

## КРИТЕРИЙ АДАПТАЦИИ ГОРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

С.М. Рахимбеков

Казахский национальный технический исследовательский университет им. К.И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан, e-mail: Rahimbekov\_s@mail.ru

**Аннотация:** В горном производстве в большинстве случаев предпочитают применять адаптивную стратегию, поскольку она позволяет полностью использовать имеющуюся способность совершать правильные действия. Для эффективного решения постоянно возникающих горных задач в научном и в производственных планах, необходимо обновление принципов проектирования и конструирования применяемой горной технологии согласно адаптивной стратегии в реальном масштабе времени. Это обстоятельство было учтено и были поставлены и решены соответствующие горные задачи. Рассмотрена более подробно функциональная сторона критерия адаптации с целью обобщения на другие горные задачи. На примере решенной задачи адаптивного, оптимального размещения блоков показан итеративный алгоритм решения. Он включает описание проблемной ситуации, из которой вытекает критерий адаптации с раскрытием функциональной стороны. Для лучшего уяснения проводимой адаптивной стратегии раскрыто сходство и различия двух анализируемых в статье систем: технической системы (ТС) и природно-технической системы (ПТС). Одна из главных закономерностей развития ТС – путь адаптации к претензиям окружающей среды (ОС) и путь управления ими. Таким образом и происходит направление идеализации системы. Наша задача показать это и для ПТС. Представленная концепция адаптации применима и к другим горным задачам с учетом их специфики и претензий горнотехнической среды и горняка к решаемой задаче. Важно выделение основного критерия функционирования системы, которую эта задача образует.

**Ключевые слова:** адаптация, адаптивная стратегия, природная среда, фактор минерализации, прогнозирование, оптимизация, геомеханика.

**Для цитирования:** Рахимбеков С. М. Критерий адаптации горной технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3. – С. 105–113. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-105-113.

### Mining technology adaptation criterion

S.M. Rakhimbekov

K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan,  
e-mail: Rahimbekov\_s@mail.ru

**Abstract:** Mining practice prefers the adaptive strategy as it enables full use of the available ability to perform correct acts. Effective solution of perpetual theoretical and engineering problems in mining requires renewal of planning and design philosophy of mining technology according to the adaptive strategy in real time. With this circumstance taken into account, the appropriate mining problems have been set and solved. The article also scrutinizes the functional aspect of the adaptation criterion towards extension to other problems in mining. In terms of the solved problem on the optimized adaptive arrangement of stoping blocks, the iterative

---

algorithm of solution is presented. It includes the description of the problem situation yielding the adaptation criterion with the disclosure of its functional aspect. Aimed to improve understanding of the adaptive strategy, the likeliness and differences are presented for the two systems analyzed in the article: the technical system (TS) and the natural-and-technical system (NTS). One of the major trends of TS development is adaptation to the environmental challenges and their control. In this manner, the system tends to idealization. Our objective is to demonstrate the same trend in NTS. The presented adaptation concept is applicable to other mining problems, considering their specific nature as well as demands imposed by the technical system and miner on the problem under solution. It is important to distinguish the main criterion of functioning of the system this problem forms.

**Key words:** adaptation, adaptive strategy, natural environment, factor of mineralization, prediction, optimization, geomechanics.

**For citation:** Rakhimbekov S.M. Mining technology adaptation criterion. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3):105-113. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-105-113.

---

## Введение

Известно, что сила любой теории, любых теоретических построений определяется, прежде всего, возможностью выводить основные положения из посылок теории и прогнозировать те или иные тенденции в развитии объектов исследования, основываясь на положениях и следствиях теории. Провозглашаемая идея адаптивного ведения подземных горных работ на примере адаптивного и оптимального размещения выемочных единиц (блоков) на подготовленном горизонте выемочного поля была защищена на всевозможных форумах, включая защиту кандидатской и докторской диссертаций, где была обоснована актуальность темы исследования и приведен достаточный обзор литературы по теме, постановка проблемы, формулировка цели и задач исследования, описание методов и схем экспериментов/наблюдений, материалов, приборов, оборудования, выборка и условия проведения экспериментов/наблюдений, результаты, их обсуждение, заключение. Что касается постановки проблемы в данной статье, здесь рассмотрена более подробно функциональная сторона критерия адаптации с целью обобщения на другие горные задачи. Кроме того, любая эмпирически найденная закономер-

ность, проверенная на большом фактическом материале, должна вытекать из предлагаемой теории. Это в полной мере относится к проведенному и проводимому исследованию.

