

Калмыков Вячеслав Николаевич

доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой подземной разработки
месторождений полезных ископаемых
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова,
455000, г.Магнитогорск, пр.Ленина, 38
e-mail: prmpi@magtu.ru

Петрова Ольга Викторовна

кандидат технических наук,
доцент кафедры подземной разработки
месторождений полезных ископаемых
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова
e-mail: prmpi@magtu.ru

Янтурина Юлия Данияровна

аспирант кафедры подземной разработки
месторождений полезных ископаемых
Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова
e-mail: yanturinayd@mail.ru

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ
ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ПРИ ОСВОЕНИИ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛА
ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ**

Аннотация:

Месторождения, характеризующиеся неблагоприятными горно-геологическими и горнотехническими условиями, в большей степени подвержены влиянию внешних негативных факторов. Сохранить устойчивость горнотехнической системы в данных условиях возможно за счет технологических резервов. Оценку устойчивости горнотехнической системы к негативному воздействию внешних факторов целесообразно производить на основе коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы.

Ключевые слова: устойчивость горнотехнической системы, внешние факторы, неблагоприятные горно-геологические условия, технологические резервы.

Kalmykov Vyacheslav Nikolaevich

doctor of technical science, professor, the head of
the chair of subsurface mineral resources mining
The Magnitogorsk State Technical University
named after G.I. Nosov
e-mail: prmpi@magtu.ru

Petrova Olga Viktorovna

candidate of engineering sciences,
the senior lecturer of the department deposits of
mineral resources
The Magnitogorsk State Technical University
named after G.I. Nosov
e-mail: prmpi@magtu.ru

Yanturina Yuliya Daniyarovna

post graduate student of the department
of subsurface mining the deposits
of mineral resources
The Magnitogorsk State Technical University
named after G.I. Nosov»
e-mail: yanturinayd@mail.ru

THE ASSESSMENT OF MINING TECHNOLOGY STABILITY BY SUBSURFACE DEVELOPMENT OF THE URALS ORE DEPOSITS

Abstract:

The deposits characterized by unfavorable geological and mining conditions, are more susceptible to negative external factors. To preserve the stability of a mining technology system in these conditions is possible at the expense of technological reserves. The assessment of a mining technological system stability to negative influence of external factors should be performed on the basis of a mining technological system stability factor

Key words: stability of mining technological system, external factors, adverse mining and geological conditions, technological reserves.

На сегодняшний день отработка рудных месторождений Урала, характеризующихся неблагоприятными горно-геологическими и горнотехническими условиями, а именно: сложным вещественным составом, малыми объемами запасов, низким содержанием полезных компонентов в руде и т. д. – подвержена существенному негативному влиянию внешних факторов, таких как изменчивость цен на металлы, спроса на продукцию и др. В таких условиях поддержание устойчивой эффективной работы горных предприятий затруднено и, зачастую, приводит к вынужденным разрывам в добыче полезных ископаемых, непредусмотренным проектным решениям, влекущим за собой

дополнительные затраты на добычу полезного ископаемого. Так, отработка Султановского месторождения (ОАО «УГОК») открытым способом периодически приостанавливается при снижении цены на медь и возобновляется при достижении приемлемого уровня.

Анализируя сырьевую базу на Урале, следует признать, что выявление здесь новых крупных богатых месторождений маловероятно и расширение минерально-сырьевой базы возможно лишь за счет месторождений, характеризующихся неблагоприятными горнотехническими и горно-геологическими условиями, таких как медноколчеданное месторождение Западно-Озерное, железорудное месторождение Суроямское (труднообогатимость руд); медноколчеданное месторождение Озерное (более 60 % запасов в верхней части месторождения отнесены к некондиционным ввиду наличия окисленных минералов меди и относительно низкого содержания ценных компонентов); Тамуньерское золоторудное месторождение (упорные к переработке руды); железорудное месторождение Малый Куйбас (низкое содержание металла в руде). Таким образом, эффективность отработки месторождений, характеризующихся низким содержанием полезных компонентов в руде, труднообогатимостью руды и сложным вещественным составом минерального сырья, возможна лишь при обеспечении устойчивости горнотехнической системы к изменчивости внешних негативных факторов, а именно ее способности сохранять текущее состояние в пределах заданных параметров при наличии внешних негативных воздействий путем формирования производственных резервов, в том числе на стадии проектирования*.

