

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический университет»

УДК 622.27.326  
№ госрегистрации  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ГОУ ВПО «МГТУ»



В. М. Колокольников

« 19 » 10 2009 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
по Государственному контракту № 02.740.11.0038 от 15 июня 2009 г.

РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
МОДУЛЕЙ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
И ИНТЕНСИВНОЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ОСВАИВАЕМОГО УЧАСТКА НЕДР

Разработка и классификация геотехнологических модулей, обеспечивающих комплексное использование ресурсов осваиваемого участка недр, требуемую интенсивность и экологическую безопасность горных работ. Разработка новых конфигураций горнотехнических систем комплексного освоения группы природных и техногенных месторождений на принципах рационального сочетания геотехнологических модулей  
(промежуточный, этап № 1 2009 года)

Проректор по научной работе  
д-р. техн. наук



К.Н. Вдовин

Руководитель темы  
д-р. техн. наук, проф.



В.Н. Калмыков

Магнитогорск 2009

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

- Научный руководитель, д.т.н., проф.  
Вед. научн. сотр., д-р техн. наук, проф.  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.пед.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Инженер, канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Ст. научн. сотр., канд.техн.наук  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд., канд. техн. наук  
Инженер  
Вед. инженер  
Инженер  
Инженер  
Инженер  
Ст. лаб.  
Лаборант  
Мл. научн. сотруд.  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Лаборант  
Нормоконтролер  
Соисполнители:  
Член-корр. РАН  
Гл. научн. сотруд., д-р техн. наук, проф.  
Ст. научн. сотруд., канд. техн. наук  
Ст. научн. сотруд., канд. техн. наук  
Мл. научн. сотруд.  
Мл. научн. сотруд.  
Ст. лаб.  
Мл. научн. сотруд.
- Калмыков В.Н. (разделы 1 – 6, заключение)  
Гавришев С.Е. (разделы 1.4.3, 1.4.4, 2.1, 4.3)  
Гнедых А.П. (раздел 2.2)  
Глухова А.Ю. (раздел 6)  
Мещеряков Э.Ю. (раздел 2.2.4)  
Кузнецова Т.С. (раздел 2.1.4)  
Корнеев С.А. (разделы 1.2, 5.1)  
Петрова О.В. (раздел 6)  
Гоготин А.А. (разделы 1.4.1, 2.2.1)  
Заляднов В.Ю. (разделы 2.1, 4.3)  
Колонюк А.А. (разделы 2.1, 4.3)  
Бурмистров К.В. (разделы 2.1, 4.3)  
Матюшенко Г.А. (разделы 1.4.2, 5.2)  
Белов Г.М. (раздел 2.2)  
Зубков А.А. (разделы 4.4.3, 4.4.4)  
Пыталев И.А. (разделы 1.4.3, 1.4.4, 2.1.3)  
Горбунов В.И. (раздел 2.2.1)  
Неугомонов С.С. (раздел 2.2.2, 4.4.1)  
Волков П.В. (раздел 2.2.2)  
Самойленко Д. П. (раздел 2.2.3)  
Пешков А.М. (раздел 6.4)  
Звягинцев А.Г. (раздел 6.3)  
Ангелов В.А. (разделы 1.4.2, 4.6)  
Колодежная Е.В. (раздел 6)  
Угрюмов А.Н. (раздел 2.2.3, 4.4.1)  
Белоконь А.Н. (раздел 6)  
Корнеева В.С. (раздел 2.2, 1.3)  
Михайлова Г.В. (разделы 2.2, 6)  
Харлов А.А. (раздел 2.2.3, 4.4.2)  
Васильева Л.П. (раздел 2.1)  
Ангелова Е.И. (раздел 1.4.2, 4.6)  
Некорова Т.В. (раздел 2.2)  
Васильев А.А. (раздел 2.2)  
Абдрахманов Р.И. (раздел 2.2)  
Курыгина А.А. (раздел 2.2)  
Некрасов Н.А. (раздел 2.2)  
Гимронов Р.З. (раздел 2.2)  
Орлиогло Н.А. (раздел 2.2.2)  
Золотарев А.С. (раздел 2.2.2)  
Васильков А.А. (раздел 4.4.3)  
Зубков А.А. (раздел 4.4.4)  
Белоконь А.Н.  
Каплунов Д.Р. (разделы 1, 3, 4)  
Рыльникова М.В. (разделы 1-6)  
Радченко Д.Н. (разделы 1.4.2, 2.4, 4.6, 4.7, 5.2)  
Юков В.А. (раздел 2.3)  
Корнеев Ю.В. (раздел 2.3)  
Милкин Д.А. (раздел 1.3, 3, приложение 1)  
Экс В.В. (разделы 1.4.2, 4.6, приложение 1)  
Дробышевский К.В. (раздел 6.1)

