Ep 6.7
623

ISSN 0136-3549
0203-9737

TALLINNA
POLÜTEHNILISE INSTITUUDI
TOIMETISED

TPI
'86

623

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЭСТОНСКОЙ ССР

Ep.6.7

623

TPI '86

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЭСТОНСКОЙ ССР

Горное дело Х111

Таллин 1986

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ТРУДЫ ТПИ № 623
ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ЭСТОНСКОЙ ССР
Горное дело XIII
На русском языке
Ответственный редактор К. Оясте
Технический редактор Е. Зорина
Сборник утвержден коллегией Трудов ТПИ 6.03.1986 г.
Подписано к печати 17.12.1986 г.
МВ-11715
Формат 60x90/16
Печ. л. 4,5 + 0,25 прилож.
Уч.-изд. л. 3,9
Тираж 300
Заказ № 578
Цена 60 коп.

Таллинский политехнический институт
200108 Таллин, Эхитаяте теэ, 5
Ротапринт ТПИ
200006 Таллин, ул. Коскла, 2/9

Teaduslik Raamatukogu
ENSV TA
TALLINN
АН ЭССР
Научная библиотека

© Таллинский политехнический институт, 1986

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 553.04.003

Р.А. Пязок

О КОНДИЦИЯХ НА МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ И ВЗАИМОСВЯЗИ ПОЛНОТЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАПАСОВ С ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Границы извлечения запасов месторождений минерального сырья устанавливаются с помощью натуральных лимитных показателей, составляющих в своей совокупности кондиции на минеральное сырье. Содержание, методика расчета и порядок утверждения кондиций регламентируются действующей инструкцией Государственной комиссии по запасам [6]. Величины показателей кондиций определяются технико-экономическими расчетами в виде непосредственного сопоставления затрат на добычу сырья с доходами от его реализации. Образующиеся в результате этого геометрические контуры подлежащих выемке запасов одновременно следует считать экономическими границами извлечения минерального сырья.

По вопросам состава показателей кондиций и экономических критериев их обоснования выполнено такое количество научных исследований и высказывается так много разных мнений, часто диаметрально противоположных, как ни в какой другой области экономики минерального сырья (см., например, [3, 4, 7, 9, 10, 12, 13, 16–18]. Очевидно, для этого имеются веские причины. Прежде всего, такое множество толкований и взглядов порождено чрезвычайной сложностью самой проблемы, хитросплетением природно-геологических закономерностей оруденения с технико-технологическими особенностями извлечения запасов и экономическими показателями горного производства. Кроме того, это можно расценивать как отставание теоретической проработки проблемы от практики. Теория еще не сказала своего окончательного слова в деле унификации применяемых в практике методов установления кондиций, в создании единой научной основы для этого.

В зависимости от вида минерального сырья, конфигурации залежи и предполагаемого способа ее выемки кондиции насчитывают до десяти натуральных показателей, но наиболее важными из них являются два: бортовое и минимальное промышленное (иногда его называют минимальное среднее) содержание полезного компонента в минеральном сырье. Вокруг этих показателей в основном и разворачивается научная дискуссия. Предметом дискуссии являются вопросы: в какой взаимосвязи находятся отмеченные показатели для конкретного месторождения и обязательно ли они оба должны определяться в составе кондиций; по какому экономическому критерию они должны рассчитываться, какие виды затрат горно-добывающего предприятия следует включить в их расчет?

Ответить на эти вопросы можно лишь после четкого уяснения содержания, вкладываемого в понятия бортовое и минимальное среднее содержание.

Бортовое содержание является непосредственным признаком, по которому производится разделение вынимаемых и оставляемых в недрах запасов минерального сырья. Оно образует вполне определенную геометрическую поверхность - контур извлечения запасов месторождения. Экономическим критерием для расчета бортового содержания является нулевая рентабельность добычи и использования сырья. Бортовое содержание относится к малому (элементарному) объему запасов в приконтурной зоне. Таким малым объемом в практике могут служить, например, количество взорванной руды в забое (объем одного отпала), последняя доза выпуска руды из блока при системах с массовым обрушением и т.д.

Минимальное промышленное содержание полезного компонента в горной массе - второй показатель кондиций на минеральное сырье, призванный дополнить показатель бортового содержания. Как явствует из инструктивных материалов [6], он относится к отдельным блокам, участкам, залежам, но иногда может рассчитываться по месторождению в целом. Его задача - гарантировать минимальную экономическую эффективность промышленного использования месторождения в целом. Действительно, если с помощью этого показателя будет обеспечено безубыточное извлечение запасов наихудшего по качеству минерального сырья участка, то рентабельная разработка месторождения не должна вызывать сомнения. Минимальное промышлен-

ное содержание определяется, как и бортовое, по условию нулевой рентабельности добычи и использования сырья данного участка. Разница лишь заключается в том, что при расчете бортового содержания некоторые виды затрат предприятия исключаются.

Таким образом, действующее положение о кондициях и используемые в нем показатели имеют ориентацию на нулевую рентабельность работ.

В 1979 году была утверждена новая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых [2], положившая в основу измерения эффективности использования недр интегральный показатель - общий доход от эксплуатации месторождения в целом, исчисляемый в виде разности между извлекаемой ценностью сырья и общими (капитальными и эксплуатационными) затратами на его добычу и обогащение. В соответствии с рекомендациями методики оценка месторождения производится по нескольким вариантам его оконтуривания. Показатели кондиций считаются оптимальными у варианта, обеспечивающего максимум дохода по месторождению в целом. Таким образом, вместо нулевой (либо минимально необходимой) рентабельности добычи единицы минерального сырья критерием оптимальности оконтуривания месторождения стала максимальная рентабельность в расчете на единицу геологических запасов месторождения.

Новая методика экономической оценки месторождений проливает свет на некоторые спорные вопросы в области кондиций и позволяет иначе осмыслить понятия используемых показателей бортового и минимального промышленного содержания полезного компонента в сырье.

Если мы будем приращивать запасы месторождения путем постепенного включения в выемочный контур все более бедных участков, то наступит момент, когда прибыль от использования сырья из очередного включаемого в эксплуатацию элементарного объема его снизится до нуля. Соответствующий же этому моменту общий доход по месторождению (экономическая оценка месторождения) будет максимальным. По существу мы здесь имеем дело с дифференциальной и интегральной функциями эффекта. Интегральный эффект достигает максимума тогда, когда дифференциальный эффект от использования дополнительного элементарного объема сырья снижается до нуля.

Таким образом, бортовое содержание, определяемое по условию нулевой рентабельности использования приращиваемых запасов сырья, является важнейшим показателем кондиций, направленным на максимизацию эффекта от эксплуатации месторождения. При определении бортового содержания во внимание следует брать лишь предстоящие затраты, непосредственно связанные с выемкой данного объема горной массы; иначе говоря, приростные или маржинальные затраты (по терминологии Т.А. Гатова - "дифференциальная себестоимость" [3]).

Что касается показателя минимального промышленного содержания полезного компонента в сырье, то в свете критерия максимума дохода от эксплуатации месторождения его роль представляется нам весьма расплывчатой. На все запасы месторождения распространить этот показатель нельзя, поскольку сразу возникает противоречие с критерием оптимальности. Неясным остается объем участков и блоков, на который могло бы распространяться понятие минимального промышленного содержания. Если этот объем небольшой, то принципиальное различие между показателями бортового и минимального промышленного содержания исчезает. При больших же объемах участков и блоков, оконтуриваемых по признаку минимального среднего содержания, нарушается требование максимума эффекта по месторождению.

На месторождениях гомогенного типа, представленных одной залежью со сравнительно несложными закономерностями оруденения, при оконтуривании запасов достаточно ориентироваться на бортовое содержание полезного компонента. Как показатель кондиций оно определяет величину среднего содержания по залежи и вместе с последним достаточно просто контролирует полноту извлечения запасов в соответствии с принятым критерием оптимальности. Показатель минимального промышленного содержания может распространяться (причем с большими оговорками) на изолированные рудные тела сложных месторождений, чтобы гарантировать безубыточную выемку таких рудных тел. Однако с методической точки зрения более корректным будет определение контуров каждой отдельной залежи не по условию нулевой рентабельности ее выемки, а по условию максимума дохода от эксплуатации месторождения в целом. Эти условия могут и не совпадать.

Весьма важным и почти неотраженным в многочисленных публикациях по методологии обоснования кондиций на минеральное сырье является вопрос взаимосвязи закономерностей оруденения и возможного порядка отработки месторождения с полнотой извлечения его запасов. Эта взаимосвязь может не только определять выбор наиболее объективного в данных условиях показателя кондиций, но и требовать в некоторых случаях даже различного подхода к расчету одного и того же показателя. На рис. I приведены два примера, иллюстрирующие отмеченное положение.

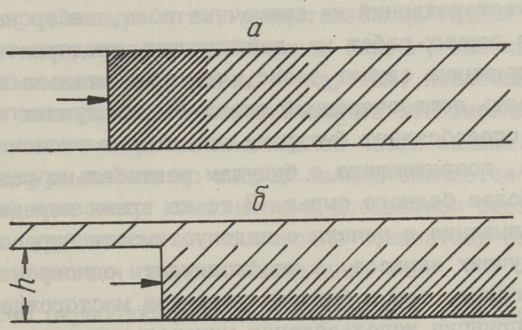

Рис. 1. Возможные закономерности распределения полезного компонента в залежи (уровень содержания соответствует частоте штриховки) и направления выемки запасов.

В первом примере выемка запасов ведется в направлении снижения содержания полезного компонента, т.е. ухудшения качества сырья. Можно считать, что эксплуатация месторождения подобным образом позволяет обойтись вообще без потерь запасов (кроме эксплуатационных потерь в целиках). По мере роста потребности и цен на сырье, либо снижения затрат на добычу вследствие научно-технического прогресса, границы рентабельного использования запасов во времени постоянно расширяются путем вовлечения в эксплуатацию новых участков месторождения с более бедным сырьем. В принципе эксплуатация может быть даже прерывной: приостановленные на некоторое время горные работы возобновляются с того момента, когда использование оставшейся части запасов становится рентабельным. Первоначальное оконтуривание месторождения здесь не играет существенной роли и не угрожает потерями минерального сырья в недрах.

Показателем кондиций служит бортовое содержание полезного компонента в руде, определенное по условию нулевой рентабельности использования приращиваемых запасов, т.е. в полном соответствии с действующим положением о порядке расчета кондиций [6].

Рассмотренный на рис. I вариант "а" полностью согласуется с широко распространенным принципом использования ресурсов минерального сырья "от лучших к худшим". Именно таким образом производится ранжирование месторождений при определении очередности вовлечения их в эксплуатацию, раскройка месторождений на выемочные поля, выбор направлений развития горных работ на действующих предприятиях. Аргументацией принципа служит тезис, что сравнительно высокая эффективность первоочередной эксплуатации лучших по качеству запасов способствует быстрому накоплению экономического потенциала, позволяющего в будущем рентабельно разрабатывать запасы более бедного сырья. В то же время нередкими являются высказывания в печати о недопустимости первоочередной выемки лучших запасов, о необходимости одновременной выемки как бедных, так и богатых участков месторождения. На наш взгляд, принцип использования минеральных ресурсов "от лучших к худшим" является экономически оправданным при соблюдении единственного условия: сегодняшняя выемка богатых участков месторождения не должна приводить к безвозвратным потерям запасов более бедного сырья или к ухудшению возможностей их выемки в будущем.

Проблема рационального оконтуривания балансовых запасов месторождений значительно усложняется тогда, когда указанное условие не соблюдается и отработка лучших участков нарушает по условиям горной технологии возможность последующей выемки запасов бедного сырья, которые нередко теряются навсегда. Чтобы не допускать таких потерь, приходится бедные участки включать в промышленный контур и отрабатывать совместно с богатыми, а это снижает экономические показатели предприятия. Классическим примером здесь может служить вариант "б" на рис. I, когда вынимаемая одним слоем залежь имеет переменное содержание полезного компонента по ее высоте, снижающееся от подошвы к кровле. Такой характер распределения полезного компонента по залежи распространен довольно широко. Так распределяются металлы в сульфидных медно-нике-

левых жилах, пятиокись фосфора в залежах ракушечных фосфоритов, драгоценные металлы в россыпях и другие полезные компоненты на многих пластовых месторождениях осадочного происхождения.

Из рис. I видно, что при такой закономерности оруденения возникает необходимость определения верхней границы выемки по данным химического опробования исходя из принятого бортового содержания, которое должно обеспечить приемлемое среднее качество добываемой горной массы. С самого начала эксплуатации месторождения возникают законтурные потери в кровле выработки, представленные бедным и некондиционным по сегодняшним требованиям сырьем, однако возможным для использования в будущем. Между тем, извлечение этих запасов впоследствии обычно становится невозможным из-за нарушения массива при выемке нижней части залежи. С увеличением контура выемки по высоте залежи снижается среднее содержание полезного компонента в добываемом сырье и, как следствие, ухудшаются экономические показатели разработки, но зато повышается полнота извлечения недр.

Способ отработки залежи с переменным содержанием полезного компонента по высоте выемки требует несколько иного подхода к обоснованию кондиций. Прежде всего, минимальное промышленное содержание в вынимаемой части залежи непригодно как показатель кондиций. Его использование привело бы вообще к нулевой рентабельности отработки всего месторождения, что недопустимо. Остается показатель бортового содержания, однако его смысл будет совершенно иным, нежели в варианте "а" на рис. I. Здесь бортовое содержание не является границей рентабельности использования приращиваемых запасов месторождения, поскольку направления выемки и приращивания запасов не совпадают (они взаимно перпендикулярны). Оно представляет собой "вторичный" параметр, контролирующий заранее установленные оптимальные значения двух "первичных" параметров - высоты вынимаемой части залежи и среднего содержания полезного компонента в добываемой руде, которые в совокупности определяют эффективность эксплуатации месторождения. Естественно, между всеми тремя величинами должны быть в каждом конкретном случае установлены количественные зависимости.

Критерием оптимальности высоты выемки и среднего содержания полезного компонента в руде (а следовательно, и контролирующего их бортового содержания) следует принимать максимум дохода от эксплуатации месторождения. Для обширных по площади пологопадающих и горизонтальных залежей со сравнительно устойчивым характером оруденения может быть использован другой критерий оптимальности – максимальная прибыль с единицы площади погашаемых запасов месторождения [15]. По своему содержанию он соответствует критерию максимума дохода по месторождению, но более удобен в обращении. Его, например, безо всяких пересчетов легко сопоставить с величиной ущерба земельным угодьям от горных разработок и т.д. Определение оптимального бортового содержания и соответствующих ему выемочных параметров должно производиться вариантным способом, расчетами прибыли с единицы площади месторождения при различных значениях контура выемки по толщине залежи.

