УДК 622.11;553.06

Р.А.ТАКРАНОВ, *д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru*
А.А.ЛИТВИНОВА, *студентка, litvinova_anastasiia@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

R.A.TAKRANOV, *Dr. in eng. sc., professor, kmd@spmi.ru*
A.A.LITVINOVA, *student, litvinova_anastasiia@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ВЛИЯНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СЛОЖНОСТЬ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КУЗБАССА

Системным анализом подтверждено, что сложность горно-геологических условий открытой разработки угля определяется углом падения, мощностью и глубиной залегания пласта, а также извлекаемостью запасов. Установлена зависимость показателей трудоемкости и стоимости горных работ от отмеченных факторов. Математически обоснована значимость факторов и доля их влияния на технико-экономические показатели угольных карьеров Кузбасса.

Ключевые слова: системный анализ, горно-геологическая сложность, математическая обоснованность.

INFLUENCE CONDITION OF GROUND ON COMPLEXITY IN THE PROCESS OPEN PIT KUZBAS`S COAL DEPOSITS

The complexity condition of ground in the process of open mining coal are determined inclination of seam, seam height, seam depth. It was confirmed by operations analysis recoverability benk. The dependence index of labour requirement and cost of mining operations on written factors was indentified. Magnitude of factors and gegree impact on technical and economic performance coal opencasts of Kuzbass.

Key words: operations analysis, mining-and-geological complexity, mathematical justification.

Для решения практических и научно-методических задач необходима оценка горно-геологической сложности открытой разработки, соответствующая типизация и районирование карьерных полей. Такие задачи связаны с проектированием разработки новых месторождений, с выбором системы и технологии горных работ, с расчетом технико-экономических показателей (ТЭП) предстоящей эксплуатации. С другой стороны, опыт горных работ в конкретных горно-геологических условиях служит основой совершенствования горного производства и повышения его эффективности. В этих случаях используется информация о карьерах-аналогах, с близкими горно-геологическими условиями.

Систематизация горно-геологических условий по сложности эксплуатации месторождений открытым способом, кроме того, является научно-методической основой геолого-маркшейдерского обеспечения разработки, унификации и оптимизации методики, объема и состава геологических и маркшейдерских работ. Открытые разработки Кузбасса рядом исследователей (В.С.Меньшов, В.Е.Ольховатенко, А.С.Ненашев, И.А.Паначев) объединены в однотипные группы по разным классификационным признакам: залеганию, системе разработки, ТЭП, инженерно-

геологическим условиям. Горно-геологическая характеристика открытой разработки в Кузбассе как основа соответствующей типизации приведена в статье Р.А.Такранова, В.П.Жилина*. Сложность горно-геологических условий эксплуатации угольных месторождений обусловлена комплексом горно-геологических факторов: тектонической структурой, залеганием, строением, геолого-стратиграфической принадлежностью пород, предопределяющей их состав, степень метаморфизма, переслаиваемость, разрабатываемость, устойчивость и обводненность массива.

Эти факторы являются классификационными критериями, в соответствии с которыми по сложности условий разработки выделены четыре группы (типа) карьерных полей, расположенных в известных геолого-промышленных районах бассейна. К группе 1 (с простыми горно-геологическими условиями открытой разработки) относятся карьерные поля Ленинско-Беловского района. Для него характерны полого и горизонтально залегающие рабочие пласты и не полностью консолидированные вмещающие породы кольчугинского возраста. Относительно простые условия разработки по комплексу классификационных признаков свойственны карьерным полям Южного Кузбасса и части Ерунаковского района (группа 2); к группе 3 (со средней горно-геологической сложностью) относятся карьерные поля Кемеровского и Байдаевского районов с переменным залеганием пластов; к группе 4 (со сложными условиями) – поля Прокопьевско-Киселевского и Бунгуро-Чумышского районов.

Предложенные категории сложности горно-геологических условий разработки (ГГУР) подтверждены фактическими данными о системах открытой разработки, ее параметрах, сложности технологических схем горных работ, эффективности экскаваторных работ. В указанной работе приведены примеры закономерного изменения ТЭП открытых горных работ в зависимости от сложности ГГУР. Главными ТЭП, характеризующими трудоемкость и стоимость горных работ, служат: производительность горнорабочего Q_1 и экскаваторов, сопоставимых по типам размеров, Q_2 (в смену, за месяц и т.п.); себестоимость добычи С в рублях на тонну; фондоотдача материально-финансовых затрат ФО в тоннах на рубль.

Для обоснованности определения сложности разработки и соответствующей типизации проведен корреляционный анализ связи ТЭП трудоемкости и стоимости разработки с наиболее значимыми для нее геологическими факторами. Постоянно влияющими на сложность разработки являются: угол падения (δ), мощность (М) пласта, глубина его залегания и разработки, характеризуемые коэффициентом вскрыши (Кв), а также технологичностью и извлекаемостью (И) запасов. Извлекаемость угля из пластов обусловлена сложностью их морфологии, строения, нарушенности, а также устойчивостью непосредственно вмещающих пород и другими факторами. Этот горно-геологический показатель является интегральной характеристикой геологической сложности угольных пластов и технологической возможности их полной и эффективной отработки.

О значимости отмеченных факторов свидетельствуют нормативные требования к проектированию угледобывающего производства, опыт эксплуатации разных угольных месторождений, теоретические обоснования и предпосылки системы и технологии разработки пластов угля.

Ведущая роль геологических факторов (δ, М, Кв, И), влияющих на сложность разработки, подтверждена также системным анализом, выполненным эмпирическим путем. Первоначальные данные о всей совокупности геологических факторов, определяющих сложность открытой разработки, получены из литературных источников. В них в разной форме рас-

---

* *Такранов Р.А.* Основы типизации горно-геологической сложности открытой разработки угля в Кузбассе / Р.А.Такранов, В.П.Жилин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2002. № 4. С.11-17.

