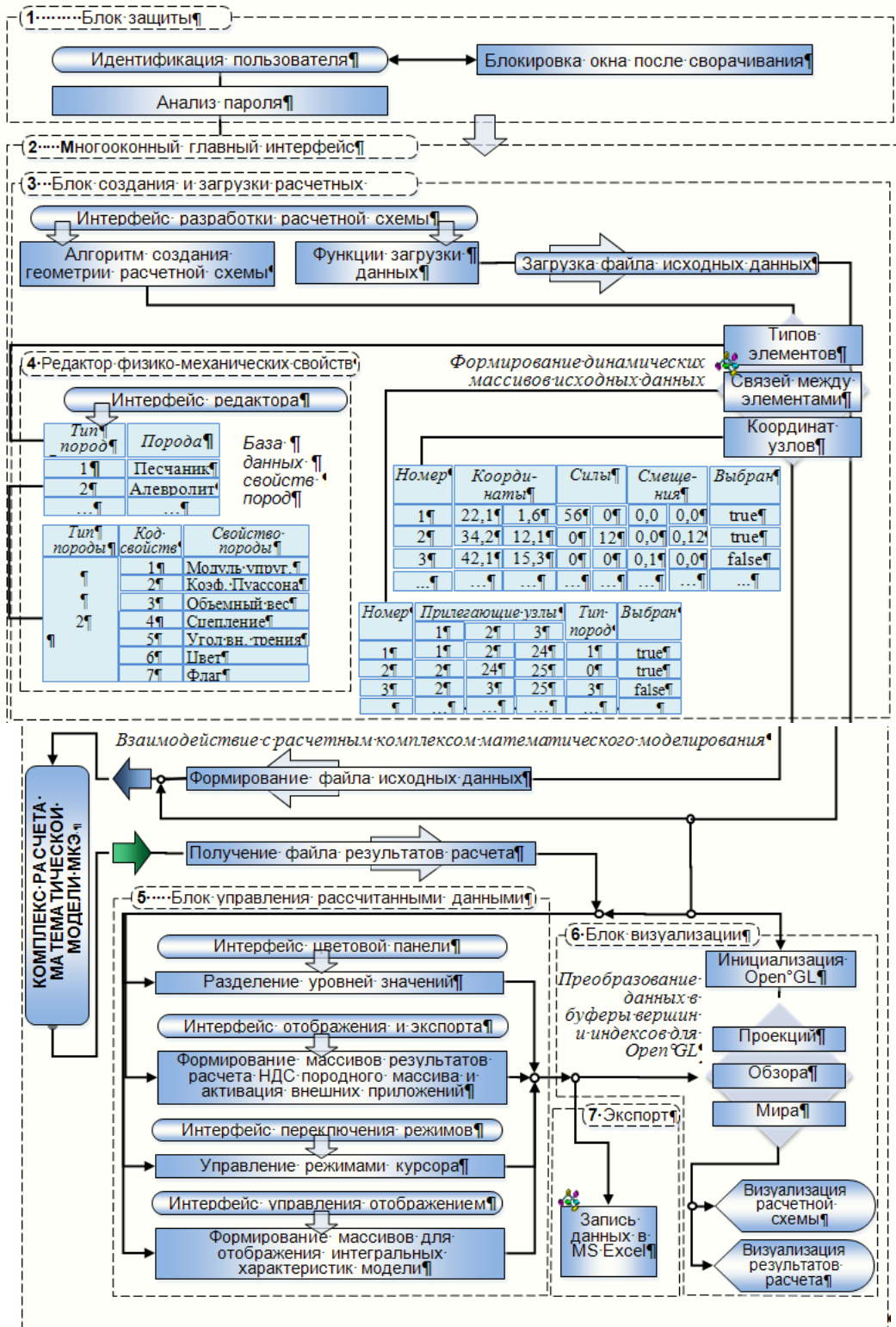


Рисунок 2 – Архитектура построения информационной системы

Модули третьей группы реализуют расчетный постпроцессор и служат для вычисления интегральных характеристик модели, а также графического анализа результатов расчета (рис. 2, блоки 5, 6). Программа визуализации в постпроцессоре обеспечивает наглядное представление данных в иллюстрациях и графиках, является необходимой для понимания научно-исследовательских разработок производителями. ИС реализует методы моделирования геомеханических и газодинамических процессов, технологии обработки, анализа и визуализации больших массивов данных.

Основные требования к технологиям представления больших массивов данных были сформулированы ведущими специалистами мира в документе DVC 1998 года (Data and Visualization Corridor). Термин «коридор» обозначает конкретную направленность развития обработки данных и визуализации на задачи полномасштабного моделирования процессов. При этом создание действующих систем моделирования рассматривается как комплексная проблема, решение которой будет оказывать самое серьезное воздействие на науку, промышленность, образование и социальную сферу.

Современные программы по оценке геомеханического состояния породного массива, представляют собой объектно-ориентированные ИС, включающие алгоритмы обработки больших массивов данных. Эти системы должны отвечать повышенным требованиям по производительности, иметь интерактивность и корректность представления данных (низкую погрешность вычислений), а также предоставлять инженеру инструменты для полноценного управления процессом моделирования. Вместе с тем, далеко не каждая ИС имеет возможность работать в системах оперативного прогноза вследствие их недостаточной производительности.

Оценку вычислительной эффективности ИС можно выполнить путем расчетов различных метрик, которые позволяют не только оценить реализацию того или иного оптимизационного решения, но и определить качество обработки больших и сложных функций, производительность и скорость работы ИС, в том числе ее интерактивность и возможности работы в режиме «реального времени».