Таким образом, показатель бортового содержания полезного компонента в минеральном сырье, разделяющий балансовые и забалансовые запасы, приобретает в зависимости от характера месторождения и порядка его разработки различный смысл и определяется по-разному. В первом из рассмотренных на рис. I случаев бортовое содержание представляет собой границу рентабельного использования приращиваемых за счет бедных руд запасов и определяется аналитическими расчетами по формуле. Во втором случае бортовое содержание может быть определено лишь вариантными расчетами по критерию максимума дохода от эксплуатации месторождения.

Следует отметить, что инструктивными материалами по кондициям [6] идентифицирован и признан лишь первый из указанных способов определения бортового содержания, который используется отраслевыми проектными организациями практически "на все случаи жизни", т.е. на различных по своему геологическому строению месторождениях. Этим же способом, например, определялось бортовое содержание при оконтуривании запасов эстонских фосфоритов, хотя сами залежи и порядок их разработки по всем признакам соответствуют варианту "б" на рис. I [14]. Естественно, что получаемые в результате таких расчетов кондиции на минеральное сырье нельзя признать достаточно обоснованными.

Полнота извлечения запасов минерального сырья оказывает, как известно, влияние на экономические показатели горно-добывающего предприятия. Это влияние обусловливается изменением величины балансовых запасов и среднего качества добываемого сырья. Изменение величины балансовых запасов, в свою очередь, определяет возможную мощность предприятия и срок его службы, от которых существенно зависит вся экономика разработки месторождения. Возникает единая и взаимосвязанная по своим параметрам система "балансовые запасы - качество сырья - затраты на добычу". Если запасы месторождения выразить через эксплуатационные параметры, то система приобретает вид: "Производительность рудника - срок службы рудника - качество сырья - затраты на добычу".

Изучение этой системы производится обычно фрагментарно, без одновременного охвата всех ее элементов. Например, зависимость между средним содержанием полезного компонента в сырье и величиной балансовых запасов месторождения описывается известной функцией Ласки [II]. Давно уже установлены количественные зависимости между затратами на добычу и годовой мощностью горно-добывающего предприятия [I]. Наконец, имеются исследования взаимосвязи трех элементов системы: производительности предприятия, срока его службы и экономических показателей добычи [5, 8]. Предложен даже метод одновременной оптимизации полноты извлечения запасов месторождения и мощности горно-добывающего предприятия [5]. Однако исследований системы во всей целостности формирующих ее элементов, по нашим сведениям, не проводилось.

Разработка математической модели, описывающей рассматриваемую систему полностью, представляется чрезвычайно трудной задачей, и главным образом, из-за неформализуемости некоторых внутренних взаимосвязей в системе. Разработки в этой области являются предметом особых теоретико-методологических исследований. Пока же имеется возможность анализа системы с помощью проектно-вариантных расчетов экономических показателей разработки при различных значениях выемочных параметров. Одновременно здесь могут использоваться частные экономико-математические модели, охватывающие отдельные элементы системы.

Подобным образом нами исследовалось влияние полноты извлечения запасов фосфоритного месторождения на экономические показатели его эксплуатации. Разработка предполагалась

подземным способом, системой с гидравлической закладкой выработанного пространства. Исходными материалами для исследований послужили данные о закономерностях оруденения залежи, зависимости типа "запас - содержание" [I4], а также некоторые модели экономических показателей эксплуатации [I5].

Варьирование контура выемки запасов месторождения и определение экономических показателей производились для двух стратегий управления: с сохранением постоянства срока службы предприятия, либо его производственной мощности по концентрату. В первом случае увеличение контура выемки сопровождается ростом производительности предприятия, а во втором - ростом срока службы. Если же контур выемки уменьшается, то все происходит в обратном порядке.

В табл. I и на рис. 2 показано изменение показателей эксплуатации для случая, когда две стратегии "пересекаются" при бортовом содержании P_2O_5 6 %, которое является исходной точкой их сравнения. По графикам рисунка видно, как будут изменяться показатели эксплуатации, если бортовое содержание будет отклоняться от базисного в ту или иную сторону. Из таблицы также видно, что бортовое содержание 6 % обеспечивает максимум общего дохода по месторождению для обеих стратегий.

Более полное представление о зависимости экономических показателей от полноты извлечения запасов месторождения можно получить из рис. 3, где кривые представляют топографию поверхностей уровня приведенных затрат (руб/т концентрата) в координатах "производительность рудника - срок его службы". Поверхности уровня построены по результатам интерполяции множества данных, полученных расчетами при различных базисных точках сравнения рассматриваемых стратегий.

Как видно из изолиний рис. 3, минимальные приведенные затраты на единицу добываемого сырья и максимум дохода по месторождению не совместимы на одном предприятии. Рисунок наглядно демонстрирует известную истину, что с хозрасчетных позиций выгоднее всего отработка наиболее богатой части месторождения, несмотря на большие потери минерального сырья. Точка R соответствует такому сочетанию параметров горно-добывающего предприятия (мощности и сроку службы его), которые обеспечивают максимум дохода от эксплуатации месторожде-

Таблица I

Технико-экономические показатели эксплуатации месторождения в зависимости от принятого бортового содержания P_2O_5 в руде

Наименование показателей	Значения показателей при бортовом содержании, %						
	2	3	4	5	6	7	8
Среднее содержание P_2O_5 в добываемой руде, %	7,4	8,3	9,4	I0,0	I0,7	II,5	I2,0
Годовая производительность рудника, млн.т:							
по руде	I0,8 / 8,6	8,8 / 7,3	7,4 / 6,6	6,4 / 6,0	5,6 / 5,6	4,7 / 5,2	4,2 / 5,0
по концентрату (28 % P_2O_5)	I,92 / I,52	I,82 / I,52	I,72 / I,52	I,6I / I,52	I,52 / I,52	I,4I / I,52	I,32 / I,52
Срок службы предприятия, лет	28 / 36	28 / 34	28 / 32	28 / 30	28 / 28	28 / 26	28 / 24
Капиталовложения в промстроительство, млн. руб.	430 / 404	402 / 387	384 / 375	370 / 366	359 / 359	349 / 354	34I / 350
Себестоимость концентрата без амортизационных отчислений на реновацию, руб/т	38,2 / 39,4	35,2 / 36,4	33,7 / 34,6	32,9 / 33,4	32,5 / 32,5	32,7 / 32,0	33,2 / 3I,7
Общий доход от эксплуатации месторождения (при оптовой цене на концентрат 43 руб/т), млн. руб.	-I72 / -209	-4,5 / -50	64 / 3I	85 / 69	88 / 88	58 / 8I	2I / 66

Примечание: Цифры в числителе соответствуют варианту с постоянным сроком службы предприятия независимо от бортового содержания, в знаменателе – варианту с постоянной производительностью предприятия по концентрату.

ния. Предприятие же будет получать более высокую хозрасчетную прибыль в том случае, если оно, не снижая производительности по концентрату, будет добывать лучшие запасы и за счет роста потерь сократит срок своего существования. В рассмотренном на рисунке диапазоне варьирования срока службы функция зависимости приведенных затрат от него, как видим, изменяется монотонно.

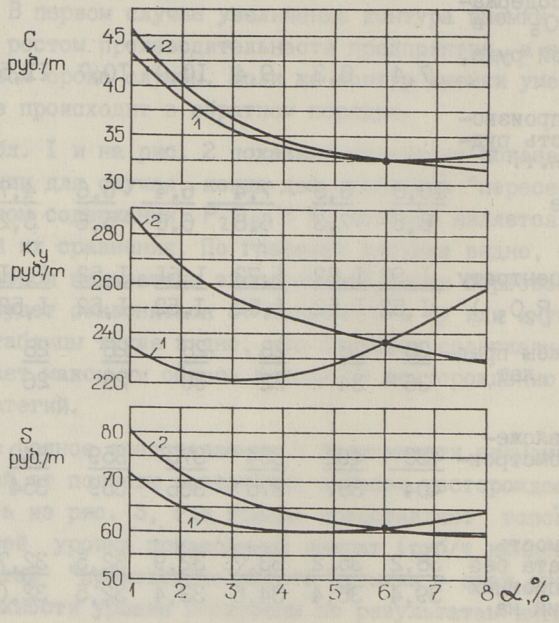

Рис. 2. Зависимости экономических показателей предприятия от бортового содержания P_2O_5 в руде при различных стратегиях управления запасами: 1 – при постоянном сроке службы рудника; 2 – при постоянной годовой производительности рудника по концентрату; C – себестоимость концентрата; K_y – удельные капиталовложения; S – приведенные затраты на 1 т концентрата.

Таким образом, хозрасчетные интересы горно-добывающего предприятия в вопросах определения границ извлечения минерального сырья расходятся с народнохозяйственными интересами. Причем эти расхождения будут увеличиваться по мере воз-

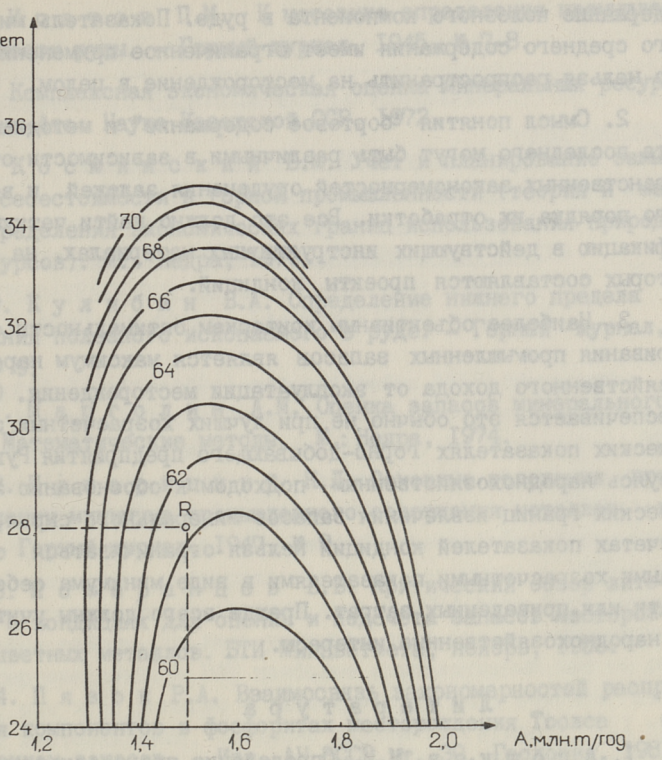

Рис. 3. Поверхности уровня (изолинии) приведенных затрат на концентрат (руб/т) в координатах "производительность рудника – срок службы"; R – параметры рудника, соответствующие максимальному доходу от эксплуатации месторождения.

растания ценности добываемого сырья (точка R на графике переместится выше и вправо, а изолинии приведенных затрат останутся на прежнем месте). При обосновании же границ извлечения запасов минерального сырья необходимо руководствоваться в первую очередь народнохозяйственными интересами.

Обобщая затронутые в данной статье вопросы, попытаемся сформулировать некоторые выводы, касающиеся методологии обоснования кондиций.

I. Основным и достаточным для оконтуривания промышленных запасов показателем кондиций следует считать бортовое

содержание полезного компонента в руде. Показатель минимального среднего содержания имеет ограниченное применение и его нельзя распространить на месторождение в целом.

2. Смысл понятия "бортовое содержание" и методика расчета последнего могут быть различными в зависимости от пространственных закономерностей оруденения залежей и возможного порядка их отработки. Все это должно найти четкую идентификацию в действующих инструктивных материалах, на основе которых составляются проекты кондиций.

3. Наиболее объективным критерием оптимальности оконтуривания промышленных запасов является максимум народнохозяйственного дохода от эксплуатации месторождения. Однако обеспечивается это обычно не при лучших хозрасчетных экономических показателях горно-добывающего предприятия. Руководствуясь народнохозяйственным подходом к обоснованию экономических границ извлечения запасов минерального сырья, при расчетах показателей кондиций нельзя ограничиваться отраслевыми хозрасчетными показателями в виде минимума себестоимости или приведенных затрат. Прежде всего должны учитываться народнохозяйственные интересы.

Литература

I. Агошков М.И. Определение производительности рудника. М.: Металлургиздат, 1948.

2. Временная типовая методика экономической оценки месторождений полезных ископаемых. М.: ГКНТ и Госцен СССР, 1980.

3. Гатов Т.А. Обоснование минимального содержания цветных металлов в руде. М.: Недра, 1967.

4. Гудалин Г.Г. О методике экономического обоснования кондиций для подсчета запасов. – Материалы совещания в институте Гиредмет . ОНТИ Гиредмет , 1962.

5. Дронов Н.В. Метод оптимизации производительности рудников совместно с кондициями на запасы. – Изв. АН Киргизской ССР, 1979, № 1, с. 24-32.

6. Инструкция о содержании и порядке представления на утверждение ГКЗ технико-экономических обоснований кондиций для подсчета запасов полезных ископаемых. М.: ГКЗ СССР, 1975.

7. И п а т о в П.М. К методике определения промышленной ценности руды. – Горный журнал, 1945, № 7–8.

8. Комплексная экономическая оценка минеральных ресурсов. Алма-Ата: Наука Казахской ССР, 1972.

9. К о с м и н с к и й Б.М. Учет и планирование замыкающей себестоимости в горной промышленности (теория и методы определения экономических границ использования природных ресурсов). М.: Недра, 1970.

10. К у л и б и н В.А. Определение нижнего предела содержания полезного ископаемого в руде. – Горный журнал, 1950, № 9.

11. М а р г о л и н А.М. Оценка запасов минерального сырья. Математические методы. М.: Недра, 1974.

12. П о ж а р и ц к и й К.Л. Основные положения при определении минимума промышленного содержания металлов в руде. – Горный журнал, 1947, № 9.

13. П о м е р а н ц е в В.В. Критический обзор литературы о кондициях для оценки и подсчета запасов месторождений цветных металлов. БТИ Минцветмета, ноябрь, 1958.

14. П я з о к Р.А. Взаимосвязь закономерностей распределения компонентов в фосфоритах месторождения Тоолсе с извлечением запасов. – Изв. АН ЭССР, т. 30. Геология, 1981, № 4, с. 156–160.

15. П я з о к Р.А. Зависимость эффективности подземной разработки фосфоритных месторождений Эстонии от уровня потерь полезного ископаемого в недрах. – Изв. АН ЭССР, т. 31. Обществ. науки, 1982, № 3, с. 197–207.