## Фундаментальное свойство горной технологии — адаптивность

Горная технология на всех периодах своего развития — это принятая жесткая, с точки зрения технической системы (ТС) конструкция. По мере развития горной технологии, пока нарастала и усложнялась ее природно-техническое содержание, ее характеристики были лучшим гарантом противодействия природной среде. Но с углублением проводимых горных работ и другими негативными проявлениями развития природно-технической системы (ПТС), росла сила претензий природной среды (ПС). Проявлялась нелинейность и неоднородность всей ПТС, увеличивалась ее неоднородность и, нарушался закон соответствия организаций ПТС и ПС. Типичной ошибкой проектирования объектов добычи полезных ископаемых оставалась аппроксимация нелинейных, но своей сути элементов системы линейными. Вместе с тем проведенный анализ геологических материалов по месторождению и технических проек-

там по объектам золотодобычи, показали множество случаев неправильных количественных представлений при интерпретации и экстраполяции данных геологической разведки.

Все это постепенно приводило к рас- согласованиям, которые постепенно за- ставляли ПТС адаптироваться к внеш- ней среде.

Ранее с учетом анализа характера факторов среды, содержания и числа критериев оптимальности нами была предложена в условиях неопределен- ности ситуаций «технология – среда» модель адаптации [1–3]. Концентриро- ванное выражение этой модели адап- тации и подрисуночная подпись пред- ставлены на рисунке.

В этих работах показано, что для лю- бой сложной системы, функционирующей в реальных условиях, как одно из глав-

ных фундаментальных свойств имеет ме- сто адаптивность, то есть такое свойство, которое и появляется в результате взаи- модействия системы со средой и позво- ляет ей приспособиться к воздействию факторов этой среды. Такое свойство ха- рактеризует динамические качества сис- темы.

Чем проще горно-геологические и другие условия природной и всей внеш- ней среды, тем выше адаптивные свой- ства применяемой горной технологии, благодаря которой выше производи- тельность системы разработки и в целом со- храняется оптимальный и постоянный уровень протекания технологических процессов. Очевиден тот факт, что эф- фективность адаптации определяется ка- ким-то механизмом, обеспечивающим эту адаптацию к характеристикам сре- ды, также очевидно, что этот механизм



Интерактивная схема адаптации агрегата и среды  
Interactive chart of machine-and-operating environment adaptation

есть не что иное, как вырабатываемые решения, осуществляемые через самые различные технические устройства и персонал.

Процесс же адаптации, как и для любой человеко-машинной системы во всех случаях один и тот же: это, прежде всего, получение информации о состоянии системы и об изменениях всей внешней среды, включая природную; логическая обработка полученной информации; использование консолидированной информации для изменения поведения системы в результате логической обработки. Обратим внимание на то, что мы как бы подразделяем понятия внешней и природной сред, имея ввиду то обстоятельство, что внешняя среда в подавляющем числе случаев принимается как объективная данность, внутреннюю же среду горнотехнического объекта, в том числе опосредованно природную, мы пытаемся рассмотреть, как объект управления. Причем, чем неопределеннее внешнее окружение, тем труднее принимать эффективные технологические решения во внутренней же среде, такова синергетическая природа взаимосвязи сред нашего природно-технического объекта. Следует отметить также, что консолидированная информация не в полной мере используется в рассматриваемой природно-технической системе. Она для этого недостаточно организована по структуре, составу и свойствам по многим причинам.

Например, из-за рассредоточения измерительных точек в пространстве на значительные расстояния, доходящие до нескольких десятков километров, из-за размещения их не только на поверхности, но и под землей, и из-за того, что объектами измерения являются породные массивы вокруг открытых и подземных выработок, имеющих значительные размеры или протяженность, сложность конфигурации и различных свойств.