В объектно-ориентированных метриках используется понятие «категория классов», которое определяет связь класса с работающей с ним в кооперации группой классов, от которых он не может быть отделен. Следовательно, для очередного использования одного из таких классов необходимо повторно использовать всю группу классов, так как в реальной программе изолированное повторное использование класса встречается крайне редко. Такая группа классов имеет сильную связь и называется «категорией классов».

В категории классов должны выполняться три условия. Во-первых, классы в пределах категории должны быть закрыты от любых попыток изменения. Это означает, что, если один класс должен измениться, все классы в этой категории с большой вероятностью изменятся. Если любой из классов открыт для некоторой разновидности изменений, они все открыты для такой разновидности изме-

нений. Во-вторых, классы в категории повторно используются только вместе. Они взаимозависимы и не могут быть отделены друг от друга. Таким образом, если делается любая попытка повторного использования одного класса в категории, все другие классы должны повторно использоваться вместе с ним. В-третьих, классы в категории выполняют некоторую общую функцию или достигают некоторой общей цели. Из объектно-ориентированных метрик рассмотрим подгруппу метрик Мартина [5] в которых выделим основные параметры.

Мерой качества программного обеспечения служит «связность» (cohesion) модулей программы. Если модули сильно связаны, то программа становится трудномодифицируемой, тяжелой в понимании, использовании и тестировании. То есть связность – это мера того, насколько сильно связаны между собой методы модуля ИС, которая зависит от количества используемых глобальных переменных, передаваемых параметров и др. Метрики LCOM и LCOM HS (Lack of cohesion in Methods) определяют недостаток сцепления методов:

$$LCOM = 1 - \frac{1}{M \times F} \sum_{i=0}^n MF, \quad (1)$$

$$LCOM HS = \frac{1}{M-1} \left(M - \frac{1}{F} \sum_{i=0}^n MF \right), \quad (2)$$

где M – количество методов в классе (статических и экземплярных конструкторов, геттеров и сеттеров свойств, методов добавления и удаления событий); F – количество экземплярных полей класса; MF – количество методов класса, имеющих доступ к определенному экземплярному полю; n – количество экземплярных полей класса.

LCOM принимает значения в диапазоне 0...1, LCOM HS в диапазоне 0...2. Если LCOM равен нулю, то у класса нет больше чем одной причины для изменений (сплоченный класс). Высокое значение LCOM определяет плохо сплоченный класс.

Сцепление (coupling) или «зависимость» – это мера того, насколько класс сфокусирован на своих задачах и зависит от других классов

$$C = r_t \left(\sum_{i=1}^n r_i \right), \quad (3)$$

где r_i – количество ссылок на класс, где ссылка – это поле, локальная переменная, возвращаемый тип или параметр метода; r_t – количество ссылок на класс, участвующий в подсчете метрики; n – количество классов.

Связность и сцепление – это объективные величины, которые для каждой ИС имеют свои параметры. На рис. 3 показаны типы связности классов, которые помогают оптимизировать модули ИС.

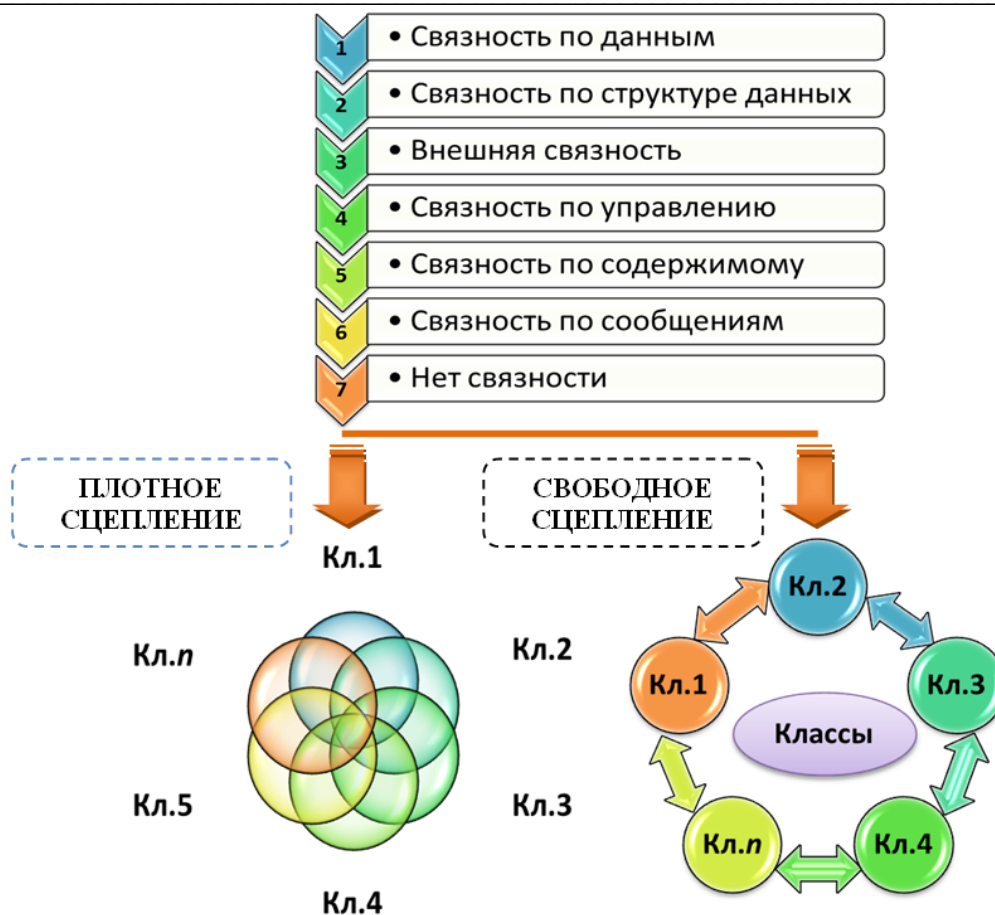


Рисунок 3 – Типы сцепления в группе классов

Следующим важным параметром является «нестабильность» (instability), который определяет степень зависимости классов друг от друга в пределах модуля:

$$I = \frac{C_e}{C_a + C_e}, \quad (4)$$

где C_e – центростремительное сцепление, определяющее количество классов вне исследуемой категории, зависящее от классов внутри этой категории; C_a – центробежное сцепление, определяющее количество классов внутри исследуемой категории, зависящее от классов вне этой категории.