16. Р а ч к о в с к и й С.Я. Определение минимального промышленного содержания металлов в рудах цветных металлов. – Цветные металлы, 1948, № 5.

17. Р у р а Д.М. Экономическое обоснование бортового содержания металла в рудных месторождениях. – Разведка и охрана недр, 1956, № 9.

18. С о б о л е в с к и й Т.Ф. Об определении лимитов содержания. – Колыма, 1959, № 6.

R. Päsok

Conditions of Mineral Resources and the Interrelationship between the Level of the Extraction of the Deposit and the Economic Efficiency of Mining

Abstract

The problem of selecting the indicators of the conditions for mineral resources is studied with regard to the regularities of the distribution of the useful component in the ore body. The dependences between the indicators of the conditions of a concrete deposit and the economic efficiency of mining are investigated.

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.233

Х.Х. Арукюла, А.Х. Рейер

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛОЖЕНИЯ И СОДЕРЖАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ФОСФОРИТНОГО ПЛАСТА УЧАСТКА КАБАЛА-ЗАПАДНЫЙ

Раквереский фосфоритоносный район (РФР) расположен в северо-восточной части Эстонской ССР на территории Раквереского, отчасти Кохтла-Ярвеского района. На территории РФР выделены три месторождения – Тоолсеское, Азериское и самое крупное Раквереское, на площади которого выделены Кабалаский, Рягавереский и Ассамаллаский участки. Детальная разведка Тоолсеского месторождения была закончена в 1970 году, а в Раквереском месторождении лишь в 1974 году были начаты поисковые работы. Но даже учитывая пока еще ориентировочный характер сведений, в РФР наиболее перспективным как по размерам, так и по запасам и качеству руды надо считать Раквереское месторождение. Согласно данным Р. Раудсепа [1] продуктивность промышленной пачки фосфорита в РФР характеризуется цифрами, приведенными в таблице I.

Таблица I

Продуктивность промышленной пачки фосфорита в месторождениях РФР

№ п/п	Месторождения и участки	Продуктивность (P_2O_5, т/м^2)	
		максимальная	средняя
I	Тоолсеское	I,30	0,8I
2	Раквереское,	3,04	I,I0
	в т.ч. участок Рягавере	2,46	I,08
	" Ассамалла	2,72	0,97
	" Кабала	3,04	I,28
3	Азериское	0,60	0,2I

Для сравнения следует отметить, что максимальная продуктивность ныне эксплуатируемых месторождений – Маардуско-

го и Кингисеппского, около 0,55 т/м^2 и средняя около 0,25 т/м^2. Этим объясняется большое внимание, которое уделяется Ракверескому месторождению, в частности участка Кабала, где сосредоточены разведочные работы.

Для изучения возможностей рационального использования фосфоритов Эстонской ССР разработана научная комплексная программа АН ЭССР и Министерства удобрений СССР, в исполнении которой совместно с многими другими исследовательскими учреждениями принимает участие коллектив кафедры горного дела Таллинского политехнического института. Задачей кафедры является изучение физико-механических свойств пород промышленной пачки и окружающих ее пород с целью выявления наиболее рационального способа разработки месторождений. В настоящей статье приводятся некоторые результаты проведенных работ.

В геологическом строении РФР принимают участие породы докембрийского, кембрийского, ордовикского и четвертичного возраста.

Докембрийские породы, представленные кристаллическими разновидностями архейского и протерозойского возраста, а также обломочными породами вендского комплекса, залегают ниже уровня моря и нигде не обнажаются.

Из кембрийских отложений для решения проблем разработки фосфоритов практическое значение имеет верхняя, тискреская свита, которая является почвой промышленной пачки фосфорита. Свита представлена мелкозернистым кварцевым алевролитом, степень цементации которого варьируется в широких пределах.

Нижний, пакерортский горизонт ордовика в пределах РФР представлен каллавереской свитой. Свита сложена алевритопесчанистыми породами, содержащими детрит или целые раковины брахиопод, являющимися носителями фосфора. Мощность свиты в пределах участка Кабала колеблется от 2,5 до 7,5 и более метров, что практически соответствует и мощности промышленной пачки.

Основной минеральный состав промышленной пачки определяется двумя преобладающими минералами: кварцем и фосфатом кальция, от содержания которых зависит и химический состав руд (сочетание SiO_2, CaO и P_2O_5).

P_2O_5 содержится в раковинах и детрите брахиопод (в среднем 33–35 %, иногда до 37 %). В зависимости от количества остатков раковин в алеврито-песчанистых породах качество промышленного фосфорита колеблется от 4 до 30 и более процентов P_2O_5. Кроме содержания P_2O_5 качество фосфоритов с точки зрения их переработки зависит также от содержания MgO (от долей процента до 8 %) и Fe_2O_3 (от долей процента до 6–7 %). MgO связан главным образом с цементирующим породы доломитом. Следовательно, содержание MgO косвенно характеризует степень цементации пород промышленной пачки и в то же время их прочность. Железо связано с раковинами и детритом брахиопод, на физико-механические свойства пород влияния не оказывает.

В пределах участка Кабала кровлей промышленной пачки фосфорита являются породы латорпский горизонт. Они в нижней части представлены относительно сыпучим алевролитовым глауконитовым песчаником зеленого цвета, максимальная мощность которого достигает 3,1 м. Выше залегают более прочные глауконитовые песчаники и известняки. Можно ожидать, что в подземных горных выработках нижняя часть горизонта обваливается и кровлей горных выработок будут прочные глауконитовые песчаники и известняки высшей части горизонта, максимальная мощность которых достигает 3,0 м.

Выше латорпского горизонта залегают доломитизированные известняки волховского горизонта, содержащие включения глауконитовых зерен. В средней части известняки мергелистые. Суммарная мощность горизонта 2,5–4 м. При креплении горных выработок анкерами их замки закрепляются в породах волховского горизонта и при выборе длины анкеров следует иметь в виду, что в средней части горизонта замки их могут закрепляться ненадежно.

Вышележащие горизонты ордовика представлены карбонатными породами снизу вверх (кундаский, азериский, ласнамяэский, ухакуский, кукрузеский, идавереский, йыхвиский, кейлаский, в южной части участка Кабала также оандуский и раквереский горизонты). Из них особый интерес представляет кукрузеский горизонт, в котором слои битуминозных известняков переслаиваются с прослойками кукерсита (от A до F) и образуют сближенный пласт горючих сланцев мощностью до 2 м. Наличие промышленных (хотя по современным критериям некондиционных) скоплений горючих сланцев, залегающих на 30–35 м

выше промышленного пласта фосфорита, превращает весь РФР в комплексное месторождение, и это необходимо учитывать при промышленном освоении района.

Четвертичные отложения на РФР представлены в основном гляциальными и флювиогляциальными отложениями. Последние в виде кам и оз широко развиты на участке Кабала. Мощность четвертичных отложений колеблется от 0,5 до 26 м (в озах и камах).

Расположение на северо-западном склоне Русской платформы предопределяет относительно спокойное залегание коренных пород района с падением на юг и юго-восток от 2 до 10 м/км. Глубина залегания промышленного пласта фосфорита колеблется от 56 до 128 м. В породах палеозоя наблюдается тектоническая трещиноватость. Вертикальные трещины простираются в двух направлениях (азимуты 300-330° и 40-60°). С трещинами северо-восточного простирания в кукрузеском горизонте связан карст. С ними связано и самое существенное тектоническое нарушение в РФР - азериская флексура, юго-восточное крыло которой приподнято относительно северо-западного на высоту до 25 м. Названное нарушение является западной границей участка Кабала, которая требует детальной разведки и уточнения при определении границ поля проектируемого рудника.

Исходными для статистической оценки и корреляционного анализа показателей положения и содержания компонентов фосфоритного пласта являлись данные из журнала опробования и результаты химического анализа рядовых проб фосфоритоносных отложений участка Кабала-Западный.

Для исследования были приняты 11 факторов:

$x_1 - x$; $x_2 - y$ - расчетные координаты в направлении восток и север, км;

$x_3 - H$ - глубина залегания пласта фосфорита, м;

$x_4 - h$ - мощность пласта фосфорита, м;

$x_5 - P_2O_5$; $x_6 - MgO$; $x_7 - Fe_2O_3$ - содержание компонентов, %;

$x_8 - H_0$ - высота устья скважины над уровнем моря, м;

$x_9 - h_{фс}$ - расстояние между пластами фосфорита и сланца, м;

$x_{10} - h_{нк}$ - мощность глауконитового песчаника в непосредственной кровле, м;

$x_{11} - h_u$ - мощность известняков волховского горизонта над глауконитовым песчаником, м.

По данным $n = 207$ скважин на ЭВМ ЕС-1022 по программам статистических оценок парной и множественной линейной регрессии были определены:

минимальные, максимальные и средние значения – $x_{min}; x_{max}; \bar{x}$;
среднеквадратичные отклонения – σ;
коэффициент вариации – $V = \frac{\sigma \cdot 100}{\bar{x}}$, %;
коэффициент асимметрии $A = \frac{\sum (x - \bar{x})^3}{n\sigma^3}$;
коэффициент эксцесса $E = \frac{\sum (x - \bar{x})^4}{n\sigma^4} - 3$;
матрица парных выборочных коэффициентов корреляции $\mu_в$;
коэффициенты и свободные члены регрессии.

Для множественной корреляции количество членов в уравнении регрессии было выбрано методом включения, начиная с расчетных координат. Значимость уравнения и отдельных коэффициентов корреляции и регрессии проверялась по критериям Фишера и Стьюдента.

Проверка гипотез о нормальном распределении проводилась по выборочным значениям асимметрии и эксцесса [3].

Если выборочные асимметрии и эксцесс по критериям согласия удовлетворяют неравенством

$$|A| \leq 3\sqrt{\frac{6}{n}} = 0{,}511$$

и

$$|E| \leq 3\sqrt{\frac{24}{n}} = 1{,}022,$$

где $n = 207$ число испытаний, то наблюдаемое распределение можно считать нормальным.

По данным таблицы 2 нормальное распределение не отвергается для более стабильных факторов x_3–H; x_5–P_2O_5; x_9–$h_{фс}$.

Последний фактор – x_9 – расстояние между промышленными пластами фосфорита и сланца имеет минимальное значение коэффициента вариации – 3–10 %.

Содержание вредных компонентов MgO и Fe_2O_3 не подчиняется нормальному закону распределения, что нужно учитывать при проектировании усреднения качества и обогащения фосфорита.

Таблица 2

Статистическая оценка показателей положения и содержания компонентов по скважинам участка Кабала-Западный

Факторы	x_{min}	x_{max}	$\bar{x}$	σ	V	A	E
x_1 – X	I,56	I2,94	6,92	2,8I	40,6I	0,507	-0,859
x_2 – Y	0,96	I2,I2	7,39	2,46	33,29	-0,400	-0,070
x_3 – H	56,0	I28,4	88,28	I3,95	I5,80	-0,283	-0,444
x_4 – h	0,70	I6,I6	6,87	I,60	23,29	-I,098	I,663
x_5 – P_2O_5	3,50	23,68	I2,8I	3,65	28,49	-0,2I9	0,I30
x_6 – MgO	0,I7	8,32	I,00	0,97	97,00	3,924	20,55
x_7 – Fe_2O_3	0,28	2,64	I,05	0,3I	29,52	0,840	2,628
x_8 – H_o	58,25	I04,05	80,05	8,29	I0,36	-0,592	-0,020
x_9 – $h_{фс}$	30,48	35,90	33,50	I,04	3,I0	-0,309	-0,II7
x_{10} – $h_{нк}$	0,50	3,I0	I,42	0,43	30,28	0,673	I,0I0
x_{11} – h_u	I,I0	3,00	2,I6	0,32	I4,8I	-0,652	I,933

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей положения и содержания компонентов по скважинам участка Кабала-Западный

Факторы	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}
$x_1 - x$	I,000	0,I85	-0,487	-0,352	-0,064	-0,I03	-0,048	-0,738	0,366	-0,085	0,II8
$x_2 - y$		I,000	-0,852	0,I3I	0,6I2	-0,395	-0,043	-0,50I	0,722	0,547	0,274
$x_3 - H$			I,000	-0,0I6	-0,505	0,329	-0,006	0,836	-0,723	-0,44I	0,2I5
$x_4 - h$				I,000	0,24I	-0,I56	-0,II4	0,I75	-0,008	-0,009	0,004
$x_5 - P_2O_5$					I,000	-0,304	0,I23	-0,2I7	0,447	0,40I	0,I67
$x_6 - MgO$						I,000	0,526	0,223	-0,342	-0,206	-0,024
$x_7 - Fe_2O_3$							I,000	0,070	-0,060	0,037	0,00I
$x_8 - H_o$								I,000	-0,569	-0,2I5	-0,I55
$x_9 - h_{фс}$									I,000	0,2I2	0,347
$x_{10} - h_{нк}$										I,000	-0,072
$x_{11} - h_u$											I,000

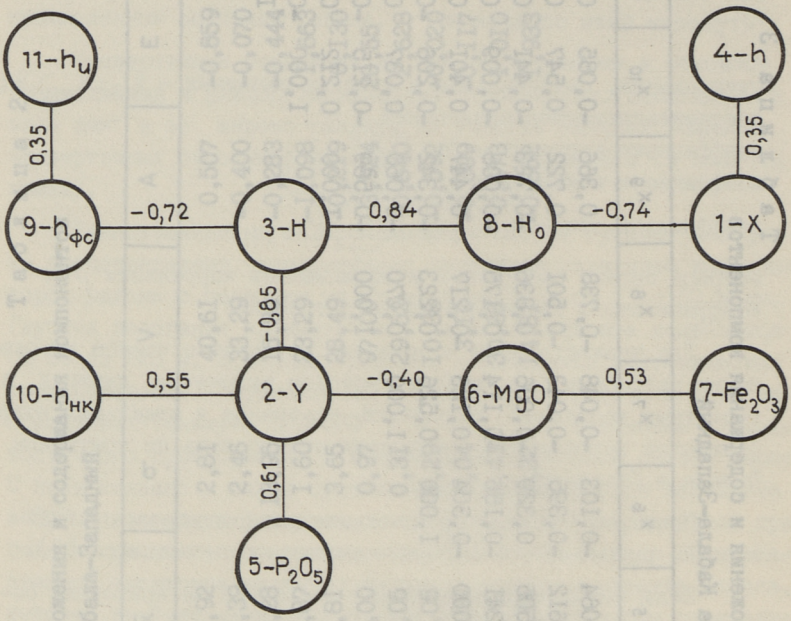

Рис. Граф пути максимальной корреляции показателей по скважинам участка Кабала-Западный.