Между тем, если система плохо организована, то информация полностью не может быть использована и, как следствие, адаптация не может быть полной, и эффективность работы такой системы, соответственно, будет ниже. Хотя, по определению, логическая консолидация — информация, возможно, распределенная, но с точки зрения пользователя — горняка, находится в едином хранилище, имеет общий каталог и единообразный доступ персонала к ней.

Эти обстоятельства также определяют специфику проектирования в горном деле, она обусловлена специфичностью и уникальностью каждого месторождения полезного ископаемого, особенным жизненным циклом, определяемым характеристиками запасов и прежде всего их исчерпаемостью. Поэтому предлагаемая концепция горного проекта извне часто не срабатывает, дает сбои в реальных условиях функционирования природной — технической системы из-за специфики условий и, частью вынуждена быть скорректированной, а частью сгенерированной по ходу разработки месторождения, что и является адаптацией. Таким образом, оптимизация носит здесь более эвристический характер, имеет «природную целенаправленность».

Таким образом наличие природной среды со своими характеристиками и наличие ЛПР (лица, принимающего решения) с другой стороны, во всех иерархиях технологических процессов, во всех иерархиях узлов управления определяет проявления адапционных свойств с разным уровнем степени проявления этого свойства, который, в свою очередь, зависит от характеристик указанных двух составляющих. В условиях, когда и природная и внешняя среды характеризуются все возрастающей неопределенностью и очень высоким уровнем подвижности, свойство адаптации становится

решающим в процессе оптимального управления горным предприятием и в целом его эволюции. В условиях быстро меняющейся и неопределенной обстановки наиболее устойчиво работают те горные предприятия, которые быстрее приспосабливаются, т.е. адаптируются к всевозможным изменениям в окружающей среде.

### **Адаптивное развитие ТС и ПТС**

Далее покажем для лучшего уяснения проводимой адаптивной стратегии сходства и различия этих двух систем: технической системы (ТС) и ПТС.

В принципе, любая ТС испытывает на себе воздействия внешней, в том числе, природной среды. Вместе с тем добыча полезных ископаемых определяется потребностями человеческого общества в нем, и в то же время потребность — движущая сила горной техники и технологии.

Но в отличие от любой технической системы, в природно-технической системе (ПТС) горная технология на определенном этапе развивается до тех пор и постольку, поскольку природные и другие условия соответствуют возможностям этой технологии приспосабливаться к колебаниям и изменениям этих условий. Все проектные решения по выбору горной технологии генерируются и далее оптимизируются только исходя из специфики индивидуальных особенностей конкретного месторождения. С неформальной точки зрения адаптация (лат. *adapto* — прилаживание, приспособление) — это свойство системы, в том числе природно-технической (ПТС) из-за меняющейся во времени природной среды показателя сохранения, либо улучшения своего устойчивого состояния. Эта тенденция, т.е. динамика в функционировании технических систем, в том числе природно-технической (ПТС), является определяющей и главной. Тех-

нические системы имеют преимущественно жесткие связи между частями и жесткую структуру, которые не позволяют им адаптироваться к меняющимся условиям среды. Однако в процессе развития системы жесткие связи и структура заменяются на подвижные, гибкие, динамичные, легко поддающиеся управляемому изменению. Причем степень этой подвижности постоянно увеличивается при «освоении» окружающей среды (ОС) путем введения новых гибких, подвижных связей. Это вызвано многоуровневостью ОС. Стоит отметить, что само по себе введение подвижных связей между частями ТС становится тривиальным, оно известно из курса теории машин и механизмов.

Поэтому можно предположить, что увеличение степени адаптации — один из объективных и важных законов развития, который можно также отнести и к природно-технической системе. С другой стороны, хорошо продуманная потребность должна содержать в себе анализ, выявление и определение всевозможных критериев, которые должны быть в первую очередь верными, т.е. социально признанными. Поэтому вновь на приведенном примере одной из актуальных задач оптимального размещения выемочных участков на отрабатываемом горизонте месторождения рассмотрим более подробно функциональную сторону критерия адаптации. Идея подметить адаптивность в этой задаче не произвольна, а вполне закономерна и имеет определенную направленность — стремление приспособить ПТС к меняющимся условиям, чтобы в итоге повысить эффективность системы. Чтобы понять во всех тонкостях поведение такой сложной системы, как ПТС, следует отметить, что приходится использовать не одну модель при формировании блока «наблюдения среды (ОУ), предварительная идентификация

ее свойств» на выше приведенном рисунке.