Анализ технико-экономических показателей отработки вышеуказанных месторождений показал, что в настоящее время проектные решения принимаются на основе детерминированных значений цен на полезные ископаемые, содержания полезных компонентов в руде, в результате чего даже незначительные колебания цен на металлы приводят к существенному снижению эффективности их отработки, что свидетельствует о неустойчивости технологических решений к воздействию макроэкономических факторов. Динамика цен на металл показала, что за последние 5 лет цена на железный концентрат колебалась с 52,33 \$/т до 130,61 \$/т, а на медь с 3096 до 9931,67 \$/т, т.е. средняя цена изменялась больше чем в 1,5 раза. Применительно к рудным месторождениям вероятная ошибка разведочных данных составляет не менее ± 30 %. При существующих тенденциях в разработку вовлекаются в основном запасы категории C_1 , ошибка подсчета которых составляет $\pm 30 - 60$ %. Так, по степени изученности запасы проектируемого к разработке Ново-Учалинского месторождения квалифицированы по категориям C_1 и C_2 , содержание полезных компонентов в которых меняется от 0,46 до 1,42 % и в среднем составляет 0,95 %, что свидетельствует о том, что при неподтверждении данных разведки отработка месторождения может быть нецелесообразна.

Сохранить текущее состояние в пределах заданных параметров при негативном влиянии внешних факторов возможно за счет изыскания технологических, технических, организационных, минерально-сырьевых резервов, резерва использования выработанных пространств, создаваемых и сохраняемых в процессе разработки месторождений полезных ископаемых на случай потери устойчивости горнотехнической системы.

Устойчивость горнотехнической системы при подземной разработке рудных месторождений возможно обеспечить реализацией вышеперечисленных резервов по следующим направлениям: сокращение объемов подготовительно-нарезных работ, снижение разубоживания и др. (технологические резервы); применение высокопроизво-

* Калмыков В.Н. К вопросу об обеспечении устойчивого развития горнотехнической системы при разработке рудных месторождений подземным способом / В.Н. Калмыков, О.В. Петрова, Ю.Д. Янгурина // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 10 Международной научной школы молодых ученых и специалистов. 18-22 ноября 2013 г. – М.: ИПКОН РАН, 2013.

дительного оборудования (технический резерв); повышение производительности труда рабочих, квалификации рабочих (организационные резервы); формирование техногенных месторождений (минерально-сырьевой резерв); использование открытых и подземных выработанных пространств (резерв использования выработанных пространств). Анализ технико-экономических показателей производственной деятельности предприятий показал, что определяющее влияние на финансово-экономические результаты и эффективность отработки оказывают технологические резервы.

Однако при выборе комплекса технологических решений необходимо учитывать, что резервы имеют ограничения. Так, на сегодняшний день при проектировании подземной разработки рудных месторождений не закладывается резерв по производственной мощности, т.е. принимается максимально возможная производственная мощность по горным условиям. Следует отметить, что в зарубежной практике принято закладывать очень значительный резерв производственной мощности горнорудных предприятий, который в некоторых случаях достигает 1,5 – 2 и позволяет оперативно реагировать на колебания внешних факторов, путем увеличения, либо уменьшения производственной мощности с целью обеспечения необходимого уровня устойчивости горнотехнической системы.

Оценку устойчивости горнотехнической системы к негативному воздействию внешних факторов целесообразно производить на основе коэффициента запаса устойчивости, который показывает, насколько может снижаться эффективность освоения запасов до того, как отработка месторождения окажется в зоне убытков (1). Нормативным значением коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы чаще всего в литературе считается его значение не ниже 10 %.

$$K_{уст} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^n 3_j Q_j + 3_{п} + P_{п} + A \right)}{\sum_{i=1}^n A_i C_i \varepsilon (1-P)(1-\Pi) \Pi_i + \sum_{k=1}^n \Pi_k Q_k} \right) \cdot 100 \geq 10\%, \quad (1)$$