Эта метрика имеет диапазон значений $0 \dots 1$. Если $I=0$, то это указывает на максимально стабильную категорию. Если $I=1$, то это указывает на максимально нестабильную категорию.

При применении объектно-ориентированного подхода к программированию нам необходимо определять метрику, которая измеряет «абстрактность» категории классов, так как, исследуя абстрактность, мы можем определить возможности дальнейшего расширения приложения. Если категория абстрактна, то она достаточно гибкая и может быть легко расширена. Абстрактность определяется из выражения:

$$A = nA / nAll, \quad (5)$$

где nA – количество абстрактных классов в категории; $nAll$ – общее количество классов в категории.

Значения этой метрики изменяются в диапазоне $0 \dots 1$. При этом, если $A=0$, то категория полностью конкретна, а если $A=1$, то категория полностью абстрактна.

Для автоматизации процесса анализа исходного кода приложений и расчета метрик разработана специализированная программа, которая реализует методику подсчета параметров эффективности ИС, рис. 4.



Рисунок 4 – Структурная схема методики для оценки эффективности информационных систем

В результате разработки и тестирования системы анализа качества исходного программного кода ИС были выполнены следующие задачи:

- исследованы метрики качества исходного кода Мартина, а именно связность, сцепление и нестабильность;
- разработан алгоритм подсчета значений метрик;

- разработана экспертная система по выдаче текстовых рекомендаций на основе полученных значений метрик;
- выработаны рекомендации для метрик связности, сцепления и неустойчивости;
- реализован прототип приложения для анализа исходного кода с использованием метрик.

Программу можно использовать для изучения и анализа сложных проектов, в частности, расчета метрик программного обеспечения: количества классов, абстрактных классов и интерфейсов, центростремительного сцепления, центробежного сцепления, абстрактности, неустойчивости, а также наглядного отображения структуры исходного кода программ (пакетов, классов, интерфейсов, взаимосвязей объектов в ИС).

Исследование эффективности работы и оптимизация модулей в информационной системе «GEO-RS» было начато с выделения категорий классов проекта. Для подсчета метрик независимости и неустойчивости категорий подсчитывались связи, которые взаимодействуют с каждой категорией. Принцип единственной ответственности (*single responsibility principle*) предполагает, что в лучшем случае класс должен иметь лишь одну возможную причину для изменений [6]. Если класс может быть изменен по нескольким причинам, то для оптимизации кода его необходимо разделить на отдельные классы, поскольку изменения могут повлиять на его функциональность.

Влияние абстрактности на потенциал расширения программы и повышение ее функциональности проведено путем увеличения абстрактности за счет создания из основного класса *Geomechanics* двух взаимосвязанных классов *Geomechanics* и *GeomechanicsRect*. Функционально первый класс обрабатывает массивы данных о координатах вершин элементов, их связях и физико-механических свойствах моделируемых пород. Второй класс формирует сетку конечных элементов и отвечает за работу редактора. Повышение абстрактности группы классов информационной системы привело к увеличению метрики Мартина и функциональности приложения, рис. 5. Возрос потенциал расширения программы, появились новые возможности: добавления автогенерации сетки по заданным ограниченными контурами, создания сеток других типов и переразбивки расчетной схемы при моделировании геомеханических процессов. То есть можно сделать вывод, что есть прямая связь между абстрактностью системы и увеличением потенциальной функциональности ИС.

В случае, если отсутствуют указатели на функции с контролем параметров, то для их вызова из многих мест программы используют анонимный класс *Listener*, который исполняет код в зависимости от события. С его помощью исследовано влияние абстрактных классов на интерактивность программы визуализации и функциональность всей информационной системы. Например, при выделении области в геомеханической расчетной схеме редактор должен обновить две таблицы и миниатюру, рис. 6.