Матрица парных коэффициентов корреляции и граф пути максимальной корреляции приведены в таблице 3 и на рисунке.

Значимость коэффициентов корреляции принималась на уровне значимости $\alpha = 0,05$, т.е. с вероятностью 0,95.

По графу на центральном месте находится фактор x_2-y, расчетная координата юг-север, которая имеет тесную связь с факторами с глубиной залегания фосфорита H ($r_в = -0,85$), мощностью непосредственной кровли ($r_в = 0,547$), содержанием P_2O_5 ($r_в = 0,612$).

Таблица 4

Результаты регрессионного анализа показателей положения и содержания компонентов по скважинам участка Кабала-Западный

Фактор	Коэффициент регрессии	Свободный член регрессии	Коэффициент корреляции
	По $x_3 - H$		
$x_5 - P_2O_5$	-I,930	II3,00	-0,505
$x_6 - MgO$	4,73I	83,55	0,329
$x_1 - x$	-2,4I8	I05,0I	-0,487
$x_2 - y$	-4,839	I24,07	-0,852
	По $x_4 - h$		
$x_5 - P_2O_5$	0,I06	5,52	0,24I
$x_1 - x$	-0,200	8,26	-0,352
	По $x_5 - P_2O_5$		
$x_3 - H$	-0,I32	24,46	-0,506
$x_4 - h$	0,550	9,03	0,24I
$x_6 - MgO$	I,I44	I3,95	-0,304
$x_2 - y$	0,908	6,I0	0,6I2
	По $x_6 - MgO$		
$x_3 - H$	0,023	-I,02	0,329
$x_5 - P_2O_5$	-0,08I	2,04	-0,304
$x_7 - Fe_2O_3$	I,646	-0,73	0,526
$x_2 - y$	-0,I56	2,I5	-0,395
	По $x_7 - Fe_2O_3$		
$x_6 - MgO$	0,I68	0,88	0,526

Таблица 5

Множественная корреляция показателей положения и содержания компонентов по скважинам участка Кабала-Западный

Фактор	Коэффициент регрессии	Среднеквадратическое отклонение коэффициента регрессии	Значение Т-критерия	Остальные коэффициенты
I	2	3	4	5
		По $x_3 - H$		
$x_1 - x$	-I,692	0,I4I	-II,972	ε = 5,627 a_0 =I33,I2
$x_2 - y$	-4,482	0,I62	-27,736	R = 0,9I6 R^2 = 0,839 F =535,962
		По $x_4 - h$		
$x_1 - x$	-0,222	0,037	-6,0I0	ε = I,473
$x_2 - y$	0,I32	0,042	3,I29	a_0 = 7,43I R = 0,405 R^2 = 0,I64 F =20,I7I
		По $x_5 - P_2O_5$		
$x_1 - x$	-0,238	0,07I	-3,357	ε = 2,828
$x_2 - y$	0,960	0,08I	II,825	a_0 = 7,358 R = 0,638 R^2 = 0,407 F =70,628
		По $x_6 - MgO$		
$x_2 - y$	-0,I56	0,026	6,I88	ε = 0,896 a_0 = 2,I59 R = 0,396 R^2 = 0,I56 F =38,296
		По $x_8 - H_0$		ε = 4,323
$x_1 - x$	-I,938	0,I09	-I7,85	a_0 =I04,43
$x_2 - y$	-I,485	0,I24	-II,97	R = 0,855 R^2 = 0,73I F =279,888

Продолжение табл. 5

I	2	3	4	5
		По $x_9 - h_{фс}$		
$x_1 - x$	0,2875	0,0196	I4,70	ε = 0,68I
				a_0 =30,756
$x_2 - y$	0,089	0,0I7I	5,23	R = 0,760
				R^2 = 0,577
				F =I40,64
		По $x_{10} - h_{нк}$		
$x_1 - x$	0,I0I2	0,0I0I	I0,06	ε = 0,350
				a_0 = 0,8723
$x_2 - y$	-0,0292	0,0088	-3,32	R = 0,578
				R^2 = 0,334
				F =5I,758
		По $x_{11} - h_u$		
$x_2 - y$	0,0359	0,0087	4,I06	ε = 0,309
				a_0 = I,8986
				R = 0,274
				R^2 = 0,075
				F =I6,80

ε – стандартное отклонение оценки;
a_0 – свободный член регрессии;
R – коэффициент множественной корреляции;
R^2 – коэффициент детерминации;
F – значение критерия.

Результаты регрессионного анализа (табл. 4) и множественной корреляции (табл. 5) показывают, что по координатам x и y можно прогнозировать с достаточной точностью значения глубины залегания и высоты поверхности, мощности глауконитового песчаника, расстояния между пластами фосфорита и сланца, содержания P_2O_5.

Данные, приведенные в статье, могут быть использованы при горно-геологических оценках участка Кабала-Западный и проектировании опытного рудника.

Литература

I. Раудсеп Р.В. Литология продуктивной толщи в Ракверескоm фосфоритном районе ЭССР. - Автореф. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Таллин, 1984.

2. Арукюла Х.Х., Рейер А.Х. Основы теории инженерного экспериментирования в горном деле. Ротапринт ТПИ, Таллин, 1973.

3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1977.

H. Arukülа, A. Reier

Statistische Bewertung und Korrelationsanalyse der Daten der Lage und des Komponentenenthaltens der Phosphoritenschicht in der Lagerstätte Kabala

Zusammenfassung

In der Abhandlung werden eine geologische Beschreibung und die statistischen Bewertungen und korrelativen Abhängigkeiten der Mächtigkeit der unmittelbaren Deckengesteine und der Phosphoritenschicht, des Gehalts an nützlichen und schädlichen Komponenten im Zusammenhang mit der Lage auf der Fläche der Lagerstätte Kabala gegeben.

Die in der Abhandlung gebrachten Angaben können zur bergbaulich-geologischen Bewertung der Lagerstätte Kabala und beim Projektieren einer Versuchsgrube gebraucht werden.

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.02

Н.Г. Кацарская, Э.А. Крипсаар,
Ю.А. Эйнпаул

ПАРАМЕТРЫ ПЛОТНОСТНЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИБАЛТИЙСКОГО БАССЕЙНА ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Перспективное планирование добычи, проектирование новых шахт, реконструкция существующих шахт требует знания параметров физико-технических свойств горных пород бассейна, законов их изменения с целью получения исходных данных для прогнозирования поведения горных пород и выработок при ведении горных работ.

В статье [I] приведены прочностные параметры горных пород геологических горизонтов западного, центрального и восточного участков южной части Эстонского месторождения горючих сланцев. По табличным данным, приведенным в названной статье, можно проследить снижение прочностных параметров горных пород Оандуского и более высоколежащих горизонтов ордовика с востока на запад, а также от вышележащих горизонтов ордовика к нижележащим.

В данной статье приводятся результаты статистической обработки по определению параметров разновидностей карбонатных пород и горючего сланца различных геологических горизонтов (основной кровли, выше ее и почвы промпласта) Прибалтийского бассейна горючих сланцев по данным испытаний, проведенных на общетехнической кафедре ТПИ в течение последних I5 лет. Анализируется возможность использования вычисленных параметров для прогноза горно-технических условий.

Породы почвы основной кровли и выше ее разделяются на геологические горизонты. В таблице I приведены значения параметров физико-технических свойств горных пород основной кровли и горизонта выше ее. Рассматривая параметры этих горизонтов от вышележащих к нижележащим, наблюдается умень-

Таблица I

Значения параметров физико-технических свойств горных пород основной кровли и выше ее Прибалтийского бассейна горючих сланцев

Название параметра	Породы горизонтов основной кровли							
	O_3nb и выше		$O_2nb - O_2jh$		O_2id		O_2kk	
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
I. Объемная масса $\rho \times 10^{-3}$, кг/м^3								
а) влагонасыщенного образца	2,56	3,6	2,56	3,6	2,53	4,5	2,45	4,7
б) сухого образца	2,50	4,5	2,50	4,2	2,47	6,3	2,38	5,7
2. Плотность $\rho_0 \times 10^{-3}$, кг/м^3	2,66	7,5	2,68	3,5	2,67	2,9	2,6I	4,2
3. Пористость, %	6,76	6I,7	6,63	53,6	7,29	50,5	8,45	5I,0
4. Влагоемкость, %	2,74	59,9	2,36	68,0	2,65	44,7	2,87	43,3
5. Предел прочности $\sigma \times 10^{-5}$, Па								
а) при растяжении	28,9	59,9	26,3	50,7	27,8	6I,9	20,2	53,2
б при сжатии	489	39,9	38I	45,5	365	43,6	284	48,8
6. Модуль продольной упругости $E \times 10^{-9}$, Па	I6,0	75,I	I0,7	76,3	I0,8	94,6	7,2	90,2

шение значения параметров механических свойств, объемной массы и плотности, а также некоторое повышение значений пористости. По физико-техническим параметрам Ухакуский горизонт достаточно близок Кукрузескому горизонту (табл. 2).

Геологические горизонты выше основной кровли исследованы менее детально, чем горизонты основной кровли, и на каждый горизонт приходится по 20–40 образцов. При таком количестве испытанных образцов имеет значение, в какой части бассейна взяты пробы. Вследствие вышеуказанного в таблице I геологические горизонты выше основной кровли разделены на формальные группы: верхняя часть Набалаского горизонта (O_3nb) и горизонты выше его, нижняя часть Набалаского горизонта (O_2nb), Раквереский (O_2rk) и Оандуский (O_2on) горизонты. Можно предположить, что в последней группе геологических горизонтов значения механических параметров горных пород Раквереского горизонта имеют максимальное значение, а Оандуского – минимальное, среди всех исследованных геологических горизонтов. Надо отметить также, что в пробах Оандуского горизонта представлен только глинистый и мергелистый известняк относительно высокой пористости и влагоемкости.

Хотя геологические горизонты бассейна состоят в основном из карбонатных пород, но по литологическим признакам можно выделить несколько основных разновидностей: доломит, известняк плотный, известняк доломитизированный, известняк керогеносодержащий. Не перечисленные выше разновидности карбонатных пород рассмотрены как известняк прочий. Текстурная разновидность переслаивания горючего сланца и известняка рассматривается отдельно.

Вышеперечисленные разновидности карбонатных пород и горючего сланца представлены в различных геологических горизонтах в разных соотношениях, а могут и вообще отсутствовать. Например, горючий сланец отсутствует в горизонтах Йыхвинский и выше его (рис. I). Наиболее распространенной разновидностью горных пород является глинистый и мергелистый известняк, которые рассматриваются вместе.

Некоторые физико-технические параметры разновидностей горных пород Прибалтийского бассейна горючих сланцев представлены в таблице 3. В среднем наиболее высокими значениями параметров механических свойств обладает плотный извест-

Таблица 2

Значения параметров физико-технических свойств горных пород непосредственной кровли и промпачки и почвы Эстонского месторождения горючих сланцев

Название параметра	Породы					
	непосредственной кровли промпачки (нижней части O_2 кк)				почвы – O_2 uh	
	карбонатные		горючий сланец			
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
I. Объемная масса $\rho \times 10^{-3}$, кг/м³						
а) влагонасыщенного образца	2,4I	5,6	I,92	I6,2	2,53	3,7
б) сухого образца	2,33	6,6	I,80	I8,6	2,43	5,0
2. Плотность $\rho_0 \times 10^{-3}$, кг/м³	2,60	5,6	2,06	I6,7	2,64	4,4
3. Пористость, %	I0,4	42,8	I4,0	36,3	7,28	56,7
4. Влагоемкость, %	3,7	43,8	6,86	4I,6	2,7I	42,9
5. Предел прочности $\sigma \times 10^{-5}$, Па						
а) при растяжении	2I,6	63,2	9,07	83,9	20,2	57,9
б) при сжатии	3I0	48,0	I59	50,0	280	48,2
6. Модуль продольной упругости $E \times 10^{-9}$, Па	5,58	86,2	2,I3	I4I,I	8,59	82,3

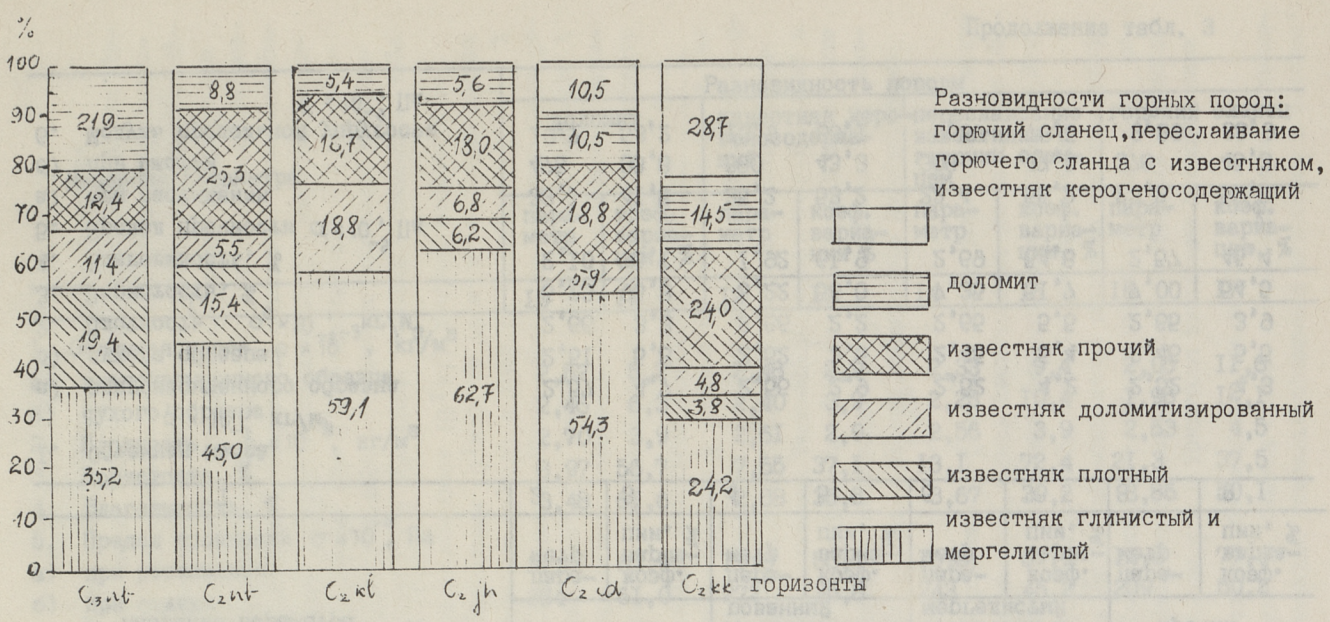

Рис. 1. Распределение в пробах разновидностей горных пород в различных геологических горизонтах.