С этой целью, во-первых, наша задача состояла в разработке или в умелом использовании существующих информационных технологий для выявления закономерностей в первичных разведочных данных, слишком многочисленных, чтобы с ними можно было оперировать вручную.

В результате применения этих технологий данные преобразуются либо в более компактную, информативную и удобную для пользователя форму, либо, в случае геомеханических данных, — в обобщающую форму (например, модель, описывающую процесс и предсказывающую поведение системы в условиях, выходящих за пределы тех, которые были использованы в данной серии наблюдений).

Выявляя в данных взаимосвязи, не обнаруживаемые простым тривиальным анализом, подобным, например, статистическим расчетам средней величины или среднего квадратичного отклонения. Что касается набора методов анализа данных, то он представлен, в первую очередь, средствами графической визуализации данных. С их помощью можно находить зависимости, тренды и смещения, «скрытые» в неструктурированных наборах данных. К другим аналитическим графическим методам относятся подгонка и построение функций, сглаживание данных, наложение и объединение нескольких изображений, категоризация данных, расщепление или слияние подгрупп данных на графике, агрегирование данных.

Исходной информацией для решения любой поставленной горной задачи, а в данной статье для краткой иллюстрации и апробации приведенных выше утверждений служат данные геологического отчета о детальной разведке месторождения, данные проводимой

на руднике эксплуатационной разведки, проекта временных или постоянных кондиций, а также проектного задания на разработку месторождения. Выбор конкретной математической модели, а, в случае модели особенностей строения и оруденения месторождения определяется основными параметрами (вид, характер) выделяемых выборок. Следует проводить в каждом конкретном случае анализ, прежде всего выделяемых выборок и давать оценку основным ее характеристикам.

Можно из богатейшего опыта разработки технических систем (ТС) взять обобщения многочисленных примеров, когда в новом витке развития системы неуправляемые вещества и поля заменяются управляемыми [4–6]. Далее мы покажем это на примере решенной задачи размещения выемочных блоков на обрабатываемом горизонте. Современная техника, в том числе горная, приспособляясь к меняющимся внешним или внутренним условиям, обязательно должна динамизироваться введением подвижных, гибких связей между частями системы или использованием подвижности структуры системы и различных уровней организации вещества ее элементов.

Это одна из главных закономерностей развития ТС — по пути адаптации к претензиям окружающей среды (ОС) и по пути управления ими. Таким образом и происходит направление идеализации системы. Наша задача показать это и для ПТС. В качестве системы динамизирующейся в горнотехнической среде мы рассматриваем задачи горной технологии.

### **Адаптационная задача горной технологии — учет влияния изменчивости оруденения**

Нами в ряде работ тщательно исследовано влияние изменчивости орудене-

ния и параметров размещения блоков на технологические и технико-экономические показатели горного производства. На основе полученных результатов делается вывод о существенной зависимости параметров горной технологии и экономики производства от изменений геологических величин в пространстве.

Практическое использование результатов математического моделирования наблюдаемой изменчивости оруденения привело к существенному повышению точности оценки геологических характеристик и было необходимо для правильного обоснования кондиций и границ извлечения запасов из недр, систем разработки и конструктивных элементов выемочных единиц, нормативов количественных и качественных потерь полезных ископаемых, планов добычи и пр. Однако при решении этих задач в проектной и рудничной практике пространственная изменчивость геологических величин далеко не всегда принимается во внимание, вследствие чего допускаются ошибки при определении основных параметров разработки месторождений и их участков, размещении выемочных единиц на разрабатываемом этаже. Зачастую имеет место их нерациональное размещение, когда междублоковые целики располагаются на обогащенных металлом участках, а внутри камер оказываются сравнительно бедные запасы. Длина блоков, размещаемых в пределах промышленного контура залежи, принимается, как правило, одинаковой, а их число и местоположение на этаже определяются исходя из условия непрерывного распределения блоков по простиранию залежи. Как следствие этого, снижаются полнота и эффективность разработки месторождения. Особенно большой ущерб наносится в случае оставления охранных целиков в недрах из-за их подработки и невозможности выемки. Для практического использования

результатов математического моделирования наблюдаемой изменчивости оруденения была не только выявлена и описана изменчивость оруденения, но и увязана с параметрами разработки и размещения блоков на этаже.