## Реферат

Отчет содержит: стр. 373, рис. 183, табл. 55, перечень литературы из 108 наименований

### ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ, ГОРНТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, КОМБИНИРОВАННАЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЯ, СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА, ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ, ХВОСТЫ ОБОГАЩЕНИЯ, ЗАКЛАДКА, КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ГЕОРЕСУРСЫ

Выполнен анализ существующих типовых структур горнотехнических систем, применяемых для освоения месторождений открытым, подземным и комбинированным способами. Подготовлен отчет по патентным исследованиям. Объектами патентных исследований, для которых может быть представлена правовая охрана в соответствии со статьей 1225 ГК РФ, явились: составы закладочных смесей на основе отходов горных производств для заполнения выработанных пространств подземных рудников и шахт; способы комбинированной разработки месторождений полезных ископаемых; технологические схемы комплексного освоения месторождений полиметаллических руд; конструктивные параметры горнотехнических систем; геотехнологические модули.

Определены роль и место геотехнологических модулей в горнотехнических системах комплексного освоения участка недр. Разработана классификация геотехнологических модулей, обеспечивающих комплексное использование ресурсов осваиваемого участка недр, требуемую интенсивность и экологическую безопасность горных работ.

Целью научно-исследовательских работ явилось обоснование роли и места геотехнологических модулей в горнотехнических системах комплексной добычи полезных ископаемых и интенсивной, экологически безопасной эксплуатации осваиваемого участка недр, а также оценка возможности совершенствования геотехнологий на базе рационального сочетания процессов физико-технических, физико-химических и специальных способов добычи для повышения извлекаемой ценности добываемых и перерабатываемых руд, снижения потерь полезных ископаемых в недрах, повышения комплексности использования минеральных ресурсов.

Объектом исследования являются геотехнологические модули горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений.

Методы исследований включали анализ и систематизацию мирового опыта комбинированных геотехнологий, конструирование горнотехнических систем, технико-экономическую оценку вариантов, экономико-математическое моделирование.

Полученные результаты являются методической основой для дальнейших исследований.

Разработанные геотехнологические модули внедрены в учебно-методический комплекс дисциплин «Процессы подземных горных работ», «Вскрытие и подготовка рудных месторождений», «Системы подземной разработки рудных месторождений», «Комплексное освоение недр» при подготовке горных инженеров и бакалавров в ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». Классификация геотехнологических модулей внедрена в учебно-методический комплекс дисциплины «Современные проблемы горных наук и производства» подготовки магистров.

## СОДЕРЖАНИЕ

**Приложение 1** Патентные исследования в соответствии ГОСТ Р15.011-96. Тематика исследований: технологические схемы комплексного освоения рудных месторождений, конструктивные параметры горнотехнических систем, геотехнологические модули, выявление перспективных направлений НИР.

