

УДК 622.272

Л.И. Сосновский, Е.Л. Сосновская

ПРОГНОЗ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УДАРООПАСНОСТИ ЖИЛЬНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА СТАДИИ СТРОИТЕЛЬСТВА РУДНИКОВ

Произведена оценка геомеханических условий по выявлению основных факторов, наиболее влияющих на проявления горного давления в динамических формах, для определения потенциальной удароопасности месторождений.

Ключевые слова: удароопасность рудных месторождений, геомеханические условия, горный массив.

Прогноз потенциальной удароопасности рудных месторождений, в том числе и золоторудных требуется проводить в соответствии с требованиями Инструкции по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам РД 06-329-99, пункт 3 и требований Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.07.97 № 116-ФЗ [1].

Прогноз удароопасности на строящихся рудниках недостаточно достоверен из-за ограниченного объема исходной информации о физико-механических свойствах пород и руд, тектонической нарушенности, природных и техногенных напряжениях массива горных пород для условий глубоких горизонтов. Прогноз базируется, как правило, на данных верхних горизонтов шахт и поэтому весьма проблематично определять критические глубины горных работ по динамическим проявлениям горного давления.

Национальный исследовательский Иркутский государственный техниче-

ский университет осуществил прогноз удароопасности золоторудных месторождений Майское и Биркачан в процессе комплексных исследований геомеханического состояния горного массива на строящихся рудниках.

Майское месторождение расположено на восточном фланге Паляваамской синклинальной зоны Чукотской мезозойской складчатой области. Рудные тела представлены в основном крутопадающими золотосодержащими жилами. Вмещающие породы - алевролиты, алевропесчаники, песчаники, кварц-полевошпатовые порфиры и др. Месторождение Биркачан расположено в юго-восточной части Кедонского поднятия Омолонского срединного массива на севере Магаданской области. Рудные тела крутопадающие золотосодержащие жилы малой и средней мощности. Вмещающие породы – риолиты, туфогенные песчаники. Разработка месторождений предполагается до глубин 600 м и более.

Для определения потенциальной удароопасности месторождений произведена оценка их геомеханических условий по выявлению основных

факторов, наиболее влияющих на проявления горного давления в динамических формах:

- наличие пород и руд с высокими упругими свойствами, способных к хрупкому разрушению под нагрузкой;
- действие в массиве горных пород значительных гравитационно-тектонических напряжений;
- достижение критических глубин горных работ по динамическим проявлениям горного давления.

Авторами использована методика Кузнецова Г.Н. [2], который предложил в качестве критерия хрупкого разрушения использовать отношение $\sigma_{сж}/\sigma_p$

Породы разрушаются хрупко, если:

$$K = \frac{\sigma_{сж}}{\sigma_p} > 6, \quad (1)$$

где K – коэффициент хрупкости; $\sigma_{сж}$, σ_p – пределы прочности пород на одноосное сжатие и растяжение соответственно, МПа.

По данным исследований (табл. 1) значения коэффициента K для пород месторождения Биркачан составляют от 8,2 до 11,9, для руды – от 10 до 17. В соответствии с критерием Кузнецова Г.Н. ($K > 6$) породы и руды следует отнести к категории склонным к горным ударам. Значения коэффициента K для пород Майского месторождения составляет для пород от 4,6 до 13,6; для руды от 6,0 до 8,8. Склонным к горным ударам следует отнести: крупнопорфировый гранит, гидротермально измененный тонкозернистый песчаник (сульфидизированный), окварцованный и сульфидизированный тонкозернистый филлитовый сланец, а также золото-сульфидная руда и рудная брекчия.

Природные (первоначальные напряжения) изучались натурными измерениями методом шелевой разгрузки по методике ИГД УрО РАН [3] и геоинформационными исследованиями по методикам ИрГТУ [4-7]. Результаты измерений напряжений на глубинах до 200 м в многолетнемерзлых породах показали, что фактические напряжения примерно равны теоретическим значениям по гипотезе гидростатического напряжения в горном массиве А. Гейма. На глубинах более 200 м, в переходных зонах мерзлых пород в талые и в талых породах напряжения горного массива аппроксимируются формулами гипотезы гравитационно-тектонических напряжений (табл. 2).