Для установления конкретных зависимостей потерь и извлечения запасов из недр от наблюдаемой изменчивости оруденения, а также параметров размещения блоков (их длины, числа и местоположения) в пределах промышленного участка залежи, был проведен ряд направленно-ориентированных вычислительных экспериментов.

Суть методики проведения экспериментов заключался в вычислениях показателей потерь и извлечения запасов из недр с учетом установленной функции изменчивости анализируемого параметра (мощности, содержания, линейного запаса металла, угла падения и др.) и при варьировании значений длины, места положения и числа блоков. Другими словами, эксперименты позволяли установить конкретные зависимости потерь и извлечения запасов из недр от наблюдаемой изменчивости оруденения, а также параметров размещения блоков (длины, их числа и местоположения) в пределах промышленного участка залежи.

### **Выводы**

Резюмируя все вышесказанное, можно сделать следующий вывод. Наличие природной среды со своими характеристиками и наличие ЛПР (лица, принимающего решения) с другой стороны, во всех иерархиях технологических процессов, во всех иерархиях узлов управления определяют проявления адаптационных свойств с разным уровнем степени проявления этого свойства, который в свою очередь зависит от характеристик указанных двух составляющих. Вместе с тем, обобщая вышесказанное,

можно каждый раз выделять основную претензию горнотехнической среды и горняка к решаемой задаче или системе, которую эта задача образует. Таковой является в подробно рассмотренной горной задаче игнорирование особенностей пространственной изменчивости геологических величин, которая и приводит к снижению полноты и эффективности разработки месторождения.

Новой особенностью горнотехнической среды является то, что ее составляющие, а именно выемочные единицы в решаемой задаче, как правило, имеют новые определенные размеры, которые могут меняться в процессе решения задачи.

Важно и то, что представленная концепция адаптации применима и к другим горным задачам с учетом их специфики и претензий горнотехнической среды и горняка к решаемой задаче. Мы уже отмечали относительно базы данных, что имеют

место две наиболее крупные и важные для учета совокупности данных: данные оруденения и данные геомеханики, которые участвуют в своем классе задач синтеза и оптимального функционирования горного производства и выдвигают свои объективные требования к проектируемому процессу ведения подземных горных работ [7–13]. В каждом своем случае они учитываются конкретной постановкой задачи анализа горногеологической ситуации и выбором соответствующих критериев и будут рассматриваться в наших следующих публикациях. Уместно отметить важность выделения основного критерия функционирования системы, которую эта задача образует. Для задач синтеза и оптимального функционирования горного производства, где фигурируют данные геомеханики, основным критерием функционирования системы является безопасность ведения подземных горных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рахимбеков С.М. Оптимизация конструктивных параметров очистных блоков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 4. — С. 46–50.
2. Рахимбеков С.М., Ким Е. Автоматизация методов оценки изменчивости оруденения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2007. — С. 76–83.
3. Рахимбеков С.М. Адаптация в горном деле. Монография. — Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2015. — 414 с.
4. Arjang B. Database on Canadian in situ ground stresses. CANMET mining and mineral sciences laboratories / Division Report MMSL 01–029, March 2001 (revised 2014).
5. Альтшуллер Г. Алгоритм изобретения, 3-е изд. — М., 2014. — 215 с.
6. Ostrovsky D., Rodenski Y. Data base. Apress, 2015.
7. Цехановский В.В., Чертовской В.Д. Управление данными. Учебник. — СПб.: Лань, 2015. — 432 с.
8. Бычков И.В., Опарин В.Н., Потапов В.П. Облачные технологии в решении задач горной геоинформатики // ФТПРПИ. — 2014. — № 1.
9. Rodkin M. V., Pisarenko V. F., Ngo Thi Lu, Rukavishnikova T. A. On potential representations of the distribution law of rare strongest earthquakes // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. Vol. 5. No 4. Pp. 893–904.
10. Shestopalov I. P., Kharin E. P. Relationship between solar activity and global seismicity and neutrons of terrestrial origin // Russian Journal of Earth Sciences, 2014. Vol. 14. No 1. Pp. 1–10. DOI: 10.2205/2014ES000536.
11. Vikulin A. V. Geodynamics as wave dynamics of the medium composed of rotating blocks // Geodynamics & Tectonophysics. 2015. Vol. 6. No 3. P. 345–364.
12. Marinho A., Tipe L. M. Traditional versus stochastic mine planning under material type and grade uncertainties / Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry — Proceedings of the 37th International Symposium, APCOM 2015.