Таблица 3

Значения параметров физико-технических свойств разновидностей горных пород Прибалтийского бассейна горючих сланцев

Название параметра	Разновидности известняков							
	плотный		доломитизированный		глинистый и мергелистый		прочий	
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I. Объемная масса $\rho \times 10^{-3}$, кг/м^3								
а) влагонасыщенного образца	2,57	4,7	2,56	2,9	2,52	4,2	2,52	4,3
б) сухого образца	2,5I	5,8	2,52	3,5	2,45	5,4	2,46	5,5
2. Плотность $\rho_0 \times 10^{-3}$, кг/м^3	2,66	3,3	2,66	2,2	2,65	5,5	2,65	3,9
3. Пористость, %	5,23	95,3	5,22	56,0	7,35	5I,7	7,00	54,5
4. Влагоемкость, %	2,I0	78,I	I,92	6I,9	2,69	54,8	2,57	46,4
5. Предел прочности $\sigma \times 10^{-5}$, Па								
а) при растяжении	33,I	4I,5	35,2	53,2	22,4	56,2	23,2	55,8
б) при сжатии	475	38,8	380	43,3	308	47,0	378	45,3
6. Модуль продольной упругости $E \times 10^{-9}$, Па	I9,7	53,2	I3,9	86,I	9,27	78,5	9,89	88,9

Продолжение табл. 3

Название параметра	Разновидность породы							
	доломит		известняк керогеносодержащий		переслаивание известняка с горючим сланцем		горючий сланец	
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
I	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7
I. Объемная масса $\rho \times 10^{-3}$, кг/м^3								
а) влагонасыщенного образца	2,52	5,2	2,48	2,9	2,33	9,4	2,05	II,6
б) сухого образца	2,46	6,3	2,40	3,9	2,25	I0,4	I,98	I2,I
2. Плотность $\rho_0 \times 10^{-3}$, кг/м^3	2,70	3,9	2,6I	2,9	2,56	3,9	2,53	4,5
3. Пористость, %	8,97	56,7	7,55	37,I	I3,I	72,4	2I,3	37,5
4. Влагоемкость, %	3,48	6I,6	2,88	35,8	3,67	39,2	3,85	50,I
5. Предел прочности $\sigma \times 10^{-5}$, Па								
а) при растяжении	3I,5	65,9	I9,9	55,I	I5,8	67,9	I2,5	77,0
б) при сжатии	384	6I,0	272	35,8	243	45,2	209	50,2
6. Модуль продольной упругости $E \times 10^{-9}$, Па	II,2	I24,8	I0,4	49,8	7,23	67,5	5,54	95,9

няк, за ним следуют доломитизированный известняк и доломит, наиболее низкими – горючий сланец и разновидности, содержащие горючий сланец прослойками или кероген.

На рисунках 2 и 3 приведены диаграммы распределения параметров некоторых физико-механических свойств образцов карбонатных разновидностей горных пород. Эти рисунки позволяют лучше видеть происхождение высокого значения коэффициента вариации параметра соответствующего свойства. В ходе дальнейших исследований предстоит выяснить, какую роль в вариации параметров играют расположение места отбора пробы на площади сланцевого бассейна, какую роль геологические аномалии.

Наиболее близко к закону нормального распределения стоит распределение параметров предела прочности при сжатии образцов. У диаграмм распределения параметров предела прочности при растяжении доминирует некоторая асимметрия в сторону меньших значений прочности. Диаграммы распределения параметров пористости и модуля продольной упругости образцов явно асимметричны в сторону меньших значений и не подчиняются закону нормального распределения.

Распределение разновидностей горных пород в пределах одного геологического горизонта зависит от глубины залегания горизонта (рис. 4). Например, доломит встречается у Йыхвинского горизонта и группы горизонтов верхней части Набалаского горизонта (O_3nb) и выше ее до глубины 50 м, у Кукрузеского горизонта (O_2kk) до 70 м, а в пробах горных пород Кейлаского горизонта (O_2kl) доломит отсутствует.

В таблицах 4 и 5 приведены значения параметров двух разновидностей горных пород в пределах различных интервалов глубины залегания. Как у глинистого, так и у мергелистого известняка, параметры большинства разновидностей мало зависят от глубины залегания. У доломитов, доломитизированного известняка, так же как и у плотного известняка, значения параметров предела прочности при сжатии в интервале глубины залегания 0–30 м ниже, чем в других интервалах глубины залегания. Необходимо отметить, что разделение разновидностей на группы по интервалам глубины залегания не привело к уменьшению коэффициента вариации параметра.

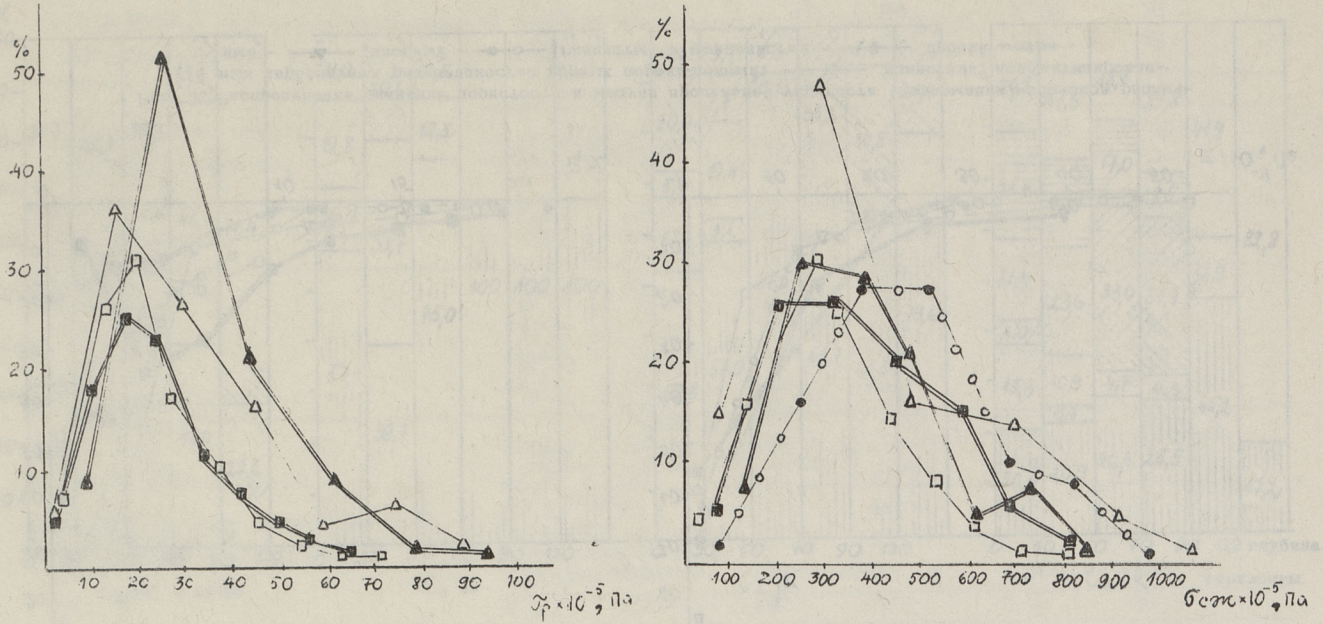

Рис. 2. Распределение прочностных параметров образцов различных карбонатных разновидностей горных пород: доломит – ——△—— известняк: доломитизированный – ——▲—— плотный – —●—○— глинистый и мергелистый – ——□—— прочий – ——■——.

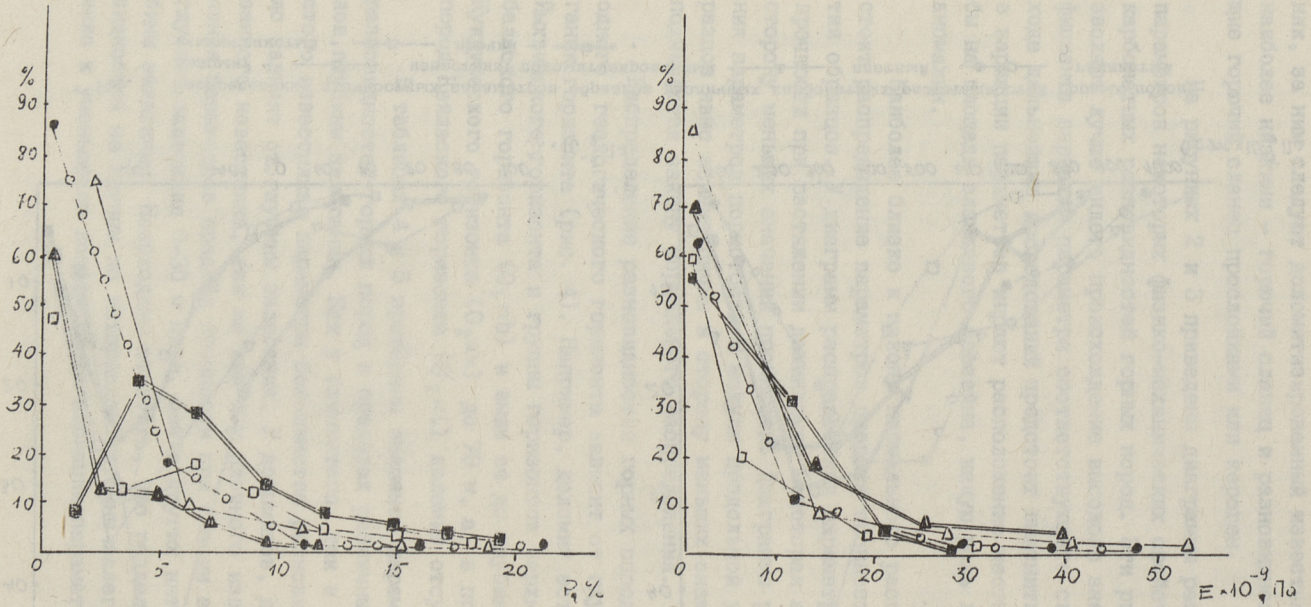

Рис. 3. Распределение значений пористости и модуля продольной упругости (деформации) образцов различных карбонатных разновидностей горных пород: доломит – —△— известняк: доломитизированный – —▲— плотный – —●—○— глинистый и мергелистый – —□— прочий —■—.

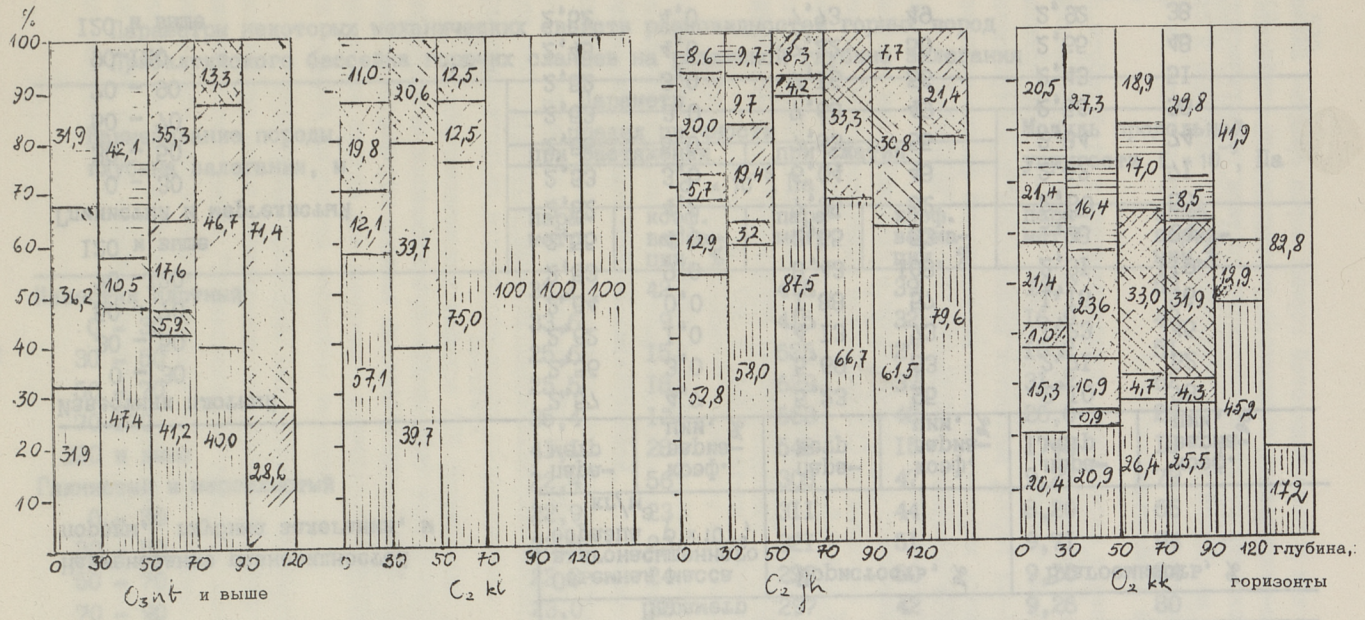

Рис. 4. Распределение разновидностей горных пород некоторых геологических горизонтов по глубине.
Условные обозначения разновидностей горных пород как на рис. 1.