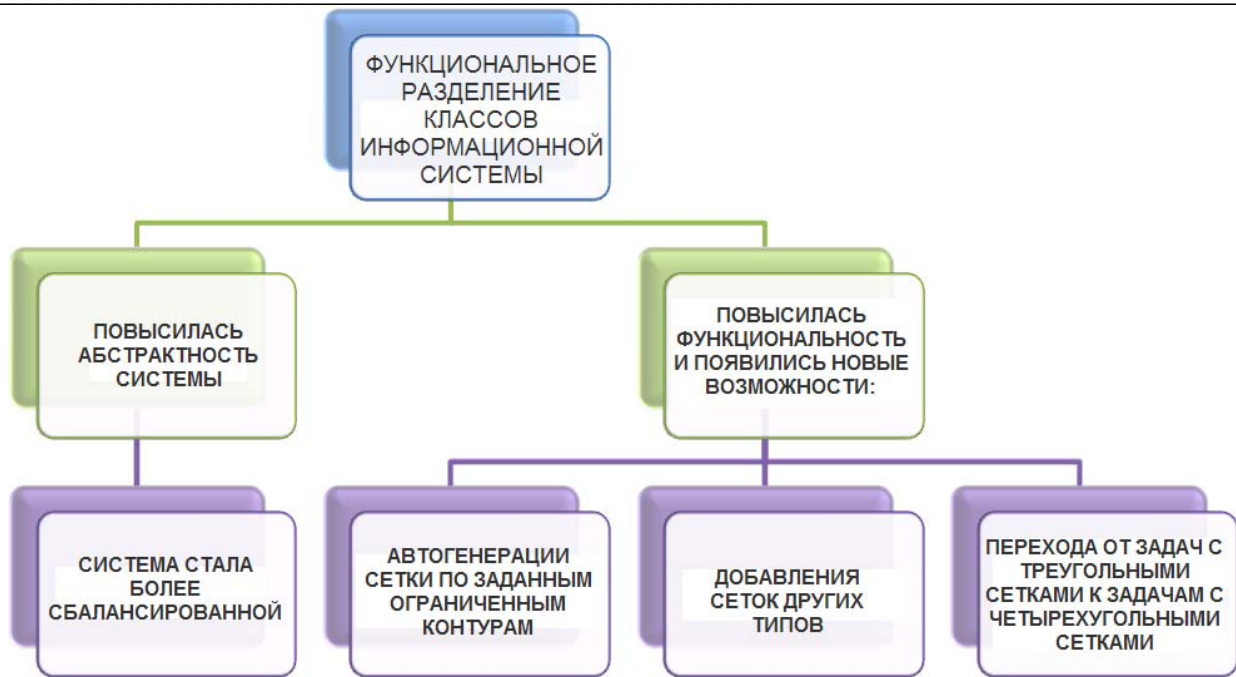


Рисунок 5 – Повышение абстрактности группы классов и функциональности информационной системы «GEO-RS» при разделении класса Geomechanics на два класса

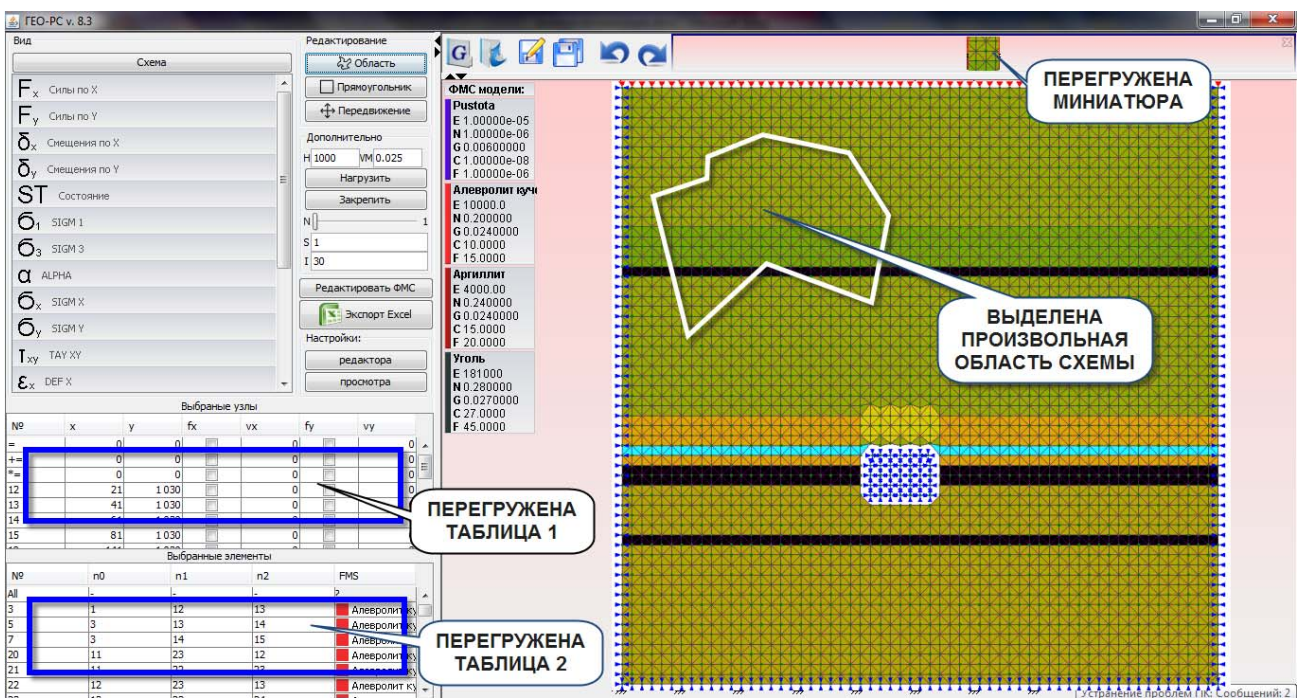


Рисунок 6 – Влияние абстрактных классов на интерактивность системы визуализации (показана взаимосвязь выделения экранной области с перегрузкой таблиц и миниатюры)

Будем рассчитывать нестабильность и абстрактность категорий классов. Если мы возьмем пакеты как категории классов, то общая нестабильность и абстрактность всей информационной системы составит $I=0,89999$ и $A=0,20313$ соответственно. Полученный уровень нестабильности обусловлен тем, что систе-

ма использует интерфейс, который поддерживает много связей между классами проекта, рис. 7. Для оптимизации ИС и снижения нестабильности были созданы два промежуточных класса *Panel* и *Dialog*. В результате этого нестабильность проекта была снижена до $I=0,85715$.