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>1. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ НА ОСНОВЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ ВСКРЫТИЯ, ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК, ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ЗАПАСОВ, МАЛОМАСШТАБНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b> .....	9
1.1. Модульный принцип формирования горнотехнических систем .....	9
1.2. Конструирование инновационных горнотехнических систем комплексного освоения рудных месторождений .....	13
1.3. Система управления качеством минерально-сырьевых потоков при нетрадиционных методах эксплуатации геогенных и техногенных месторождений .....	25
1.4. Инновационные геотехнологические модули вскрытия, проведения выработок, эксплуатации некондиционных запасов, маломасштабных и техногенных месторождений .....	44
1.4.1. Инновационные схемы вскрытия при комплексном освоении недр .....	44
1.4.2. Инновационные физико-химические геотехнологии комплексного освоения рудных месторождений при модульном подходе .....	58
1.4.3. Перспективные технологии утилизации отходов .....	84
1.4.4. Использование техногенного георесурса выработанного пространства карьеров и шахт .....	93
<b>2. СТРУКТУРИРОВАНИЕ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ, ИХ ВРЕМЕННАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ УВЯЗКА С ЭЛЕМЕНТАМИ ТРАДИЦИОННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ</b> .....	107
2.1. Структурирование горнотехнических систем открытой геотехнологии .....	107
2.1.1. Геотехнологический модуль вскрытия месторождения или его участка .....	109
2.1.2. Систематизация и структуризация геотехнологического модуля эксплуатационные горные работы .....	115
2.1.3. Транспортирование рудной массы и вскрышных пород .....	134
2.1.4. Управление состоянием массива уступов, бортов карьеров и отвалов .....	138
2.1.5. Модуль складирования полезного ископаемого и отвалообразование .....	154
2.2. Структурирование горнотехнических систем подземной геотехнологии .....	156
2.2.1. Геотехнологический модуль вскрытия месторождения .....	159
2.2.2. Систематизация и структура модуля очистные работы .....	173
2.2.3. Доставка, транспорт и рудничный подъем .....	195
2.2.4. Управления состоянием массива .....	203
2.3. Структурирование горнотехнических систем гидродобычи .....	206
2.3.1. Гидромониторная разработка месторождений открытым способом .....	207
2.3.2. Гидромониторная разработка месторождений подземным способом .....	214
2.3.3. Разработка обводненных забоев земснарядами .....	220
2.3.4. Скважинная гидродобыча .....	221
2.4. Временная и технологическая увязка геотехнологических модулей в горнотехнических системах .....	237
<b>3. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НИР В ПРАКТИКУ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИНСТРУКТИВНЫХ И МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ</b> .....	243