Таблица 4

Параметры некоторых плотностных свойств и влагоемкости разновидностей горных пород Прибалтийского бассейна горючих сланцев на различной глубине залегания

Наименование разновидностей породы, глубина залегания, м	Параметр					
	Объемная масса влагонасыщенного образца $\rho \times 10^{-3}$, кг/м^3		Пористость, %		Влагоемкость, %	
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
Известняк плотный	2,57	4,7	5,23	95	2,I0	78
0 - 30	2,56	3,0	5,69	63	2,7I	52
30 - 50	2,62	I,0	4,I3	73	I,23	45
50 - 70	2,64	0,0	I,88	57	I,I5	76
70 -I20	2,53	9,0	8,43	I08	2,3I	II9
I20 и выше	2,55	4,0	2,65	53	I,38	34
Глинистый и мергелистый	2,52	4,2	7,35	52	2,69	55
0 - 30	2,53	3,0	6,04	48	2,52	7I
30 - 50	2,56	5,0	7,53	55	2,84	74
50 - 70	2,53	3,0	7,63	49	2,56	58
70 - 90	2,52	3,0	7,I6	56	2,43	5I
90-I20	2,48	4,0	7,22	50	2,65	48
I20 и выше	2,52	4,0	7,73	49	2,92	38

Таблица 5

Параметры некоторых механических свойств разновидностей горных пород Прибалтийского бассейна горючих сланцев на различной глубине залегания

Наименование породы, глубина залегания, м	Параметр					
	предел прочности				Модуль продольной упругости $E \times 10^{-9}$, Па	
	при растяжении		при сжатии			
	$\sigma \times 10^{-5}$, Па					
	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %	параметр	коэф. вариации, %
Известняк плотный	33,I	42	475	39	I9,7	53
0 - 30	33,6	9	4I5	32	I6,9	49
30 - 50	25,6	I5	625	27	I5,2	5I
50 - 70	25,5	I8	629	37	3I,2	62
70-I20	35,4	I3	663	42	26,6	29
I20 и выше	4I,I	28	548	I5	I7,2	I8
Глинистый и мергелистый	22,4	56	308	47	9,27	79
0 - 30	22,9	23	3II	44	8,20	66
30 - 50	23,3	23	32I	5I	9,7I	94
50 - 70	23,8	24	292	50	9,I0	84
70 - 90	23,0	23	297	42	9,26	80
90 -I20	I7,9	I8	266	45	I0,I	72
I20 и выше	23,0	23	342	4I	9,0I	68

Так как у разновидностей горных пород средние значения физико-технических параметров различные (см. табл. 3), то в зависимости от литологического состава геологического горизонта на данной глубине залегания будут различны и средние значения соответствующих параметров горных пород на той же глубине залегания.

Значения параметров, представленных в этой работе, позволяют оценивать соответствующие параметры месторождений, его отдельных частей и шахтных полей. Для прогноза поведения отдельных горных выработок вычисленные параметры позволяют повышать информативность исследований физико-технических свойств в окрестности данной горной выработки.

Литература

I. Крипсаар Э.А., Путинцев Ю.В., Эйнпаул Ю.А. К вопросу оценки физико-технических параметров горных пород сланцевых месторождений. – Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1984, № 567, с. 55-66.

N. Katsarskaya, E. Kripsaar, J. Einpaul

The Parameters of Density and Mechanical Properties of the Baltic Rock Oil-shale

Abstract

The statistical data on the determination of the parameters of technical properties of various oil-shale geological strata are given.

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.02

Ю.В. Путинцев, М.М. Соминский

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ В КЕРНАХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ И ИЗВЕСТНЯКОВ

Как известно, прочность горных пород является важнейшим показателем механических свойств, используемых при разработке месторождений и прогнозировании поведения горных пород. По существующим методикам [I] в качестве основной оценки прочности горных пород используется предел прочности при одноосном сжатии, определяемый в результате испытания образцов, полученных при разведочном бурении.

В связи с неоднородностью образцов, обусловленной наличием различных включений и трещиноватости, надежная оценка прочности может быть получена лишь при испытании относительно большого количества образцов, что связано с большими материальными и временными затратами. Поэтому актуальной является задача разработки косвенных экспресс-методов лабораторных испытаний образцов горных пород, требующих сравнительно недорогостоящего оборудования.

На общетехнической кафедре ТПИ проводилась работа по определению взаимосвязи динамического модуля упругости, полученного ультразвуковым методом с пределом прочности при одноосном сжатии для выяснения возможности экспрессной оценки предела прочности косвенным методом.

С этой целью проведены лабораторные испытания образцов горных пород, полученных из шести различных скважин шахтного поля шахты "Пермискюла". В процессе испытаний определялась скорость ультразвука в каждом образце, по которой затем рассчитывался динамический модуль упругости. После этого каждый образец нагружался на испытательном прессе до разрушения.

Образцы были вырезаны из кернов диаметром 70 и 90 мм и имели высоту от 100 до 200 мм. Было испытано 88 образцов в состоянии полного влагонасыщения.

Предел прочности при сжатии определялся по формуле

$$\sigma_c = \frac{F_p}{A}, \qquad (1)$$

где F_p – усилие разрушения;
A – площадь поперечного сечения образца.

Время прохождения через образец продольных колебаний с частотой 150 кГц определялось на приборе УКБ-1.

Динамический модуль упругости [2]

$$E_д = K v^2 \rho, \qquad (2)$$

где ρ – объемная масса материала влагонасыщенного образца;
v – измеренная скорость ультразвука в образце

$$K = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)}, \qquad (3)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Большая неоднородность исследованных образцов во влагонасыщенном состоянии и большое затухание амплитуды волны в них не позволяли измерить время распространения волн Релея по поверхности при сдвигании пьезоэлементов к краям торцов у общей образующей цилиндрического образца. При этом на большинстве образцов не удавалось получить четкого фронта входящей волны и надежно определить скорость поперечных волн. Поэтому мы не могли в этой работе оценить значение коэффициентов Пуассона по отношению скоростей продольных и поперечных колебаний.

По данным тензометрических измерений, проведенных нами на отдельных образцах, коэффициенты Пуассона при околопредельных нагрузках в линейной области деформации имели значения в пределах от 0,25 до 0,4. Поэтому для расчетов $E_д$ пользовались средней величиной $\mu = 0{,}32$. Соответственно

$$E_д = 0{,}7\, v^2 \rho. \qquad (4)$$

Результаты измерений представлены на рисунке, из которого видно, что существует корреляция между $E_д$ и σ_c.

Статистическая обработка результатов показывает, что при аппроксимации зависимости $E_д$ от σ_c прямой линией

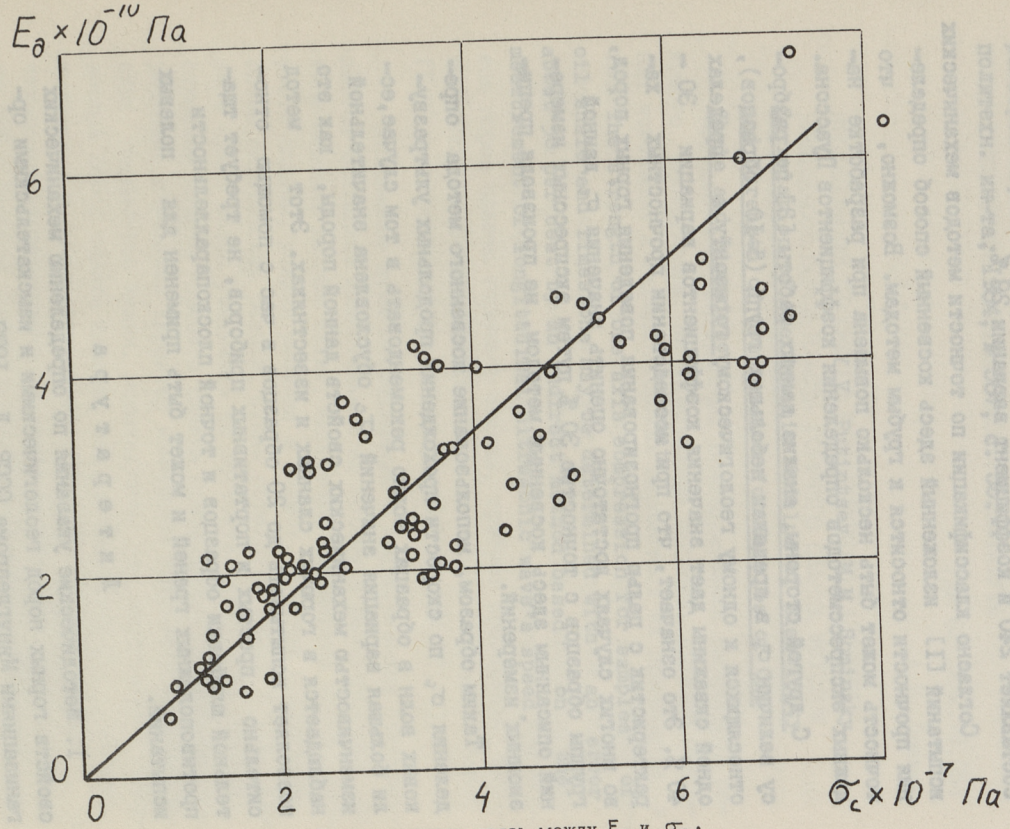

Рис. Корреляционная связь между $E_д$ и σ_c.

$$E_д = 850\,\sigma_c. \qquad (5)$$

При этом среднее квадратическое отклонение величины $E_д/\sigma_c$ составляет 240 и коэффициент вариации 29 %.

Согласно классификации по точности методов механических испытаний [I] изложенный здесь косвенный способ определения прочности относится к грубым методам. Возможно, что точность может быть несколько повышена при разработке надежных экспрессметодов определения коэффициентов Пуассона.

С другой стороны, анализ данных работы [3] по разбросу величин σ_c в пределах небольших групп (5–I0 образцов), относящихся к одному геологическому горизонту в пределах одной скважины дает значения коэффициентов вариации 30 – 40 %. Это означает, что при исследовании прочностных характеристик с целью прогнозирования поведения горных пород, во многих случаях достаточно оценить значения σ_c данной группы образцов с точностью 30 % путем экспрессных измерений описанным здесь косвенным методом, не производя прецизионных измерений.

Таким образом, использование косвенного метода определения σ_c по скорости прохождения продольных ультразвуковых волн в образцах можно рекомендовать в том случае, если большая вариация значений σ_c обусловлена значительной изменчивостью механических свойств данной породы, как это наблюдается в горючих сланцах и известняках. Этот метод позволяет испытывать до 20 образцов в час с помощью относительно простых и портативных приборов, не требует тщательной шлифовки образцов и точной плоскопараллельности противоположных граней и может быть применен для полевых испытаний.

Литература

I. Методические указания по определению механических свойств горных пород геологическими и изыскательскими организациями Минуглепрома СССР. Л., 1977.

2. Чумичев А.М. Методы ультразвукового контроля и дефектоскопии МГИ. М: 1975.

3. Крипсаар Э.А., Путинцев Ю.В., Эйнпаул Ю.А. К вопросу оценки физико-технических параметров горных пород сланцевых месторождений.-Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1984, № 567, с. 55.

Y.V. Putintsev, M.M. Sominsky

Correlation of the Dynamic Modulus of Elasticity and Strength of Compression for Samples of Oil Shale and Limestone

Abstract

The strength of one axis compression for samples of oil shale and limestone may be determined with an error about 30 per cent by an indirect method based on the measurement of longitudinal ultrasonic wave's speed.

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.232.72.054

А.Р. Дусман

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ КОМПЛЕКСОВ ПОРОД ПЛАСТА ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА МЕТОДОМ КОВАРИАЦИОННОГО АНАЛИЗА

Определение рациональных конструктивных параметров режущего инструмента, исполнительных органов, привода очистных комбайнов и технологических параметров их применения в сланцевых шахтах, а также получение исходных данных для проектирования новых типов горных машин (импульсной техники, очистных и проходческих комбайнов большой энерговооруженности), предназначенных для механического разрушения комплексов пород пласта горючего сланца, требует проведения широкомасштабных шахтных и стендовых экспериментальных работ [1-3] и математического моделирования на ЭВМ [2, 4].

Выполнение этих исследований и экспериментов сопровождается фиксацией значительных по объему и разнообразных по типу опытных данных таких, например, как ширина среза, скорость подачи, усилия резания и подачи, глубина подвигания, схемы расстановки резцов, схемы обработки забоя и т.д. При этом нужно особо учитывать то обстоятельство, что сложное строение пласта горючего сланца Прибалтийского бассейна определяет случайный характер изменения силовых и кинематических параметров машин, используемых для разрушения комплексов пород пласта сланца, что, в свою очередь, требует подхода к математической обработке данных шахтных и стендовых экспериментов, а также результатов моделирования на ЭВМ с позиции теории вероятностей и математической статистики и случайных процессов [2, 3].

Разносторонняя оценка многочисленных экспериментальных данных и возможности современных расчетных алгоритмов налагают особую ответственность на исследователя при обобщении и анализе полученных результатов, в первую очередь, с пози-

ции проверки и строгости используемых математических методов.

Так, например, известно [6], что широко применяемый в настоящее время (в том числе при исследовании горных машин, в обработке опытных данных) математический аппарат регрессионного анализа, требует предварительной обязательной проверки на нормальность закона распределения анализируемой величины, особенно, если результаты исследования используются в прогнозных целях. В связи с этим особую ценность приобретает использование в обработке данных идей и методов непараметрической статистики, таких, как дисперсионный, факторный, ковариационный, кластерный анализы, которые, с одной стороны, не требуют обязательного соответствия экспериментальных данных нормальному закону распределения вероятностей, а с другой - позволяют проводить качественную оценку как одномерных, так и многомерных массивов и тем самым определять значимость тех или иных, варьируемых в ходе экспериментов, параметров.

К числу современных методов, в настоящее время только начинающих внедряться в практику выполнения математической обработки опытных данных, относится ковариационный анализ [7].

Теория однофакторного ковариационного анализа строится на совместном использовании моделей однофакторного дисперсионного анализа и линейной регрессии. Как уже было отмечено выше, одним из основных результатов качественного анализа данных математической обработки является получение ответа на вопрос, значимо ли влияние тех или иных факторов (в ковариационном анализе именуемыми сопутствующей переменной), которые варьируются в ходе экспериментов как при моделировании на ЭВМ, так и в ходе проведения натурных шахтных или стендовых опытных работ и которые линейно связаны с исследуемыми (зависимыми) величинами.

Ковариационный анализ оперирует следующими понятиями [7]:

A - фактор обработки (в горных терминах это может быть, например, вынимаемый комплекс пород пласта сланца);

1 - уровни фактора обработки (различные варьируемые комплексы пород пласта B-C, E-F и т.д.);

y_{ij} – результат измерения j-й величины на i-м уровне фактора A (например, j-математическое ожидание или среднее крутящего момента, полученное при моделировании нагрузки на ЭВМ [4], или среднее усилие резания, замеренное на резце импульсного струга при его шахтном испытании, i – номер эксперимента);

x_{ij} – сопутствующая переменная j-й экспериментальной величины на i-м уровне фактора A (например, скорость подачи очистного комбайна или импульсного струга, ширина среза стружки сланца и т.д.).

С учетом этих понятий математическая модель однофакторного ковариационного анализа, записанная в виде линейной модели, выглядит следующим образом [7]:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta(x_{ij} - \bar{x}) + e_{ij},$$

где μ – генеральное среднее;

α_i – дифференциальный эффект от i-го уровня фактора A;

e_{ij} – ошибки измерений;

$\bar{x}$ – среднее i-й группы сопутствующей переменной;

β – коэффициент корреляции.