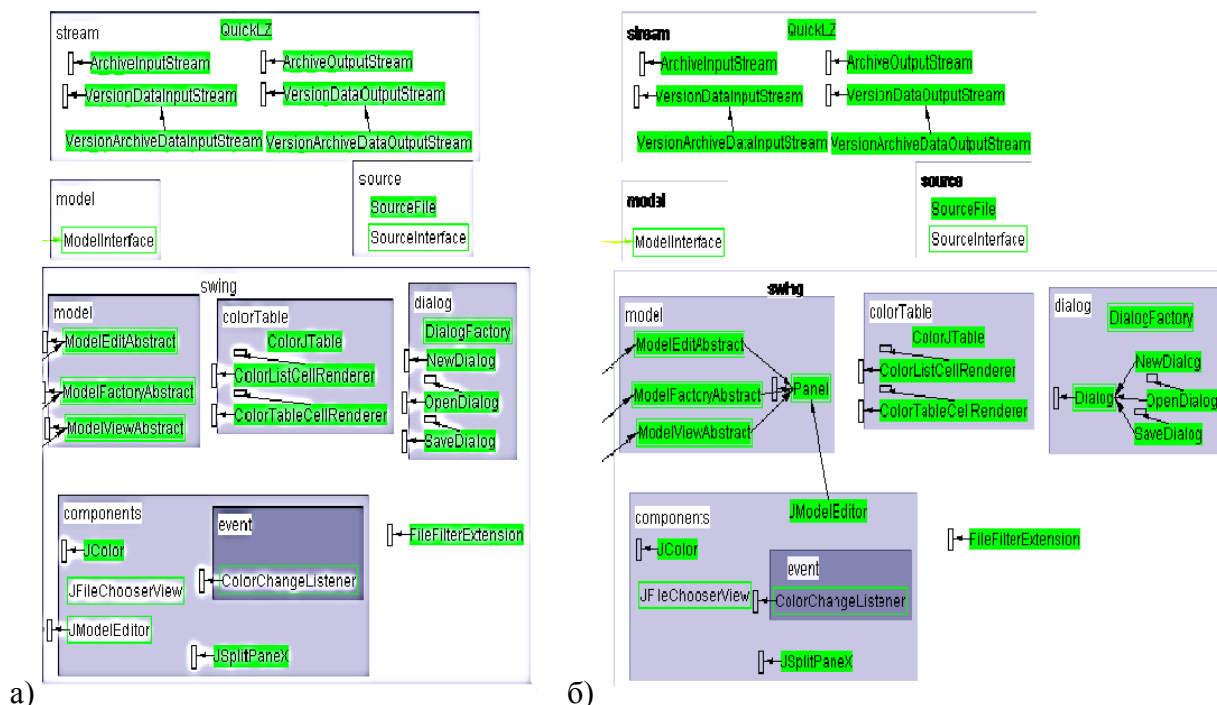


Рисунок 7 – Анализ изменений структуры и сбалансированности программного комплекса до (а) и после (б) оптимизации исходного программного кода (показан фрагмент системы)

На основе метрик Мартина построим график, на котором отразим зависимость между абстрактностью и нестабильностью каждой категории классов системы и прямую $I+A=1$, называемую главной последовательностью. Следует отметить важную характеристику главной последовательности – на этой прямой будут лежать категории, имеющие наилучшую сбалансированность между абстрактностью и нестабильностью групп классов проекта. Поэтому информационная система, у которой все группы классов лежат на главной последовательности может считаться оптимально сбалансированной. Конечно, реальный проект такими свойствами не обладает. Вместе с тем, мы можем путем перестройки структуры ИС добиться максимального приближения групп классов к главной последовательности. Для этого введем еще две метрики, которые будут отражать:

- расстояние до главной последовательности

$$D = \left| \frac{A + I - 1}{\sqrt{2}} \right| ; \tag{6}$$

- нормализованное расстояние до главной последовательности

$$Dn = |A + I - 2| \quad (7)$$

Рассмотрим главную последовательность нашей системы, рис.8.