3.1. Перспективы внедрения геотехнологических модулей при разработке месторождений открытым способом .....	243
3.2. Перспективы внедрения геотехнологических модулей при разработке месторождений подземным способом.....	243
3.3. Перспективы внедрения модулей на основе физико-химических технологий.....	244
3.4. Программа внедрения результатов НИР в практику эксплуатации месторождений и нормативно-методическую документацию.....	246
<b>4. ОБОСНОВАНИЕ РОЛИ И МЕСТА ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ В ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ, ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....</b>	<b>250</b>
4.1. Обоснование роли и места геотехнологических модулей в горнотехнических системах комплексного освоения недр.....	250
4.2. Пути и направления совершенствования геотехнологических модулей.....	257
4.3. Направления совершенствования геотехнологических модулей при открытых горных работах.....	261
4.3.1. Совершенствование модуля вскрытия.....	261
4.3.2. Оптимизация геотехнологического модуля эксплуатационных горных работ.....	265
4.3.3. Совершенствование модуля транспортировки рудной массы и вскрышных пород.....	269
4.3.4. Совершенствования геомеханического модуля .....	271
4.4. Направления совершенствования геотехнологических модулей при подземных горных работах.....	272
4.4.1. Совершенствование модуля отбойки руды.....	272
4.4.2. Совершенствование модуля доставки и транспортирования рудной массы.....	275
4.4.3. Интенсификация процессов подготовки запасов к выемке.....	277
4.4.4. Интенсификация очистных работ при применении камерной системы с твердеющей закладкой и сплошного порядка разработки руд.....	286
4.5. Направления совершенствования геотехнологических модулей гидродобычи.....	289
4.6. Интенсификация процессов физико-химической геотехнологии.....	290
4.7. Повышение интенсивности комплексного освоения месторождений на основе замкнутого цикла комбинированных геотехнологий.....	293
<b>5. СБОР ИНФОРМАЦИИ ПО ГОРНОТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ, ИХ СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ТИПИЗАЦИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗВИТЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ - УРАЛА И СИБИРИ .....</b>	<b>295</b>
5.1. Типизация и систематизация горнотехнических систем освоения рудных месторождений .....	295
5.2 Систематизация горнотехнических систем освоения техногенных образований.....	305
<b>6. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ.....</b>	<b>327</b>
6.1. Экономическая оценка эффективности геотехнологических модулей .....	328
6.2. Экологическая оценка эффективности геотехнологических модулей .....	334
6.3. Система геоэкологического мониторинга горнотехнических систем .....	344
6.4. Требования дифференцированных кондиций при проектировании комбинированных геотехнологий .....	351
6.5. Учет фактора риска при эколого-экономической оценке эффективности горнотехнических систем .....	358
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>363</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>368</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Состояние минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых России характеризуется доработкой балансовых запасов большинства крупных рудных месторождений, расположенных в благоприятных географических условиях в районах с развитой промышленной и социальной инфраструктурой. Перспективные месторождения – аналоги, позволяющие восполнить дефицит производства металлов, находятся в отдаленных неосвоенных регионах, в поясах с суровыми климатическими условиями. Широкомасштабное освоение богатых месторождений железа, меди, титана, свинцово-цинковых руд, благородных металлов, расположенных в Центральной и Восточной Сибири, Якутии, Чукотке и шельфа прилегающих районов, требует весьма значительных инвестиций, что в современных условиях, усугубленных мировым финансовым кризисом, весьма проблематично.

Горные работы по освоению месторождений твердых полезных ископаемых подземным, открытым или комбинированным способом характеризуются значительными объемами отходов: вскрышных пород, пород от проходки, подотвальных минерализованных вод, газообразных продуктов от технологических процессов и оборудования. Выемка полезных ископаемых сопряжена с необходимостью отчуждения больших территорий для размещения карьеров, обогатительных фабрик, отвалов, шахт, промышленных сооружений. В связи с производством горных работ изменяется гидрогеологический режим регионов, активизируется эрозия почв продуктивных сельхозугодий.

Отраслевой принцип освоения рудных месторождений не обеспечивает комплексного использования добываемой рудной массы, ведет к накоплению на поверхности невостребованных минерализованных отходов переработки, загрязнению окружающей среды продуктами естественного выщелачивания, оставлению в недрах в виде потерь руд, не пригодных для переработки на данном горном предприятии.

Сокращение рудной базы для открытых горных работ переносит тяжесть добычи на подземные рудники, имеющие меньшую производственную мощность. Дефицит сырья на рынке металлов также ведет к реализации политики наращивания объемов добычи, что сдерживается низкой интенсивностью подземных горных работ с высокой полнотой выемки и большими сроками ввода рудников в эксплуатацию. Имеет место несоответствие структуры и содержания горнотехнических систем реальным потребностям развития общества и экосреды.

Решение проблемы восполнения минерально-сырьевой базы страны возможно путем создания и проектирования новых горнотехнических систем по модульному принципу с обоснованием условий их рационального применения, конструктивных и технологических параметров горнотехнических систем комплексной добычи полезных ископаемых и интенсивной экологически безопасной эксплуатации осваиваемого участка недр, представленно-

го группой малых и средних природных и техногенных месторождений рудного сырья, ранее некондиционного, расположенных в развитых горнопромышленных центрах страны.