В процессе геоинформационных исследований изучалась структурная организация естественного поля тектонических нарушений и трещин – одного из основных факторов, определяющего современное геомеханическое состояние горного массива на месторождениях и в его окрестностях по методике ИрГТУ [4-7].

На месторождении Биркачан подземные горные выработки не проведены и поэтому измерить напряжения не представилось возможным. Геомеханическое состояние изучено на основе анализа панорамных фотоснимков трещин бортов карьера. Выявлено, что структуры поля тектонических нарушений и трещин являются иерархическими и самоподобными (рис. 1). В диапазоне от 0,9 м до 58 м выделяются 7 иерархических уровней деструктивных элементов (рис. 2, а). Основные значения масштабных коэффициентов между средними размерами ячеек смежных уровней общей структурной матрицы находятся в пределах 1,8-2,9. Согласно концепции саморазрушения массивов [4-6]

Таблица 1
Упругие и прочностные свойства горных пород

Наименование породы	Модуль упругости E, МПа	Предел прочности, МПа		Коэффициент хрупкости K
		на сжатие	на разрыв	
1	2	3	4	5
Месторождение Биркачан				
Риолит	11900	80,3	9,2	8,7
Риолит слабометаморфизованный	9000	70,9	7,9	9,0
Риолит	14500	126,1	10,6	11,9
Трахирриолит	14500	126,7	11,2	11,3
Туф кислого состава	9000	82,1	8,6	9,5
Туфогенный песчаник	12100	102,9	9,1	11,3
Туф	6800	60,0	7,3	8,2
Риолит	16000	155,2	14,1	11,0
Среднее значение для пород	11725	100,5	9,7	10,1
Руда	14000	122,3	12,2	10,0
Руда	16000	161,5	9,5	17,0
Среднее значение для руды	15000	141,9	10,8	13,5
Месторождение Майское				
Среднезернистый (порфиновый гранит)	10518,7	134,2	23,3	5,8
Крупно-порфиновый гранит	9778,5	94,2	11,6	8,1
Сульфидизированный среднезернистый гранит-порфир	9837,1	61,1	12,5	4,9
Тонкозернистый кварц-полевошпатовый порфирит	9921,7	70,0	13,9	5,0
Тонкозернистая кварцитоподобная порода окварцованный песчаник	10249,5	97,7	19,0	5,1
Гидротермально измененный тонкозернистый песчаник (сульфидизированный)	10656,1	159,8	25,4	6,3
Мелкозернистый песчаник (сульфидизированный)	10096,7	87,4	16,6	5,3
Мелкозернистые песчаники с прослоями алевролитов (породы гидротермально изменены и сульфидизированны)	10927,3	137,2	29,7	4,6
Тонкозернистый углистый сланец (филлитовый сланец)	9350,9	27,9	4,9	5,7
Окварцованный и сульфидизированный тонкозернистый филлитовый сланец	9565,3	112,5	8,3	13,6
Гидротермально измененный алевропесчаник, тонкозернистый	10934,2	140,5	29,8	4,7
Сульфидизированный и слабо окварцованный тонкозернистый филлитовый сланец	10964,1	139,8	30,3	4,6
Среднее значение для пород	10233,3	105,2	18,8	5,6
Золото-сульфидная руда из рудного тела	9868,9	101,0	13,0	7,8
Золото-сульфидная руда с кварцем и карбонатом	9515,1	66,4	7,5	8,8
Рудная брекчия	9741,0	65,8	11,0	6,0
Среднее значение для руды	9708,3	77,7	10,5	7,4