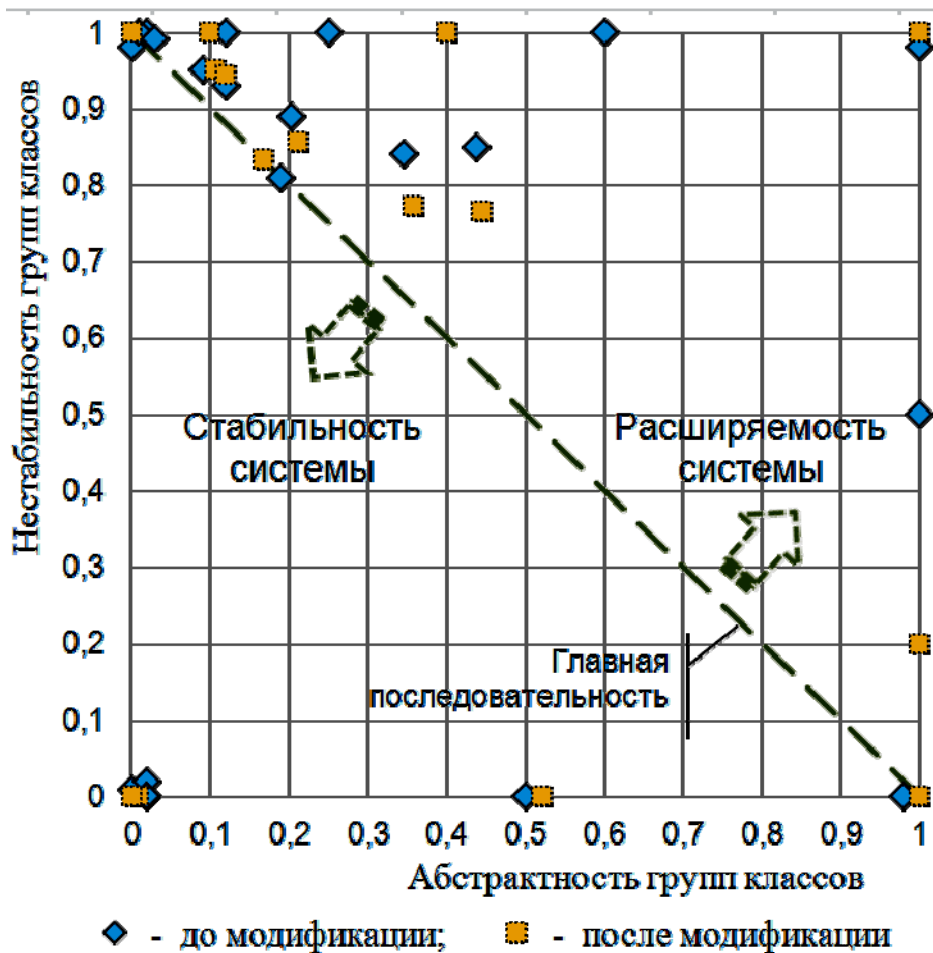


Рисунок 8 – Абстрактность и нестабильность взаимосвязанных групп классов до и после модификации исходного программного кода

Проанализируем изменение расстояний до главной последовательности после изменения групп классов проекта. Как показано на графике (рис. 9) выполненные изменения исходного кода ИС позволили снизить отклонение параметров абстрактности и нестабильности объектно-ориентированных групп классов проекта от главной последовательности в среднем на 28,6 %, и тем самым, повысить сбалансированность программного комплекса и обеспечить эффективность его работы в режиме «реального времени».

Вычислим статистические характеристики (дисперсию σ^2 и среднеквадратическое отклонение σ), характеризующие степень приближения категорий классов к главной последовательности:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (8)$$

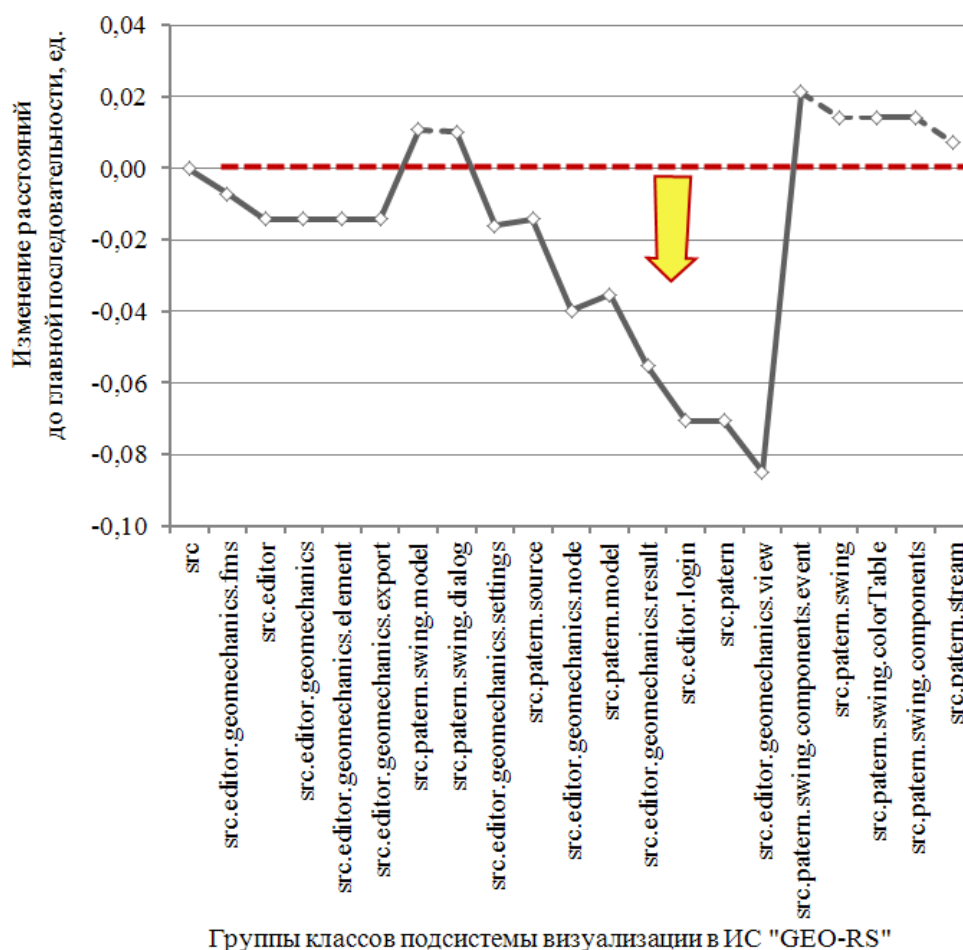


Рисунок 9 – Повышение сбалансированности ИС после модификации программного кода

Характеристики проекта до и после изменений сведены в табл. 1 и рис. 10.