Таким образом, одним из дополнительных положительных моментов применения ковариационного анализа является повышение точности анализа результатов измерений за счет учета влияния сопутствующей переменной (путем введения в уравнение регрессии оценки α_i).

Гипотеза о значимости влияния сопутствующей переменной на исследуемую величину принимается или отвергается на основе вычисления статистик F-критериев [7] и сравнение их с табличными, подчиняющимися F-распределению, причем этот анализ выполняется как для исходных массивов экспериментальных данных, так и для скорректированных, то есть с учетом влияния сопутствующей переменной.

Большой объем вычислений, выполняемый в соответствии с математической моделью ковариационного анализа, связанный с определением различных оценок и статистик, требует применения ЭВМ. Современные ЭВМ оснащены пакетами прикладных программ по математической статистике, которые позволяют быстро и качественно выполнять различного рода статистические

анализы, в том числе и ковариационный. К числу таких пакетов необходимо в первую очередь отнести пакет BMDP [5], адаптированный для ЕС ЭВМ в русской транскрипции как пакет СОМИ. Числовая информация, выдаваемая программой BMDP1V из пакета BMDP (СОМИ), позволяет исследователю до конца и качественно выполнить требования ковариационного анализа.

Так, приняв в качестве фактора обработки (А) вынимаемый комплекс пород пласта горючего сланца, в качестве сопутствующей переменной (X) ширину среза, а в качестве зависимой переменной (y) математическое ожидание и коэффициент вариации крутящего момента на шнековом исполнительном органе сланцевого очистного комбайна, полученные в ходе моделирования на ЭВМ различных технологических вариантов отработки пласта горючего сланца [4], оказалось возможным применить вышеизложенный ковариационный анализ для качественной оценки влияния схем обработки забоя и ширины среза на статистические оценки средних и динамических нагрузок шнеков очистных комбайнов типа КШЗМ. Исходные данные, введенные в ЭВМ для последующей обработки по программе BMDP1V, сведены в таблицу I.

В таблице 2 представлены полученные коэффициенты корреляции уравнений регрессий, скорректированных в ходе выполнения ковариационного анализа с учетом сопутствующей переменной.

Результаты ковариационного анализа позволяют сделать следующие выводы:

- принятый фактор обработки (комплекс пород пласта сланца) является значащим и активно влияющим по сравнению с другими варьируемыми факторами (схема набора шнеков, количество резцов в линии резания и т.д.) на формирование нагрузок исполнительного органа сланцевого очистного комбайна;

- после корректировки с учетом влияния сопутствующей переменной теснота связи (коэффициент корреляции) увеличилась и достигла значительной величины (см. табл. 2) как для двух ($m = 2$), так и для трех ($m = 3$) резцов в линии резания;

- регрессионная связь между коэффициентом вариации вращающего момента и шириной среза не является значимой, что подтверждает сформулированное в [2] предположение о недоста-

Таблица I

Исходные данные для ковариационного анализа

Фактор обработки	Ширина среза, см X	Коэффициенты вариации		Математическое ожидание, кгм	
		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
F-D/C	3,0	0,I03	0,085	I474,65	I4I0,07
	4,0	0,I03	0,086	I703,92	I633,28
	5,2	0,I02	0,085	I972,93	I959,58
	6,0	0,I0I	0,083	220I,73	2278,80
A-C	3,0	0,055	0,042	2672,88	2558,80
	4,0	0,055	0,042	309I,59	2974,74
	5,2	0,055	0,042	36I7,45	3603,75
	6,0	0,054	0,04I	4053,90	4I96,I8
A-B/A	3,0	0,275	0,207	I42,00	I38,38
	4,0	0,274	0,2I0	I64,80	I62,26
	5,2	0,269	0,203	I95,88	200,26
	6,0	0,262	0,I95	222,69	233,8I
B-C	3,0	0,046	0,027	I955,39	I875,38
	4,0	0,046	0,028	2264,62	2I83,54
	5,2	0,045	0,028	2655,I6	2646,26
	6,0	0,044	0,028	2976,4I	3075,88
D C-E/D	3,0	0,I52	0,092	28I,25	270,I9
	4,0	0,I49	0,088	326,3I	3I6,28
	5,2	0,I44	0,086	386,26	387,40
	6,0	0,I4I	0,088	436,26	45I,84
E-F	3,0	0,056	0,036	889,85	850,78
	4,0	0,055	0,036	I029,64	987,39
	5,2	0,054	0,037	II99,56	II86,93
	6,0	0,054	0,036	I336,0I	I377,87

точности коэффициента вариации как единственной количественной меры динамичности нагрузок исполнительных органов очистных комбайнов.

Дальнейшее развитие идей ковариационного анализа в рамках однофакторной модели со многими сопутствующими переменными, его использование в математической обработке результатов моделирования на ЭВМ нагрузок сланцевых очистных ком-

байнов, а также многокомпонентного экспериментального материала – данных шахтных испытаний по разрушению сланцевого пласта импульсным исполнительным органом, позволит получить исходные данные, уточняющие расчетные алгоритмы математических моделей процесса механического разрушения различных комплексов пород пласта горючего сланца.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между шириной среза и средним значением крутящего момента

Комплекс пород	Коэффициенты корреляции	
	m = 2	m = 3
D/C - F	0,999	0,993
A - C	0,999	0,993
A - B/A	0,997	0,994
B - C	0,999	0,994
D/C - E/D	0,998	0,994
E - F	0,999	0,994

Литература

I. Адамсон А.П. Исследование и обоснование параметров очистных комбайнов для сланцевых шахт. Дис. канд. техн. наук. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1975. 150 с.

2. Дусман А.Р. Исследование динамической нагруженности и определение рациональных параметров привода очистного комбайна для добычи сланца в условиях Прибалтийского сланцевого бассейна. Дис. канд. техн. наук. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. 156 с.

3. Позин Е.З., Адамсон А.П., Андреев В.А. Разрушение сланцев инструментами выемочных машин. М.: Наука, 1984. 144 с.

4. Дусман А.Р. Исследование нагруженности шнековых исполнительных органов сланцевых очистных комбайнов методом моделирования на ЭВМ. – Тр. Таллинск. политехн. ин-та, 1984, № 567, с. 67–75.

5. Дусман А.Р., Зельцер В.М., Варкки Н.А. Анализ методов обработки экспериментальных данных на ЕС ЭВМ на основе пакетов прикладных программ. – Горючие сланцы, 1983, № 9, с. 19–23 (инф. сер. I, Эст.НИИ НТИ).

6. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. М.: Мир, 1981. 693 с.

7. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. М.: Мир, 1982. 488 с.

A. Dusman

Investigation of Mechanical Caving of Complex Rock Structures in a Shale Bed by Means of Covariational Analysis

Abstract

The investigation was aimed at defining important factors being measured during experiments at oil shale mines.

Also were defined the computer modelled values determining loads formation.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между шириной среза и средним значением крутящего момента

Комплекс пород	Коэффициенты корреляции	
	r_{xy}	r^2_{xy}
А-С	0,999	0,999
А-В/А	0,997	0,994
В-С	0,999	0,994

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.61/67

В.Х. Лаурингсон, Э.А. Киккас

О РЕЙСОВЫХ ПАУЗАХ ЭЛЕКТРОВОЗНОЙ ОТКАТКИ НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ

Действующие нормативы проектирования предусматривают, что для вновь проектируемых шахт (горизонтов) откатка основного грузопотока по магистральным выработкам должна осуществляться либо секционными поездами, либо вагонетками с донной разгрузкой. В результате увеличивается производительность откатки в (среднем на 15 -- 18 % при использовании секционных поездов) и повышается безопасность работы на подземном транспорте [1].

Есть полное основание полагать, что дальнейшая модернизация локомотивного транспорта на сланцедобывающей промышленности идет также по пути внедрения секционных поездов (для обслуживания очистных забоев) и вагонеток с донной разгрузкой (для вывоза горной массы из подготовительных забоев). Первые шаги в этом направлении уже сделаны на шахте "Виру", где начиная с 1981 года успешно эксплуатируются несколько секционных поездов ПС-3,5 наряду с вагонетками с донной разгрузкой ВД-3,3, которые в настоящее время сняты с производства. На очереди реконструкция подземного транспорта на шахте "Ахтме", где среди возможных вариантов имеются также варианты транспорта с секционными поездами ПС-3,5 и новыми вагонетками с донной разгрузкой ВДК-2,5. На проектируемой шахте "Куремяэ" с полной конвейеризацией будут также использованы вагонетки ВДК-2,5 для обслуживания подготовительных забоев.

Как известно, производительность локомотивосоставов, а на основе этого и величина электровозного и вагонеточного парка шахты зависит от продолжительности рейса поезда ($T_р$). Отсюда становится очевидным, какое значение имеет проверка рейсовых пауз поездов на сланцевых шахтах.

Время рейса определяется по формуле (мин):

$$T_р = t_п + t_{гр} + \Theta ,$$

где $t_п$ – время движения порожнего состава, мин;

$t_{гр}$ – время движения груженого состава, мин;

Θ – суммарное время плановых пауз за рейс, мин.

Суммарное время плановых пауз выражается (мин):

$$\Theta = \Theta_{оД} + \Theta_{пп} + \Theta_{Дв} ,$$

где $\Theta_{оД}$ – продолжительность нахождения электровоза в околоствольном дворе за рейс, мин;

$\Theta_{пп}$ – продолжительность нахождения электровоза в пункте погрузки, мин;

$\Theta_{Дв}$ – продолжительность дополнительных остановок в местах пересечения транспортных выработок, мин.

Числовые значения плановых рейсовых пауз, регламентированные для угольных шахт, используются в настоящее время также в расчетах и для сланцевых шахт. Они даются для составов с донной разгрузкой следующими: $\Theta_{оД}$ = 10 мин; $\Theta_{пп}$ = 10 мин; $\Theta_{Дв}$ = 5 – 10 мин [2, 3].

Чтобы учитывать в расчетах по локомотивному транспорту специфику сланцевых шахт, связанную со свойствами горной массы, а также с технологической схемой работы околоствольных дворов и погрузочных пунктов, кафедрой горного дела ТПИ были проведены хронометражные наблюдения по рейсовым паузам электровозного транспорта в условиях сланцевых шахт "Виру" и "Ахтме". Были также обработаны диспетчерские графики шахты "Виру". Результаты статической обработки наблюдений представлены в табл. I.

Как показали наблюдения, на время пребывания локомотива в околоствольном дворе влияют такие факторы, как:

I) влажность горной массы. Более мокрая масса из подготовительных забоев обуславливает большее время разгрузки составов с вагонетками ВД-3,3;

2) несовершенство конструкции разгрузочного устройства вагонеток ВД-3,3. С этим связаны дополнительные задержки при разгрузке состава;

3) способ организации локомотивного транспорта по шахте (закреплены ли локомотивы за погрузочными пунктами или

Таблица I

Статистическая оценка рейсовых пауз электровозной откатки

Рейсовая пауза	Обозначения статистических показателей	По хронометражным наблюдениям			По диспетчерским графикам шахты "Виру"	
		на шахте "Ахтме"	на шахте "Виру"			
		состав из ВГ-3,3	состав из ПС-3,5	состав из ВД-3,3	состав из ПС-3,5	состав из ВД-3,3
I	2	3	4	5	6	7
Время пребывания электровоза на погрузочном пункте очистного забоя, $\theta_{пп}$, мин	n	I22	-	-	I00	I00
	X_{max}	II,5	-	-	I0	I5
	X_{min}	4,0	-	-	4,0	5,0
	$\bar{X}$	5,4	-	-	6,3	8,0
	σ	2,I	-	-	I,3	2,3
	V, %	38,2	-	-	20,0	28,8
	$X_{расч.}$		5,5 – 8,0			
Время пребывания электровоза на погрузочном пункте подготовительного забоя, $\theta'_{пп}$, мин	n	I2	-	-	-	94
	X_{max}	25	-	-	-	30
	X_{min}	4	-	-	-	5
	$\bar{X}$	II,4	-	-	-	I5,2
	σ	5,7	-	-	-	5,6
	V, %	49,6	-	-	-	36,8
	$X_{расч.}$		II,5 – I5			

Продолжение табл. I

I	2	3	4	5	6	7
Время пребывания электровоза в околоствольном дворе $\theta_{0\Delta}$, мин	n	I0	I6	23	I00	I00
	X_{max}	II,0	I4,5	I9,0	I0,5	22,5
	X_{min}	7,0	6,0	9,0	3,0	5,0
	$\bar{X}$	8,9	I0,5	I4,I	5,6	I0,I
	σ	I,6	2,8	2,0	I,4	4,8
	V,%	I7,8	26,7	I4,3	23,3	48,0
	$X_{расч.}$	9,0 – I4,0				
Продолжительность дополнительных остановок на маршруте за рейс, $\theta_{\Delta B}$, мин	n	2I	–	–	–	–
	X_{max}	8,3	–	–	–	–
	X_{min}	2,5	–	–	–	–
	$\bar{X}$	4,8	–	–	–	–
	σ	I,9	–	–	–	–
	V,%	39,6	–	–	–	–
	$X_{расч.}$	5,0				

Примечания: I) n – число наблюдений;

2) X_{min}, X_{max}, $\bar{X}$, $X_{расч}$ – минимальное, максимальное, среднее и расчетное значение признака;

3) σ – среднеквадратичное отклонение признака;

4) V – коэффициент вариации признака.

нет). Например, составы уезжающие с одного крыла шахтного поля на другое после разгрузки, имеют меньшее время маневров в околоствольном дворе (не закреплены за участками).

Большое время пауз на погрузочных пунктах подготовительных забоев связано с плохим состоянием рельсовых путей на этих пунктах.

Следует также отметить по опыту шахты "Ахтме", что благоприятно влияет на уменьшение общего времени рейсовых пауз организация кольцевого движения поездов на панелях.

Заключение

Результаты статистической обработки рейсовых пауз позволяют сделать следующие выводы для сланцевых шахт:

I) суммарное время плановых пауз за рейс рекомендуется брать 20 минут при обслуживании очистных забоев локомотивной откаткой с секционными поездами ПС-3,5;

2) суммарное время плановых пауз за рейс рекомендуется брать 30 минут при обслуживании подготовительных забоев локомотивной откаткой с использованием вагонеток с донной разгрузкой ВДК-2,5;

3) суммарное время плановых пауз за рейс рекомендуется брать 25 минут при обслуживании как очистных, так и подготовительных забоев локомотивной откаткой с вагонетками с донной разгрузкой ВДК-2,5.