13. Кубрин С.С., Мазаник Е.В., Кигалов Н.Н. Автоматизированная система поддержки принятия технологических решений и комплексного синтезирующего мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — Об 1. — С. 267–278. **ПЛАБ**

## REFERENCES

1. Rakhimbekov S.M. Optimization of structural parameters of stoping blocks. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 4, pp. 46–50. [In Russ].
2. Rakhimbekov S.M., Kim E. Automation of mineralization variability assessment techniques. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2007, pp. 76–83. [In Russ].
3. Rakhimbekov S.M. *Adaptatsiya v gornom dele*. Monografiya [Adaptation in mining. Monograph], Lap Lambert Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2015, 414 p.
4. Arjang B. Database on Canadian in situ ground stresses. CANMET mining and mineral sciences laboratories. *Division Report MMSL 01–029*, March 2001 (revised 2014).
5. Al'tshuller G. *Algoritm izobreteniya*, 3-e izd. [Invention algorithm, 3rd edition], Moscow, 2014, 215 p.
6. Ostrovsky D., Rodenski Y. *Data base*. Apress, 2015.
7. Tsekhanovskiy V.V., Chertovskoy V.D. *Upravlenie dannymi*. Uchebnik [Data control. Textbook], Saint-Petersburg, Lan', 2015, 432 p.
8. Bychkov I.V., Oparin V.N., Potapov V.P. Cloud technologies in solution of mining geo-information science problems. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2014, no 1. [In Russ].
9. Rodkin M.V., Pisarenko V.F., Ngo Thi Lu, Rukavishnikova T.A. On potential representations of the distribution law of rare strongest earthquakes. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. Vol. 5. No 4. Pp. 893–904.
10. Shestopalov I.P., Kharin E.P. Relationship between solar activity and global seismicity and neutrons of terrestrial origin. *Russian Journal of Earth Sciences*, 2014. Vol. 14. No 1. Pp. 1–10. DOI: 10.2205/2014ES000536.
11. Vikulin A.V. Geodynamics as wave dynamics of the medium composed of rotating blocks. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2015. Vol. 6. No 3. P. 345–364.
12. Marinho A., Tipe L.M. Traditional versus stochastic mine planning under material type and grade uncertainties. *Application of Computers and Operations Research in the Mineral Industry – Proceedings of the 37th International Symposium, APCOM 2015*.
13. Kubrin S.S., Mazanik E.V., Kigalov N.N. Automated system of process design decision-making support and integrated synthesis monitoring. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. Special edition 1, pp. 267–278. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Рахимбеков Сармантай Мадиевич — д-р техн. наук,  
Академик НАГН Республики Казахстан,  
Казахский национальный технический исследовательский университет  
им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, e-mail: Rakhimbekov\_s@mail.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

S.M. Rakhimbekov, Dr. Sci. (Eng.),  
Academician of the NAMS of the Republic of Kazakhstan  
K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University,  
Almaty, Kazakhstan, e-mail: Rakhimbekov\_s@mail.ru

Получена редакцией 25.02.2019; получена после рецензии 28.05.2019; принята к печати 20.02.2020.  
Received by the editors 25.02.2019; received after the review 28.05.2019; accepted for printing 20.02.2020.