Таблица 1 – Статистические характеристики отклонения от главной последовательности интегральных параметров групп классов проекта

Характеристика	Значения до изменений	Значения после изменений	Изменение, %
Дисперсия	5,974581	5,523083	- 7,56
Среднеквадратическое отклонение	0,533389	0,512839	- 3,85

В результате исследований с применением методологии построения архитектуры проектов и программных моделей вычислительных и информационных процессов определены взаимосвязи между группами классов в объектно-ориентированных информационных системах, которые влияют на скорость и корректность работы алгоритмов в программных комплексах. Обоснована методология анализа ресурсоемкости информационных систем и скорости обработки исходных данных для получения наилучшей сбалансированности приложений и минимизации времени работы алгоритмов при известных характеристиках аппаратного обеспечения. Установлено, что время расчета в программах

визуализации больших массивов данных снижается при увеличении центроустойчивости сцепления взаимосвязанных групп классов и увеличивается при возрастании их абстрактности, что позволяет за счет минимизации сумм отклонений метрик нестабильности и абстрактности Мартина по всем группам классов проекта получить наилучшую сбалансированность программного комплекса. Выполненные изменения исходного кода информационной системы позволили снизить отклонение параметров абстрактности и нестабильности объектно-ориентированных групп классов проекта от главной последовательности в среднем на 28,6 %, и тем самым, повысить сбалансированность программного комплекса и эффективность его работы.

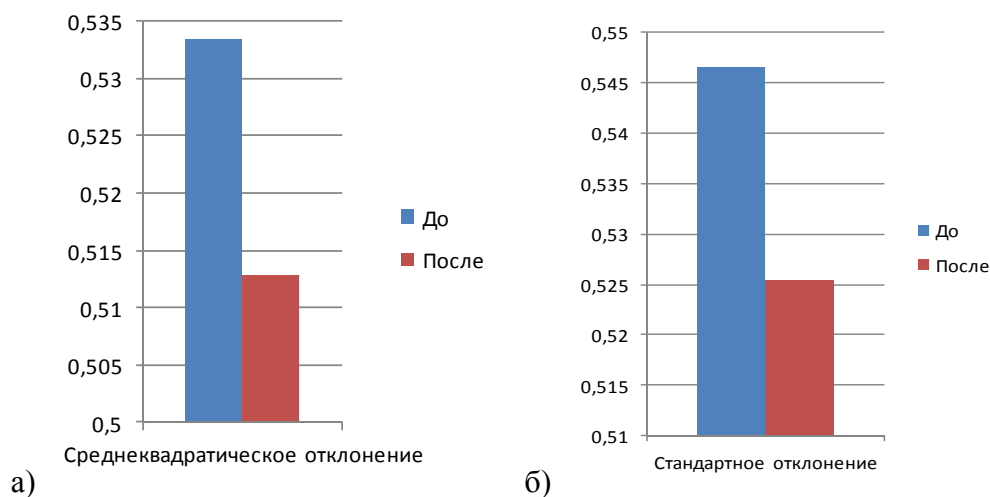


Рисунок 10 – Статистические характеристики сбалансированности проекта до и после внесенных изменений

Новая архитектура информационной системы послужила основой для разработки восьмой версии программного комплекса «GEO-RS» v 8.2, что позволило повысить стабильность его работы, быстроту обработки исходных данных и самого расчета, а, следовательно, эффективность выполняемого комплексом оперативного прогноза геомеханических процессов и надежность принимаемых на основе такого прогноза решений по обеспечению безопасности шахт, что имеет важное научное и практическое значение для решения проблем безопасности и эффективности горного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портал по энергосбережению «ЭнергоСовет» [Электронный ресурс]. «Международное энергетическое сотрудничество в XXI веке». - Режим доступа: www.energsovet.ru/stat488.html. – Загол. с экрана.
2. Официальный сайт мировой угольной ассоциации [Электронный ресурс]. «Мировая угольная промышленность». - Режим доступа: <http://www.worldcoal.org/coal-energy-access/the-global-energy-challenge>. – Загол. с экрана.
3. Довідка про виробничий травматизм зі смертельними наслідками на підприємствах вугільної промисловості України станом на 01 вересня 2013 року [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=246170&cat_id=202151. – Загол. с экрана.
4. Слащев, И.Н. Применение информационных технологий для повышения эффективности и безопасности горных работ / И.Н. Слащев // Уголь Украины. – 2013. – № 2. – С. 40-43.

5. Martin, Robert C. (2008), *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, ISBN: 0132350882.

6. Beck, F. and Diehl S. (2011) "On the Congruence of Modularity and Code Coupling", *Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT Symposium and the 13th European Conference on Foundations of Software Engineering* (SIGSOFT/FSE 11), Szeged, September 2011, Hungary.

REFERENCES

1. Web portal on energy saving "EnergoSovet" (2012), "Mezhdunarodnoye energeticheskoye sotrudnichestvo v 21 veke", [Online], available at: www.energosoвет.ru/stat488.html (Accessed 14 February 2013).

2. The official site of World Coal Association (2012), "The Global Energy Challenge", [Online], available at: <http://www.worldcoal.org/coal-energy-access/the-global-energy-challenge> (Accessed 18 Feb. 2013).

3. The official web portal Ukraine Ministry of Energy and Coal Industry (2012), "Dovidka pro vyrobnychy travmatyzm zi smertelnymy naslidkamy na pidpnyemstvakh vuhilnoi promyslovosti Ukrainy stanom na 01 veresnya 2013 roku" [Information on fatalities in the coal industry of Ukraine as of September 1, 2013], [Online], available at: http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article?art_id=246170&cat_id=202151 (Accessed 10 Feb. 2013).

4. Slashev, I.N. (2013) "The use of information technology to increase the efficiency and safety of mining operations", *Coal of Ukraine*, vol. 2, pp. 40-43.

5. Martin, Robert C. (2008), *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, ISBN: 0132350882.

6. Beck, F. and Diehl S. (2011) "On the Congruence of Modularity and Code Coupling", *Proceedings of the 19th ACM SIGSOFT Symposium and the 13th European Conference on Foundations of Software Engineering* (SIGSOFT/FSE 11), Szeged, September 2011, Hungary.