Таблица 2

Значения первоначальных напряжений горного массива

Глубина разработки от поверхности, м	Значения напряжений, МПа				Примечание
	Вертикальное σ_v	Продольное $\sigma_{пр}$	Поперечное σ_n	Касательное τ	
100	-2.7	-2,7	-2.7	0	Гидростатическое напряженное состояние, обусловленное наличием слоя многолетнемерзлых пород
150	-4	-4,0	-4	0	
200	-5.4	-5,4	-5.4	0	
250	-6.8	-6.8	-10.8	2	Гравитационно-тектоническое напряженное состояние, характерное для горных массивов золоторудных месторождений
300	-8.1	-8.1	-13	2.4	
350	-9.5	-9.5	-15.1	2.8	
400	-10.8	-10.8	-17.3	3.2	
450	-12.2	-12.2	-19.4	3.6	
500	-13.5	-13.5	-21.6	4.1	
550	-14.9	-14.9	-23.8	4.4	
600	-16.2	-16.2	-25.9	4.8	
650	-17.55	-17.55	-28.08	5.3	
700	-18.9	-18.9	-30.24	5.7	
750	-20.25	-20.25	-32.4	6.1	
800	-21.6	-21.6	-34.56	6.5	

при коэффициенте масштабного подобия СК от 1.6 до (2,0 – 2,5), горный массив должен характеризоваться относительно устойчивым состоянием, при котором процессы саморазрушения происходят в течение длительного времени в виде трещинообразования. При величинах коэффициента 2,5 и более массив характеризуется неустойчивым состоянием с возможными проявлениями процессов саморазрушения в виде спонтанного трещинообразования (проявление горного давления в динамической форме), т.е. эти участки характеризуются повышенной скоростью фрактального роста поля естественной самодеструкции и являются высоконапряженными и относительно менее устойчивыми зонами горного массива.

По выявленным структурам тектонических нарушений и трещин и на основе установленных масштабных коэффициентов можно сделать прогноз геомеханического состояния горного массива на месторождении. Установлена область с максимальной вероятной естественной неустойчиво-

стью горного массива в участках с размерами ячеек 4,9 -14,8 м (уровни III - IV) (см. рис. 2, а).

На Майском месторождении проанализированы фотографии стенок выработок, погоризонтные планы масштаба 1:50 и 1:200, планов месторождения масштаба 1:2000, геологических карт месторождения и района месторождения масштаба 1:10000, 1:50000 и 1:200000. Эти материалы характеризуют геологическое строение и степень тектонической нарушенности месторождения на различных иерархических уровнях, начиная от уровней, сопоставимыми с размерами минеральных зерен до уровня рудного поля. На ее основе составлена модель структурной организации поля деструктивных элементов горного массива Майского месторождения (рис. 2, б). Установлено две области с максимальной вероятной естественной неустойчивостью горного массива в участках с размерами ячеек 45 -360 м (уровни VII – IX) и 7-12 км (уровни XIII –XIV) (см.рис. 2, б).