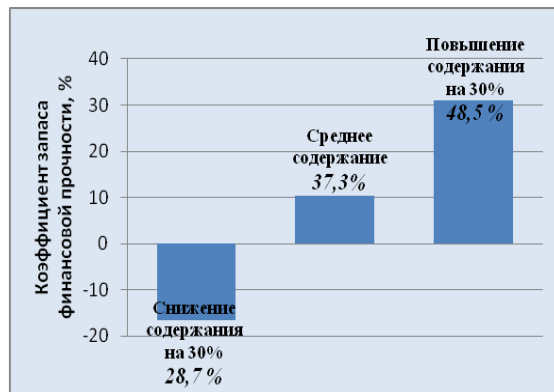
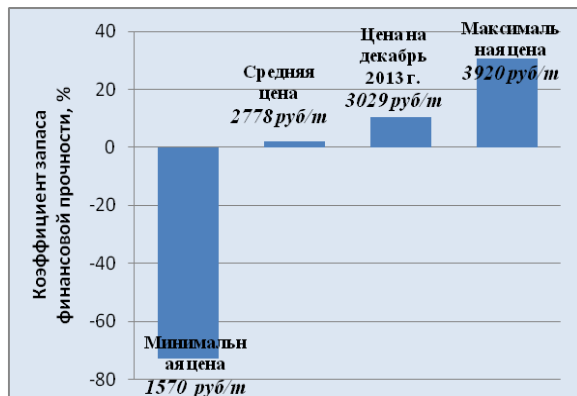
где $i=1...n$ – способ отработки месторождения: подземный, физико-химический; 3_j – удельные переменные затраты на j -й процесс при i -м способе разработки, руб/т (руб/м³, руб/м, руб/ткм); Q_j – объем работ, выполняемых в j -м процессе при i -м способе подземной разработки, т (м³, м, ткм); $3_{п}$ – постоянные затраты, руб.; $P_{п}$ – прочие расходы (в том числе НДС, экологические платежи), руб.; A – амортизация, руб.; A_i – производственная мощность при i -м способе подземной разработки, т/год; C_i – содержание металла в руде, доли ед.; ε – извлечение полезного компонента при обогащении, доли ед.; P – разубоживание руды, доли ед.; Π – потери руды, доли ед.; Π_i – стоимость полезного компонента на рынке металлов, руб/т; Π_k – ценность k -го техногенного георесурса, руб.; Q_k – объем k -го техногенного георесурса, т.

Значение коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы при освоении запасов месторождений Малый Куйбас, Озерное и Ново-Учалинское подземным способом на сегодня составляет, соответственно, 10,32; 7,6 и 12,56 %, что соответствует нормативному его значению. Однако при снижении цены на металл или содержания полезных компонентов в рудах на 10 % запас устойчивости горнотехнической системы будет отсутствовать.

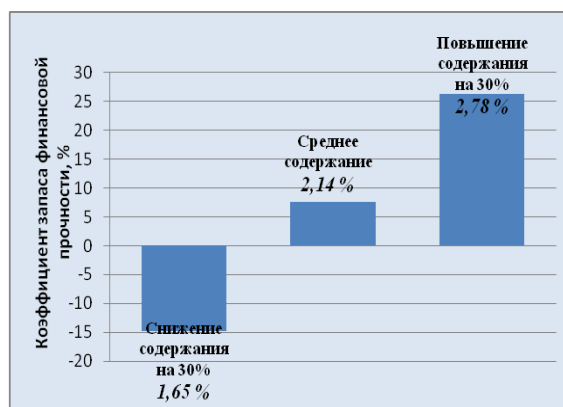
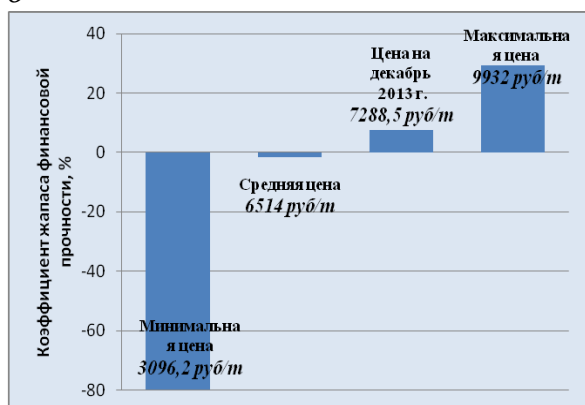
Оценка устойчивости горнотехнической системы к изменению цен на металлы и их содержания в руде при подземной разработке месторождений железных руд Малый Куйбас, медноколчеданных Озерное и Ново-Учалинское (рис. 1) показала их существенное влияние на эффективность горнотехнической системы. Так, при снижении содержания полезного компонента в руде на 30 % значение коэффициента запаса устойчивости меньше нуля, при отклонении содержания полезных компонентов в руде на +30 %, коэффициент запаса устойчивости горнотехнической системы увеличивается при

подземной разработке железорудных и медноколчеданных месторождений в 2,6 – 3 раза. При достижении минимального значения цен на металл устойчивость горнотехнической системы теряется. При среднем значении цен на металл на рынке коэффициент запаса устойчивости снижается в 3 – 5 раз, при максимальной цене увеличивается, соответственно, в 3 – 3,8 раза.