Анализ практики горнодобывающих предприятий, разрабатывающих месторождения руд сложного вещественного состава, свидетельствует об отсутствии единого методического подхода к проектированию комплексного освоения месторождений. Как правило, современная база проектирования не учитывает перспективы дальнейшей доработки бедных вкрапленных руд, отнесенных к забалансовым запасам на стадии эксплуатационной геологической разведки, что влечет за собой потери полезного ископаемого и повышение себестоимости его добычи.

Для обеспечения эффективности освоения рудных месторождений необходимо на начальной стадии проектирования выбрать оптимальный вариант горнотехнической системы с заданными параметрами поэтапной добычи, определив последовательность вовлечения запасов в разработку различными способами, рациональное совмещение традиционной отработки со специальными и физико-химическими технологиями. При этом целесообразно предусмотреть различные варианты сочетания способов управления состоянием массива на отдельных этапах, качеством формируемых минерально-сырьевых потоков на базе единой системы мониторинга.

Таким образом, реализация требований комплексного освоения месторождений возможна на основе модульного подхода к проектированию.

Основным признаком понятия геотехнологический модуль является его относительная самостоятельность, замкнутость, цикличная повторяемость технологических процессов и направленность на выполнение конкретной и определенной функции.

Геотехнологический модуль – это относительно самостоятельный и замкнутый элемент горнотехнической системы, который находится в непосредственной взаимосвязи с другими элементами (геотехнологическими модулями) системы и обладает всеми системными признаками. При необходимости он может быть изъят из горнотехнической системы, модернизирован, а в отдельных случаях исключен, либо заменен новым модулем, выполняющим аналогичные функции.

Выделение геотехнологического модуля от горнотехнической системы позволяет модернизировать его, оптимизировать параметры и включать в данную, либо переносить в другие системы при сохранении всех внешних и внутренних связей, представленных соответствующими уравнениями и системами ограничений. В соответствии с заданными внешними и внутренними условиями геотехнологические модули описываются определенными входными и выходными параметрами, обеспечивающими их стыковку (связь) с другими модулями горнотехнической системы.

Комбинированные методы освоения месторождений предполагают не только рациональное сочетание открытого и подземного способов добычи, но и совместное использование физико-технической и физико-химической технологий, основанных на сочетании открытого и подземного способов, гидродобычи с подземным и кучным выщелачиванием ценных компонентов из руд и техногенного сырья.

**Идея работы** заключается в глубокой дифференциации основных и вспомогательных процессов комплексного освоения участка недр и формирование на этой основе геотехнологических модулей, совершенствование и оптимизация параметров которых обеспечивает при их рациональном сочетании и взаимоувязке повышение эффективности, интенсивности и экологичности освоения участка недр.

**Новизна** представленных в настоящем отчете исследований заключается в новом нетрадиционном подходе к формированию горнотехнических систем, основанном на модульном принципе их построения. Согласно этому принципу проектирование горнотехнических систем осуществляется на основе рационального, применительно к заданным горно-геологическим и природно-климатическим условиям сочетания элементов – геотехнологических модулей. Теоретический уровень ожидаемых результатов сопоставим с мировым, а методологический подход является новым в данной области науки и не имеет аналогов за рубежом.

Программа работ по первому этапу предусматривает выполнение следующих исследований:

1. Выполнение патентных исследований в соответствии ГОСТ Р15.011-96. Тематика исследований: технологические схемы комплексного освоения рудных месторождений, конструктивные параметры горнотехнических систем, геотехнологические модули, выявление перспективных направлений НИР.
2. Обоснование роли и места геотехнологических модулей в горнотехнических системах, оценка возможности их совершенствования.
3. Конструирование и систематизация горнотехнических систем комплексного освоения участка недр.
4. Систематизация и структурирование геотехнологических модулей при гидравлических способах добычи полезных ископаемых.
5. Систематизация и структурирование геотехнологических модулей при физико-химических способах добычи полезных ископаемых.
6. Разработка системы управления качеством минерально-сырьевых потоков комбинированной геотехнологии.