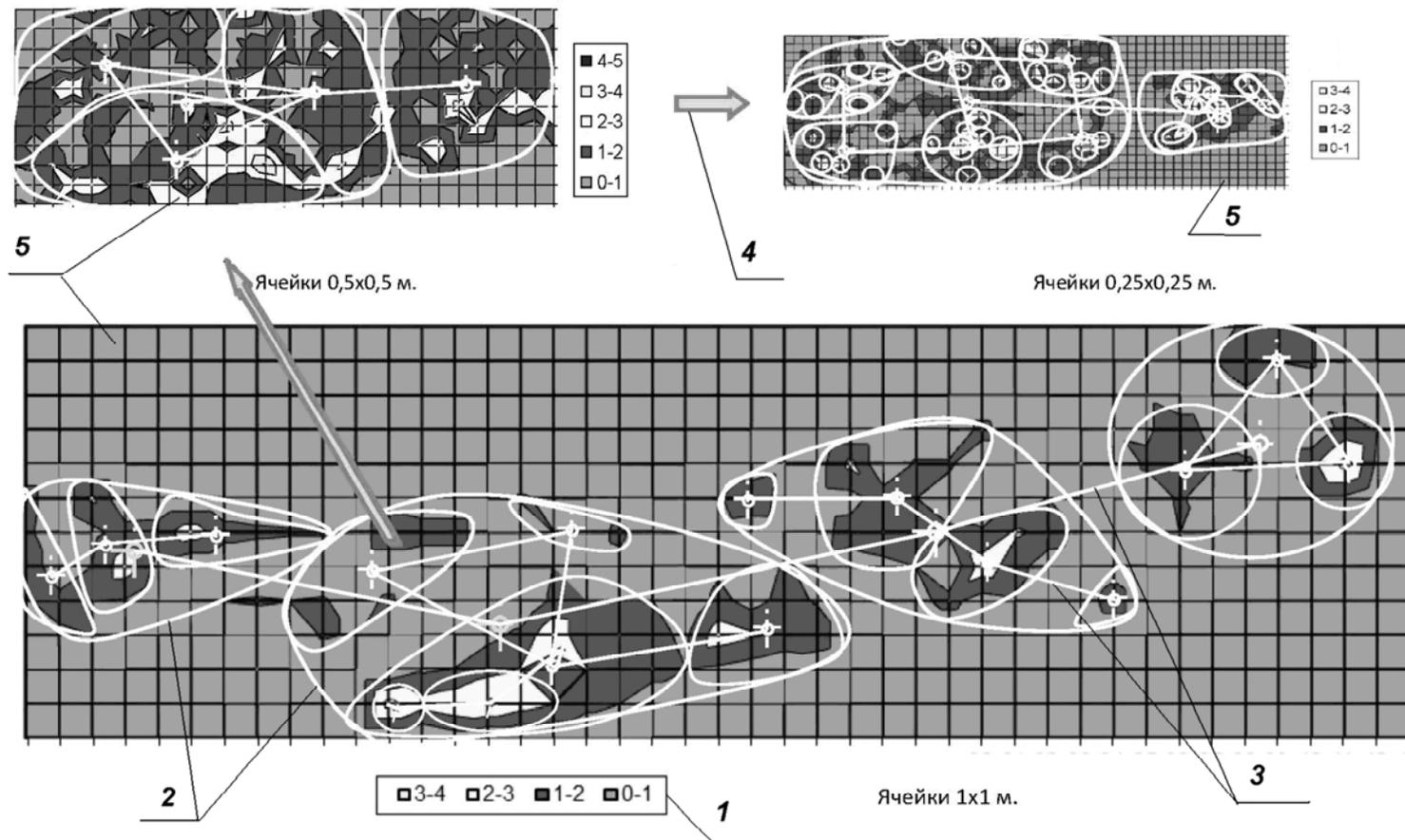


Рис. 1. Карта интенсивности тектонической нарушенности массива горных пород, m/m^2 в продольном разрезе месторождения Биркачан: 1 – значения интенсивности тектонической нарушенности, m/m^2 , 2 – контуры структурных блоков, 3 – расстояния между центрами структурных блоков, 5 – ячейки

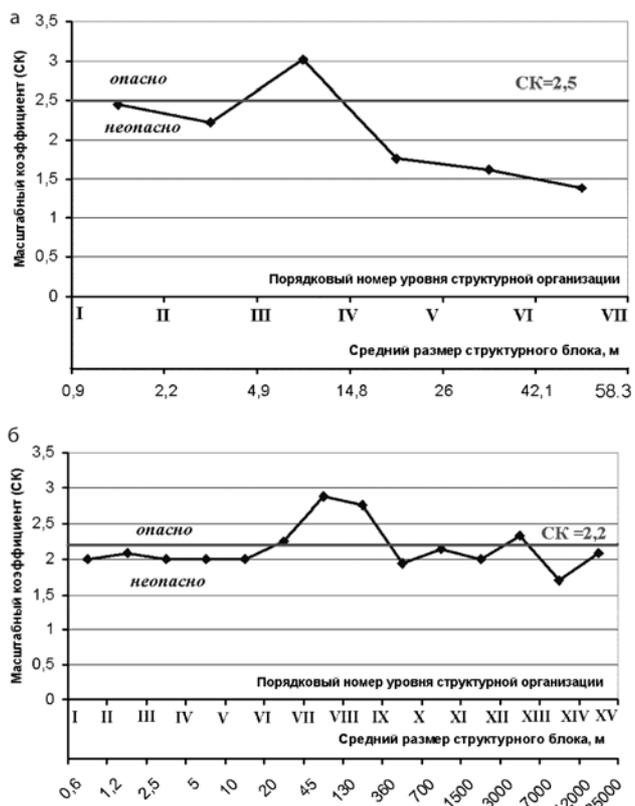


Рис. 2. Поведение масштабного коэффициента в иерархическом ряду уровней структурной организации поля деструктивных элементов месторождений Биркачан (а) и Майского (б)