Об авторах

Слащев Игорь Николаевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, pgalpha.ltd@gmail.com

Шевченко Владимир Георгиевич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь института, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепропетровск, Украина, V.Shevchenko@nas.gov.ua

Слащев Антон Игоревич, магистр, аспирант, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, SlashovAnton@ya.ru

About the authors

Slashchev Igor Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, pgalpha.ltd@gmail.com

Shevchenko Vladimir Georgievich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Scientific Secretary of the Institute, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, V.Shevchenko@nas.gov.ua

Slashchev Anton Igorevich, Master of Science, Doctoral Student, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, SlashovAnton@ya.ru

Анотація. У статті вирішено актуальне завдання підвищення швидкодії та ефективності роботи інформаційної системи оперативного прогнозування геомеханічних і газодинамічних процесів для забезпечення безпеки ведення підземних гірничих робіт. Із застосуванням методів побудови архітектури проектів і програмних моделей обчислювальних та інформаційних процесів визначено взаємозв'язки між групами класів у об'єктно-орієнтованій інформаційній системі, які забезпечують коректність виконання алгоритмів і впливають на швидкість системи. Подальший розвиток отримав метод оцінки обчислювальної ефективності програмних комплексів, якій відрізняється алгоритмом мінімізації сум відхилень метрик нестабільності і абстрактності Мартіна по всіх групах класів проекту. Дослідженнями встановлено, що час розрахунку в програмах візуалізації великих масивів даних знижується при збільшенні доцентрового зчеплення взаємопов'язаних груп класів і збільшується при зростанні їх абстрактності, що дозволило за рахунок мінімізації сум відхилень метрик нестабільності і абстрактності Мартіна по всіх групах класів проекту отримати найкращу збалансованість програмного комплексу. Виконані зміни початкового коду інформаційної системи дозволили знизити відхилення параметрів абстрактності і нестабільності від головної послідовності в середньому на 28 %. Нова архітектура проекту послужила основою інформаційної системи для підтримки прийняття рішень з безпеки шахт.

Ключові слова: безпека гірничих робіт, моделювання, геомеханіка, візуалізація, оптимізація інформаційних систем, програмна інженерія.

Abstract. Purpose of this work is to show methods for improving efficiency of information system for predicting behavior of gas-dynamic and geomechanical processes.

Basing on project architecture-building techniques, software models of computing and information processes, interrelationship between the groups of classes in object-oriented information system was specified which ensured algorithm correctness and impacted on the system speed.

Method for assessing effectiveness of computer software systems was further developed. The method differs by algorithm for minimizing total deviations of the Martin metrics of instability and abstractness for all groups of information system classes.

The research shows that calculation time in visualization programs for large data arrays becomes shorter with increasing of centripetal chaining of interconnected groups of classes and becomes longer with increasing of their abstractness. The findings allowed to obtain a well-balanced software package thanks to minimized total deviations of the Martin metrics of instability and abstractness for all groups of classes of information system. Changes made in the information system source code provided at average 28% reduce of deviation of abstraction and instability parameters from the main sequence. The new architecture of the project became a basis for information systems to support decision-making on mine safety.

Keywords: Mine Safety, Simulation, Geomechanics, Visualization, Optimization of Information Systems, Software Engineering.

Стаття поступила в редакцію 10.06. 2013

Рекомендована к печати д-ром техн. наук Т.В. Бунько

УДК 622.271

А.А. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВУЗ «НГУ»)

**ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА ДНИЩА
ГИДРАВЛИЧЕСКОГО КЛАССИФИКАТОРА**

А.О. Бондаренко, канд. техн. наук, доцент
(ДВНЗ «НГУ»)

**ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КУТА НАХИЛУ ДНИЩА
ГІДРАВЛІЧНОГО КЛАСИФІКАТОРУ**

A.O. Bondarenko, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(SHEE «NMU»)

**GROUND OF RATIONAL ANGLE OF HYDRAULIC CLASSIFIER
BOTTOM SLOPE**

Аннотация. В результате моделирования процесса взаимодействия несущего ламинарного струйного потока с расположенными на разнонаклонных поверхностях твердыми частицами сформулирована зависимость параметров равновесного состояния твердой частицы от функции угла наклона поверхности. Установлено, что твердая частица, размещенная на наклонной поверхности, сохранит равновесие при воздействии на нее потока со скоростью пропорциональной диаметру частицы, углу наклона поверхности и коэффициенту внешнего трения скольжения. Экспериментальное исследование процесса движения твердых частиц по наклонному лотку, выполненному из наиболее часто применяемых конструкционных материалов (оргстекло, полиуретан, сталь, резина) и определение коэффициента внешнего трения скольжения зернистого материала в воде позволило установить, что коэффициент внешнего трения скольжения окатанных частиц кварца, в воде, является функцией крупности твердых частиц. При уменьшении крупности твердой частицы коэффициент внешнего трения скольжения возрастает. В результате расчетов значений равновесной скорости твердой частицы песка речного природного кварцевого окатанного на наклонной поверхности, выполненной из оргстекла, полиуретана, стали и резины, при влиянии скоростного напора несущего потока жидкости установлено, что при размещении твердой частицы на наклоненной вниз поверхности, по направлению несущего потока, равновесие сохраняется при снижении скорости потока, а при размещении ее на наклоненной вверх по направлению несущего потока поверхности для сохранения равновесия требуется увеличение скорости несущего потока. Полученные зависимости позволяют выполнять анализ создаваемой конструкции гидравлических классификаторов и выбирать ее рациональные параметры.

Ключевые слова: твердая частица, наклонная поверхность, гидравлический классификатор, равновесная скорость, лабораторная установка, коэффициент внешнего трения скольжения.