

*Е.В. Пугачев, В.А. Корнеев, П.А. Корнеев*

Сибирский государственный индустриальный университет

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ НА ЭВМ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ  
О ВДАВЛИВАНИИ ИНДЕНТОРА В СТЕНКУ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННОЙ В  
МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

В настоящее время решение различных инженерно-технических задач в горном производстве посредством математических моделей и численных экспериментов приобрело повсеместный характер. Развитие вычислительной техники и широкое внедрение цифровых средств измерения и обработки данных на шахтах позволило существенно повысить оперативность управления технологическими процессами и снизить риски принятия ошибочных решений.

Внедрение средств автоматизации и компьютерной обработки производственной информации актуализирует разработку специализированного программного обеспечения, одним из перспективных направлений реализации которого на ЭВМ является привлечение технологий высокопроизводительных вычислений.

При проведении научно-конструкторской работы по созданию устройства для определения контактной прочности горных пород в скважинах «Прочностномер ПСШ-1» требовалось разработать математическую модель для интерпретации диаграммы вдавливания индентора. Приняв за основу разрабатываемого программного обеспечения комплекс известных компьютерных программ с открытым кодом [1], установлено, что наиболее ресурсоемкими операциями при расчете напряженно-деформированного состояния твердого тела методом конечных элементов является решение систем линейных уравнений.

Выявленные закономерности распределения нагрузки на вычислительные узлы, участвующие в расчете, позволили разработать и реализовать на ЭВМ авторский алгоритм решения систем линейных уравнений методом Гаусса для сильно разреженных матриц, имеющих ленточное строение (рис. 1) [2]. Наличие в теле алгоритма циклов с независимыми итерациями позволяет осуществлять разбиение решаемой задачи на отдельные процессы и выполнять их в произвольном порядке различными процессорами используемой ЭВМ. При этом ленточное строение и сильная разреженность матрицы делают возможным

оптимизацию вычислительных процессов посредством работы программы исключительно с ненулевыми элементами матрицы.

Сравнительный анализ эффективности использования разработанного алгоритма по сравнению с известными программными решениями [1, 3] был осуществлен посредством сопоставления времени расчета задачи в обоих вариантах для различных условий, комплексным показателем которых явилось количество уравнений, решаемых ЭВМ (рис. 2).

При последовательном алгоритме расчета напряженно-деформированного состояния твердого тела наблюдается значительное увеличение времени вычислений при усложнении условий задачи. Использование предлагаемого авторского алгоритма сокращает время расчета на двухъядерном процессоре в среднем на 37 %, что на практике позволяет осуществлять моделирование с большей точностью и меньшими временными затратами.

Успешная апробация разработанной математической модели, включающей авторский алгоритм, для целей определения прочностных и деформационных свойств образцов мрамора выявила дальнейшие перспективы развития программного продукта. Так, используемая в математической модели равномерная сеть дискретизации значительно увеличивает время расчетов. Кроме того, практическое использование программного обеспечения показало отсутствие необходимости в определении объема лунки разрушения под индентором с точностью более  $0,01 \text{ мм}^3$ .

В настоящем исследовании осуществлена разработка метода преобразования цилиндрической равномерной сети конечных элементов в неравномерную с концентрацией в области разрушения, определенной по серии экспериментов. Используемый при этом в расчетах алгоритм решения системы линейных уравнений методом исключения Гаусса предполагается в дальнейшем заменить на один из методов итерационного решения с заданной ошибкой, величина которой позволит определять объем лунки разрушения с точностью до  $0,01 \text{ мм}^3$ .

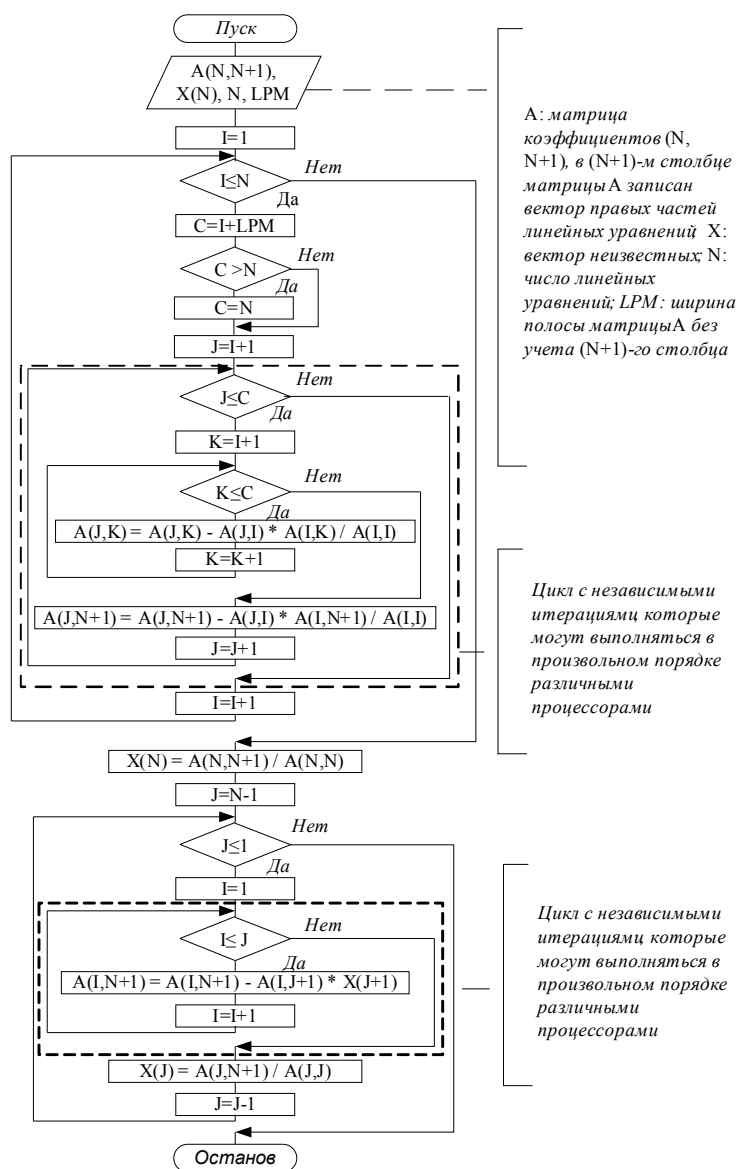


Рис. 1. Авторский алгоритм реализации расчетов на ЭВМ

**Выводы.** Реализация предлагаемых преобразований программного кода с использованием технологий параллельных вычислений позволит повысить скорость расчетов и оперативность проведения натурных исследований и измерений устройством «Прочностномер ПСШ-1».

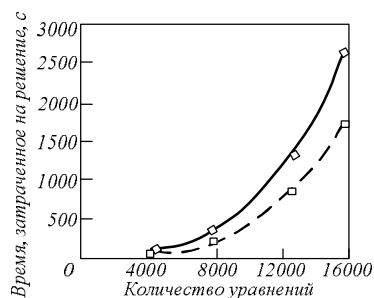


Рис. 2. Зависимость времени, затраченного на решение, от количества уравнений авторского алгоритма реализации расчетов на ЭВМ (---) и известных последовательных алгоритмов (—)

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ф а д е е в А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012612864 РФ. Корнеев В.А. «Индентирование» v 1.0 – № 2012610794. Заявл. 08.02.2012; опубл. 22.03.2012.
3. С е г е р л и н д Л. Применение метода конечных элементов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 248 с.

© 2014 г. Е.В. Пугачев, В.А. Корнеев,  
П.А. Корнеев

Поступила 17 марта 2014 г.