Вследствие неоднородности тектонических структур, поле природных напряжений золоторудных напряжений крайне неравномерно. В отдельных участках массива возможна их высокая концентрация. При ведении горных работ на таких участках возможны динамические проявления горного давления, т.е. может возникнуть удароопасность.

Потенциально удароопасными могут быть потолочины очистных камер. В процессе исследований на Майском месторождении были получены зависимости напряжений в потолочине от

мощности рудного тела на различной глубине горных работ (рис. 3). Анализ этих зависимостей позволяет отметить следующее.

Минимальная удароопасность потолочин будет при отработке запасов в пределах одного этажа (рис. 3 а, б), максимальная – двух и более этажей (рис. 3, в). Критические напряжения, опасные по горным ударам ($\sigma_{уд.}$), возникают на глубинах 400-600 м. При отработке запасов в пределах двух этажей критическая глубина по горным ударам составляет 400-450 м. Расчетная критическая глубина по горным ударам на месторождении Биркачан – 600 м.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

Породы и руды золоторудных жильных месторождений имеют высокие упругие свойства и способны к хрупкому разрушению под нагрузкой и поэтому являются потенциально удароопасными.

опасными.

Первоначальные напряжения горного массива распределены в пространстве неравномерно. Как на верхних, так и на глубоких горизонтах наряду со средненапряженными участками могут быть участки с повышенными напряжениями. На глубоких горизонтах месторождений действуют гравитационно-тектонические напряжения.

Расчетная критическая глубина по горным ударам составляет 400-600 м, но она весьма условна. Только отдельные участки месторождений могут быть