а



б



в

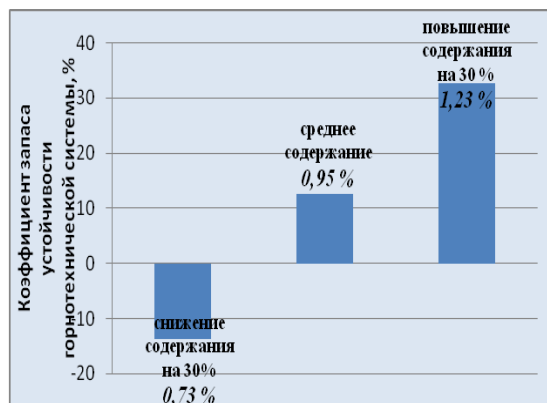
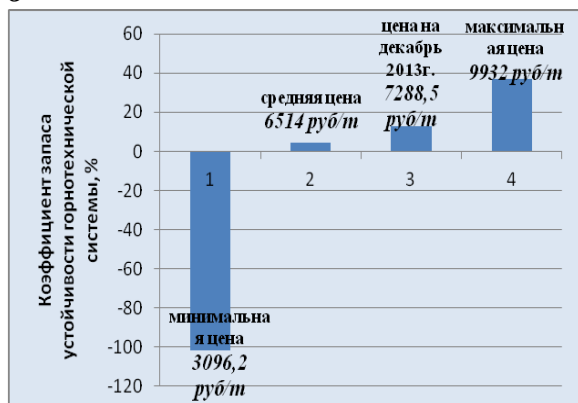


Рис. 1 – Динамика коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы при изменении цен на металлы, содержания полезных компонентов для условий месторождений:
а – Малый Куйбас; *б* – Озерное; *в* – Ново-Учалинское

Динамика устойчивости горнотехнической системы для условий подземной разработки месторождений железных руд Малый Куйбас, медноколчеданных Озерное, Ново-Учалинское при изменении технико-экономических показателей представлена на рис. 2.

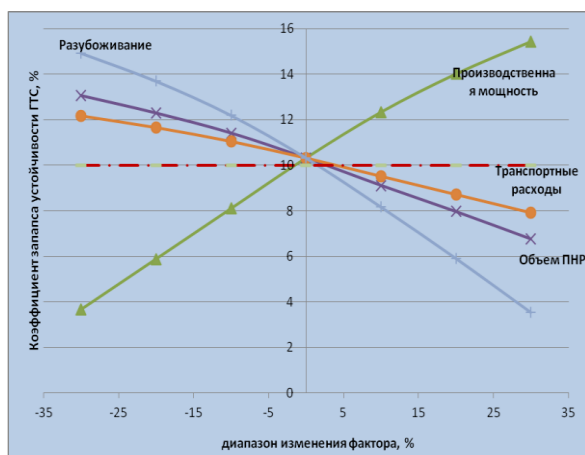
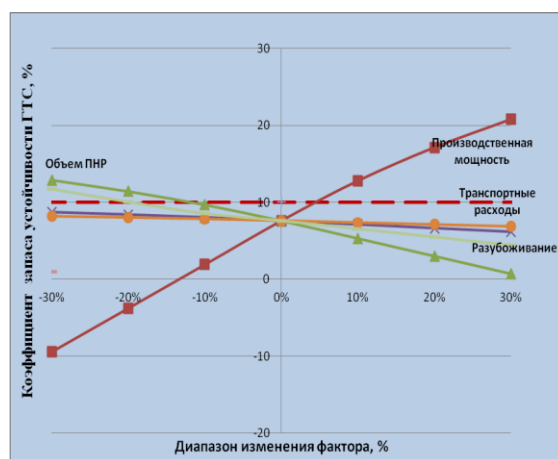
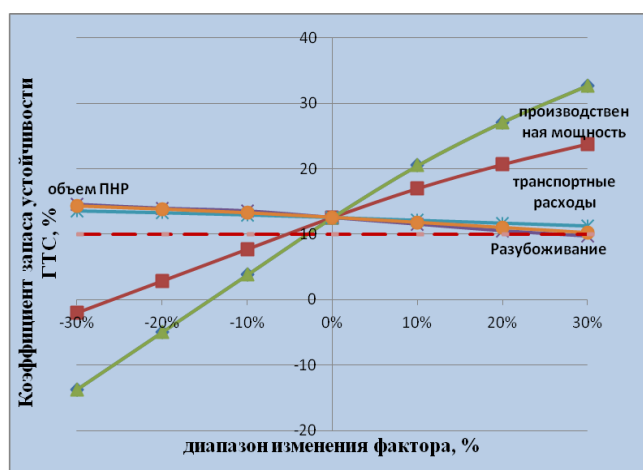
a*б**в*