Литература

I. Шорин В.Г., Кузюков Ф.Ф., Кузнецов К.К. и др. Системы внутришахтного транспорта. М.: Недра, 1977. 336 с.

2. Справочник по шахтному транспорту / Под ред. Г.Я. Пейсоховича и И.П. Ремизова. М.: Недра, 1977. 619 с.

3. Основные положения по проектированию подземного транспорта новых и действующих угольных шахт. М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1977. 250 с.

V. Lauringson, E. Kikkas

About the Manoeuvring Time of the Electric Haulauge Locomotives in Oil Shale Mines

Abstract

The authors submit an analysis based on the time study of the manoeuvring time of electric locomotives in oil shale mines.

Recommendations are presented concerning the durability of the manoeuvring time under two circumstances: when the locomotive is exploited in the working face and when it is exploited in the development face.

The total durability of the manoeuvring time in oil shale mines ranges from 20 to 30 min. per trip.

№ 623
TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.794

Т.П. Климёнова

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРООСМОСА ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ СЛАНЦЕВЫХ ШЛАМОВ

На сегодняшний день остается актуальной проблема водношламового хозяйства сланцеобогатительных фабрик, которая заключается в следующем.

В настоящее время шламовые воды обогатительных фабрик сланцедобывающих шахт и разрезов поступают в наружные шламоотстойники, откуда шламы после отстаивания (в течение года и более) выгружаются и перемешиваются с энергетическим сланцем.

При подаче шламовых пульп в шламоотстойник по всей его длине происходит естественное разделение твердой фазы по крупности. Это приводит к постепенному локальному накоплению тонких шламов, которые в естественных условиях не уплотняются в течение многих лет и остаются нетранспортабельными. В результате, активный объем шламоотстойников сокращается ежегодно примерно на 20 % годовой производительности, что приводит к необходимости строительства (в среднем через каждые 5 лет) дополнительных карт шламоотстойников.

Открытые шламоотстойники занимают значительные площади и часто являются источником загрязнения окружающей среды. В связи с этим на новых проектируемых шахтах предусмотрена замкнутая схема шламового хозяйства с возвратом оборотной воды. Например, на проектируемой шахте "Куремяэ" предусмотрен цех тонкой очистки шламов на основе вакуумных фильтр-прессов, позволяющих полностью исключить наружные шламоотстойники. Использование дорогостоящего оборудования, каким являются вакуумные фильтры-прессы, значительно удорожает сметную стоимость строительства новых шахт [I].

В рамках существующей проблемы на общетехнической кафедре проведены предварительные экспериментальные исследования по обезвоживанию сланцевых шламов на основе явления электроосмоса.

Как известно, явление электроосмоса широко используется в грунтоведении для понижения влажности и повышения прочности грунтов при строительстве дорог, аэродромов, различных сооружений [2, 3, 4], причем известно, что этот процесс наиболее эффективен в грунтах с малыми значениями коэффициента фильтрации, т.е. в суглинистых и глинистых грунтах, к которым сланцевые шламы наиболее близки по гранулометрическому составу. В грунтоведении накоплен значительный опыт по использованию электроосмоса, однако разработанные теоретические положения и практические рекомендации не могут быть в полной мере применимы к обезвоживанию сланцевых шламов.

Проведенные эксперименты показали, что количество отведенной воды пропорционально количеству электричества в значительном диапазоне влажностей, что согласуется с литературными данными [2]. Однако при достижении определенных значений влажности линейность нарушается (рис. I). Это объясняется изменением объема и пористости шлама и приводит в общем случае к увеличению энергозатрат.

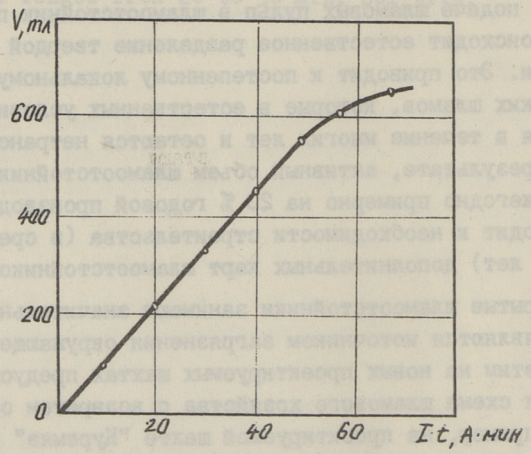

Рис. 1. Зависимость количества отведенной воды от количества электричества.

Величина удельных затрат электроэнергии в значительной степени зависит от параметров исходного продукта и режима обезвоживания, при этом удельные затраты изменяются от 30–50 до I30–200 кВт·ч на тонну готового продукта. Приведенные на рис. 2 зависимости удельных затрат электроэнергии от

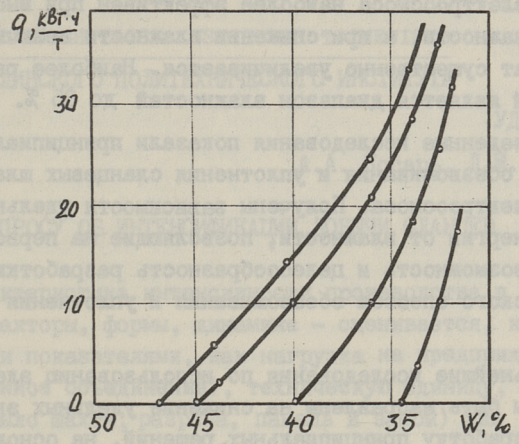

Рис. 2. Зависимость удельных энергозатрат от влажности.

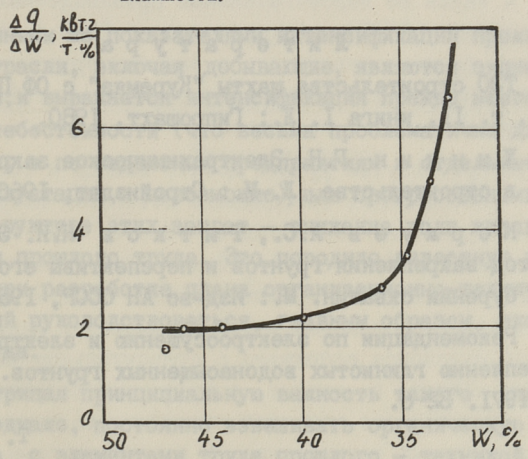

Рис. 3. Дифференциальная кривая удельных энергозатрат от влажности.

влажности шлама показывают, что значения исходной и конечной влажностей являются основными показателями при определении эффективности электроосмотического обезвоживания.

Конечная влажность шлама определяется его транспортабельностью и по предварительной оценке составляет величину порядка 35 %.

Более наглядное представление о зависимости удельных затрат электроэнергии от влажности дает дифференциальная кривая, представленная на рис. 3. Из рисунка 3 видно, что

процесс электроосмоса наиболее эффективен при высоких значениях влажности, а при снижении влажности величина удельных затрат существенно увеличивается. Наиболее рациональной зоной является диапазон влажностей до 35 %.

Проведенные исследования показали принципиальную возможность обезвоживания и уплотнения сланцевых шламов с помощью электроосмоса. Получены зависимости удельных затрат электроэнергии от влажности, позволяющие на первом этапе оценить возможность и целесообразность разработки электроосмотического способа обезвоживания и уплотнения сланцевых шламов.

Дальнейшие исследования по использованию электроосмоса должны быть направлены на снижение удельных энергозатрат и разработку принципиальных решений, на основе которых могут быть построены схемы для конкретных условий использования.

Литература

1. ТЭО строительства шахты "Куремяэ" с ОФ ПО "Эстонсланец", т. II, книга I. Л.: Гипрошахт, 1980.

2. Жинкин Г.Н. Электрохимическое закрепление грунтов в строительстве. Л.-М.: Стройиздат, 1966. 195 с.

3. Коржуев А.С., Титков Н.И. Электрический метод закрепления грунтов и перспективы его применения при бурении скважин. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 179 с.

4. Рекомендации по электроосушению и электрохимическому закреплению глинистых водонасыщенных грунтов. М.: Стройиздат, 1971. 32 с.

T. Klimjonowa

Über die Möglichkeit der Anwendung der Elektroosmose für die Verdichtung der Schieferschlämme

Zusammenfassung

Es sind die Ergebnisse von Laboruntersuchungen der Entwässerung und Verdichtung der Schieferschlämme mit Hilfe von der Elektroosmose vorgelegt. Es ist die Abhängigkeit des Elektroenergieaufwandes von der Schlammfeuchtigkeit und der Menge des abgeführten Wassers dargelegt. Es wird die Schlußfolgerung über die Forschungsperspektiven in dieser Richtung auch gemacht.

№ 623

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

УДК 622.033

А.А. Косарь, Л.М. Лихачева

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВ

Характеристика интенсивности производства в отрасли – анализ, факторы, формы, динамика – оценивается, как правило, такими показателями, как нагрузка на предприятие (производственное объединение), техническую единицу, или его часть (крыло шахты, разреза, панель и забой) или единицу горного оборудования (комбайн, экскаватор, погрузочную машину).

Конечными же показателями интенсификации производства в любой отрасли, включая добывающие, являются экономические показатели, и выражается интенсификация прежде всего или в снижении себестоимости (что весьма проблематично для шахт и разрезов, а по отдельным предприятиям в отдельные периоды их эксплуатации и невозможно), или прогрессивными изменениями в структуре этих затрат – снижение доли живого и повышение доли прошлого труда. Это породило известную устремленность при разработке плана организационно-технических мероприятий руководствоваться, главным образом, экономией живого труда.

Не отрицая принципиальную важность такого подхода, следует, однако, постоянно взвешивать органическую связь живого труда с элементами труда прошлого – техникой, сооружениями, материальными и энергетическими ресурсами.

В период недостаточной механизации труда, когда его результаты определялись, главным образом, живым трудом, такой подход был оправдан. Современный этап развития отрасли характеризуется существенным снижением удельного веса живого труда и соответствующим повышением доли прошлого труда за счет завершения механизации основных технологических процессов. Это означает, что в формировании производственных издержек первостепенное значение приобретают элементы прош-

лого труда – материальные затраты и затраты на производственные фонды.

Определить момент, когда это случилось в истории Прибалтийского бассейна, можно путем прослеживания параллельной динамики в развитии элементов (статей) затрат себестоимости и уровня механизации труда. Такой анализ показал, что если в целом для угольной промышленности период преобладания живого труда в издержках производства был завершен еще в 1966 году, то на шахтах Прибалтийского сланцевого бассейна – только в 1973 году.

Чем определяется необходимость повышения внимания к интенсификации в подотрасли?

1. Создание мощного технического потенциала. Основные производственные фонды на шахтах, разрезах, обогатительных фабриках, а также во вспомогательных производствах (ПТУ, РМЗ и др.) выросли к 1985 г. по сравнению с 1970 г. более чем в 3,9 раза; фондовооруженность и энерговооруженность труда повысилась в 3,2 раза. Задача состоит в том, чтобы эффективно использовать этот потенциал.

2. При достигнутом рубеже добычи сланца в объеме 27 млн. т обеспечивать сегодняшний потенциал потребности в сланце все труднее на экстенсивной основе. Хотя выбытие производственных мощностей и ввод новых взамен является характерным для любой отрасли промышленности, следует помнить, что для народного хозяйства любое наращивание топливно-энергетического комплекса сопряжено с относительным повышением капитальных затрат, и, значит, сокращением возможности для повышения производства конечной продукции со всеми вытекающими последствиями потребления. С другой стороны, ухудшение природных условий на шахтах и разрезах делает их развитие все меньше экономически выгодным.

3. Возможности роста добычи сланца ограничиваются также соображениями охраны окружающей среды.

4. Кроме того, экстенсивный путь развития связан с созданием новых рабочих мест. В условиях практически непреодолимого дефицита в рабочей силе также требуется переход на интенсивный путь развития.

Таким образом, укрупненный анализ условий добычи сланца на современном этапе показывает, что созданы объективные

предпосылки для повышения роли интенсивных факторов и возникли жесткие ограничения возможностей добычи за счет экстенсивных факторов.

При этом следует иметь в виду, что в целом по стране в УШ пятилетке на долю интенсивных факторов приходилось 35,2 %, в IX - 26,9 % и в X - 30,5 %*. Именно в преобладании экстенсивных факторов кроется главная причина снижения в недавнем прошлом темпов экономического развития и тех трудностей, с которыми столкнулось в современных условиях производство. Соответственно преобладание интенсивных факторов экономического роста позволит существенно снизить эти негативные моменты и вывести промышленное производство на новые рубежи.

A. Kosar, L. Lichatchova

Zur Frage der Intensivierung der Ölschiefergewinnung

Zusammenfassung

Im Artikel macht man den Versuch, den Begriff der Intensivierung der Ölschiefergewinnung zu bewerten und beweist die Notwendigkeit, die Aufmerksamkeit für die Intensivierung im baltischen Ölschieferrevier zu steigern.

* А.Г. Агабегян. Курсом интенсификации. - Правда, 27 октября, 1984 г.

Содержание

I. Пязок Р.А. О кондициях на минеральное сырье и взаимосвязи полноты извлечения запасов с экономической эффективностью эксплуатации месторождений 3

2. Арукюла Х.Х., Рейер А.Х. Статистическая оценка и корреляционный анализ показателей положения и содержания компонентов фосфоритного пласта участка Кабала-Западный..... I9

3. Кацарская Н.Г., Крипсаар Э.А., Эйнпаул Ю.А. Параметры плотностных и механических свойств горных пород Прибалтийского бассейна горючих сланцев..... ..... 3I

4. Путинцев Ю.В., Соминский М.М. Взаимосвязь динамического модуля упругости и предела прочности при сжатии в кернах горючих сланцев и известняков..... 45

5. Дусман А.Р. Исследование процессов механического разрушения комплексов пород пласта горючего сланца методом ковариационного анализа... 5I

6. Лаурингсон В.Х., Киккас Э.А. О рейсовых паузах электровозной откатки на сланцевых шахтах... 59

7. Клименова Т.П. О возможности использования электроосмоса для уплотнения сланцевых шламов 65

8. Косарь А.А., Лихачева Л.М. К вопросу об интенсификации добычи сланцев..... 69

Teaduslik Raamatukogu ENSV TA TALLINN АН ЭССР Научная библиотека

EESTI AKADEEMILINE RAAMATUKOGU
1 0200 00089547 8

Цена 60 коп.