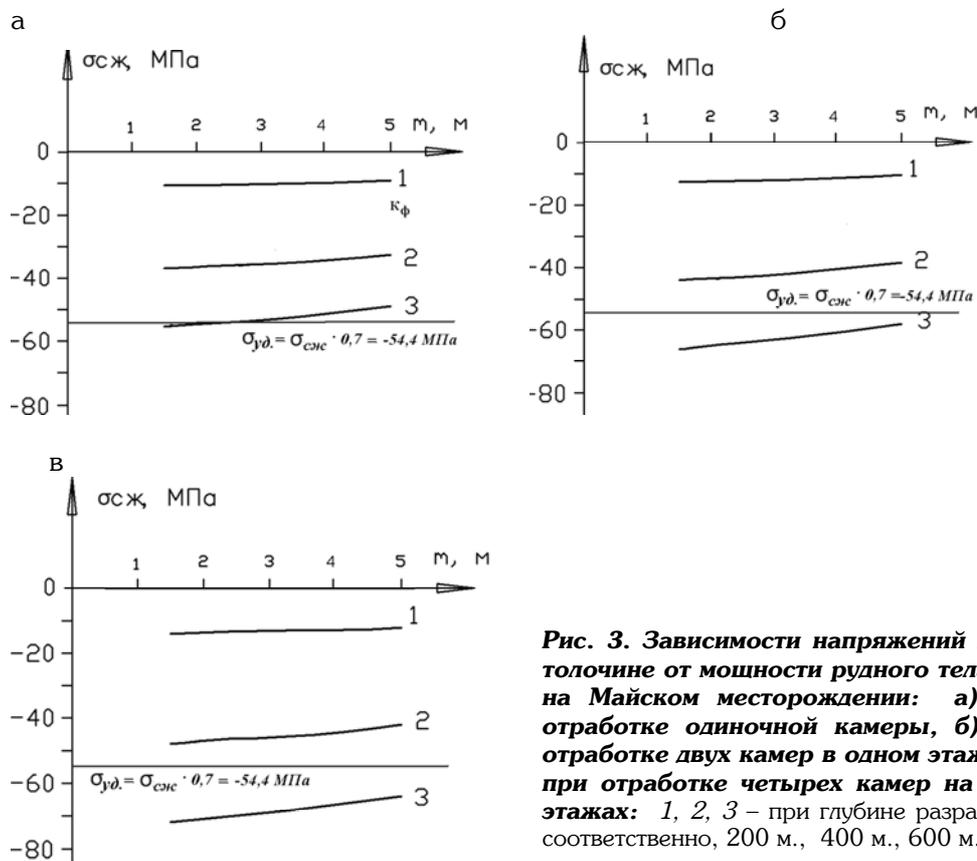


Рис. 3. Зависимости напряжений в потолочине от мощности рудного тела (m) на Майском месторождении: а) при отработке одиночной камеры, б) при отработке двух камер в одном этаже; в) при отработке четырех камер на двух этажах: 1, 2, 3 – при глубине разработки соответственно, 200 м., 400 м., 600 м.

опасными по горным ударам, прогнозирование которых должно осуществляться дополнительными комплексными инструментальными прогнозами специальными службами рудников под научных руководством специализированных организаций (ИргТУ, ИГД УрО РАН, МГУ и др.)

Согласно действующей инструкции [1] при появлении внешних признаков удароопасности пород и руд (стреляние, микроудары, собственно горные удары) руководитель предприятия совместно с территориальными органами Ростехнадзора обязаны издать Приказ об отнесении месторождения

к склонным по горным ударам и о создании Комиссии по горным ударам. Впоследствии Комиссия по горным ударам организует работы по прогнозу и профилактике горных ударов. Ответственность за выпуск Приказа возлагается на технического руководителя горнодобывающего предприятия.

Для исследуемых месторождений разработаны соответствующие Заключение о их потенциальной удароопасности, которые приняты ЗАО «Полиметалл инжиниринг», ведущей проектирование строящихся рудников Биркачан и Майское.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инструкция* по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99) / Колл. авторов. - М.: ГП НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России, 2000.-66 с.
2. *Кузнецов Г.Н.* Механические свойства горных пород / Г.Н. Кузнецов // М.: Углетехиздат, 1947.
3. *Влох Н.П.* Управление горным давлением на подземных рудниках / Н.П. Влох. – М.: Недра, 1994. –208 с.
4. *Филонюк В.А.* Механизм возникновения и закономерности пространственного распределения участков с относительно высокой и невысокой степенью естественной напряженности в горном массиве/Филонюк В.А., Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И. // Вестник ИрГТУ. – 2006. - № 2. – С. 93-97.
5. *Сосновский Л.И.* Геоинформационная модель напряженного состояния горного массива Дарасунского золоторудного месторождения//Л.И. Сосновский// Маркшейдерия и недропользование. - 2007. -№ 3.-С. 29-31.
6. *Сосновская Е.Л.* Геоинформационное моделирование фундаментальных свойств геологической среды для создания систем управления её геомеханическим состоянием / Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Филонюк В.А. // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: труды научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск: изд. Института горного дела СО РАН. - 2008.- С.469-476.
7. *Сосновская Е.Л.* Оценка потенциальной удароопасности Майского золоторудного месторождения // Вестник ИрГТУ. – 2010. - № 5. – С.76-81. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Сосновский Леонид Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, Иркутский государственный технический университет (ГОУ ВПО ИрГТУ), кафедра разработки месторождений полезных ископаемых (РМПИ), v10@istu.edu

Сосновская Елена Леонидовна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Иркутский государственный технический университет (ГОУ ВПО ИрГТУ), кафедра разработки месторождений полезных ископаемых (РМПИ) 1.gor@istu.edu



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)			
БАБКИН Евгений Александрович	Совершенствование, исследование и диагностирование систем управления асинхронного частотно-регулируемого электропривода механизмов буровой установки	05.09.03	к.т.н.