Рис. 2 – Динамика коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы для условий месторождений: *a* – Малый Куйбас; *б* – Озерное; *в* – Ново-Учалинское

Из графиков видно, что наибольшее влияние оказывает производственная мощность подземного рудника. Объемы подготовительно-нарезных работ, транспортные расходы, разубоживание руды и др. оказывают приблизительно одинаковое влияние. Увеличение производственной мощности позволяет повысить устойчивость горнотехнической системы в 1,2 – 1,5 раза, а снижение уменьшает в 1,3 – 2 раза. Результаты расчета коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы при реализации различных резервов повышения устойчивости горнотехнической системы при подземной разработке на примере железорудного месторождения Малый Куйбас представлены в табл. 1. Очевидно, что реализация резервов по одному направлению не позволит существенно повысить устойчивость горнотехнической системы, что свидетельствует о необходимости их реализации во взаимоувязанном комплексе технологических, технических и организационных решений. Так, для условий подземной разработки железорудного месторождения Малый Куйбас повышение производственной мощности, увеличение скорости проходки подготовительно-нарезных работ и замена оборудования на более производительное, снижение разубоживания, а также использование карьерного пространства для подъема рудной и горной массы при подземной разработке месторождения, для вскрытия нижней части месторождения, сооружения скипового подъема на борту карьера и др. позволит повысить устойчивость горнотехнической системы на 12,14 %. В качестве альтернативного варианта возможно сократить объемы подготовительно-нарезных работ с 20,58 до 19,1 м³/1000 т путем замены системы раз-

работки с подэтажной отбойкой с донным выпуском на камерную систему разработки с подэтажной отбойкой с площадным выпуском при сохранении требуемой производительности блока и использованием выработанного подземного пространства для размещения различных видов производственных отходов, что позволит повысить устойчивость до 9 %. Таким образом, реализация резервов в едином комплексе различного рода решений позволяет увеличить устойчивость горнотехнической системы до нормативного значения.

Т а б л и ц а 1

**Результат расчета коэффициента запаса устойчивости горнотехнической системы
(на примере подземной разработки месторождения Малый Куйбас)**

Резерв повышения устойчивости горнотехнической системы при подземной разработке	Технологическое решение	Коэффициент запаса устойчивости горнотехнической системы, %
Повышение производственной мощности рудника	Увеличение производственной мощности на 10 %	5,87
Подготовительно-нарезные работы	Сокращение объемов ПНР на 7 %	3,98
	Увеличение скорости ПНР на 10 %	2,73
Оптимизация (логистика) транспортных процессов при подземной разработке	Сокращение транспортных расходов на 10 %	2,22
Качество добычи полезного ископаемого	Снижение разубоживания руды на 10 %	2,4
Вовлечение в разработку техногенных георесурсов	Использование выработанного карьерного пространства	6,27
	Использование подземного выработанного пространства	3,87

Таким образом, существенное влияние изменчивости внешних негативных факторов на технико-экономические показатели подземной разработки рудных месторождений обуславливает необходимость оперативного реагирования на стадиях проектирования и эксплуатации запасов месторождений за счет создания различного рода резервов, реализация которых обеспечит требуемую устойчивость горнотехнической системы и позволит обеспечить эффективность горного производства и снизить риск экономических потерь.