Takranov R.A., Zhilin V.P. Basis of typification mining-and-geological complexity open mining coal in Kuzbas // Reporter Kuzbas State Technikon. 2002. N 4. P.11-17.

сматриваются геологические условия ведения горных работ, которые определяются тектонической структурой месторождения, рядом характеристик угольных пластов (залеганием, мощностью, качеством), запасами угля, составом и свойствами вмещающих пород, гидрогеологическими, инженерно-геологическими и географическими условиями, наличием попутных полезных ископаемых, охраной природной среды. Проанализировано 15 таких факторов, которые рассмотрены в 22 источниках, представленных нормативно-методическими документами ГКЗ, Ростехнадзора, проектных институтов и др., а также крупными монографическими публикациями академических и ведомственных НИИ, вузов, авторитетных ученых (Н.В.Мельников, В.В.Ржевский, В.С.Хохряков, Ю.И.Беляков, В.Д.Ломтадзе и др.).

Значимость факторов оценивалась по относительному количеству упоминаний. Наиболее значимые факторы, по мнению 90-95 % авторов, – падение, мощность и морфоструктура пласта, глубина его залегания, качество и свойства угля, физико-механические свойства вмещающих пород. К значимым факторам, по данным 75-90 % источников, относятся гидрогеологические условия, структура месторождения. Эти данные, являющиеся «мягким рейтингом», подтверждают правильность нашего выбора характеристик, относящихся к объекту разработки, к угольному пласту.

Положения «мягкого рейтинга» подтверждаются результатами экспертного анализа, проведенного анкетным опросом специалистов по открытой разработке угля. В анкетировании участвовали главные специалисты (технологи, геологи, маркшейдеры) угольных карьеров, сотрудники исследовательских, проектных и учебных институтов, доктора и кандидаты наук. Обработка балловой оценки значимости геологических факторов велась по методу расстановки приоритетов (В.А.Блюмберг). Для анализируемой системы факторов, совокупная значимость которой равна 100 %, рассчитано индивидуальное значение групповой оценки значимости каждого из них.

Наиболее значимыми факторами с групповой экспертной оценкой 7,5-8,0 % являются глубина залегания, угол падения, мощность и морфоструктура пласта. Среднезначимыми факторами с 6,0-7,5 % являются физико-механические свойства пород и строение горного массива; гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки.

Системным анализом подтверждена обоснованность выбора значимых факторов, характеризующих горно-геологическую сложность открытой разработки угля (δ, М, Кв, И). Корреляционный анализ зависимости технико-экономических показателей (С, Q_1, Q_2, ФО) от геологических факторов (δ, М, Кв, И) проведен по фактическим данным о работе 25 карьеров Кузбасса за 1980-1989 гг., период стабильной работы угольной промышленности. Анализировались данные и за другие годы. Исходные данные заимствованы из ежегодных статистических сборников Минуглепрома и объединения «Кемеровоуголь» («Кузбасскарьероуголь»). Кроме того, использовалась информация отчетов о производственной деятельности угольных карьеров и паспортов предприятий, обзоры и экспресс-информации ЦНИЭИуголь.

Статистическая обработка исходных данных, дисперсионный и регрессионный анализ и аппроксимация изучаемых связей и другие математические операции осуществлены с использованием программ Microsoft Excel 2003 и Statistica v6.

Корреляционный анализ влияния показателей ГГУР на ТЭП проведен с учетом принадлежности карьерных полей к определенной категории (группе) сложности и в целом для всего Кузнецкого бассейна.

Парная зависимость функций (С, Q_1, Q_2, ФО) от аргументов-факторов (δ, М, Кв, И), как показал регрессионный анализ, надежно аппроксимируется степенной функцией (41 % проанализированных связей), полиномом второй степени (46 %), реже кубическим полиномом и логарифмической функцией. Характеристика тесноты связей по корреляционному отношению r приведена в табл.1.

Таблица 1

Корреляционное отношение (r) парной связи ТЭП с горно-геологическими факторами

ТЭП	Фактор	Группа сложности ГГУР				Кузбасс в целом
		1	2	3	4	
С	δ	0,82	0,87	0,84	0,64	0,79
	М	–0,92	–0,89	–0,60	–0,76	–0,58
	Кв	0,95	0,88	0,93	0,89	0,79
	И	–0,80	–0,81	–0,77	–0,52	–0,72
Q_1	δ	–0,90	–0,88	–0,60	–0,93	0,8
	М	0,94	0,94	0,88	0,77	0,6
	Кв	–0,89	–0,79	–0,60	–0,73	–
	И	0,74	0,93	0,88	0,72	0,74
Q_2	δ	–0,82	–0,90	0,70	0,81	0,75
	М	0,99	0,82	0,84	0,95	0,82
	Кв	–0,91	–0,91	–0,51	–0,91	–0,58
	И	0,94	0,86	0,71	0,82	0,56
ФО	δ	–0,73	–0,66	0,64	0,74	0,67
	М	0,82	0,73	0,74	0,77	0,3
	Кв	–0,87	–0,77	–0,73	–0,82	–0,67
	И	0,87	0,79	0,78	0,86	0,76

Высокие значения r (табл.1) для большинства изучаемых связей математически свидетельствуют о влиянии геологических факторов на ТЭП горных работ на карьерах, дифференцированных по ГГУР. В то же время это влияние заметно снижается, если корреляционный анализ проводится совместно для всех карьеров бассейна (табл.1). При этом относительно сильное влияние на ТЭП для карьеров Кузбасса ($r = 0,8$) оказывают самые значимые для горных работ факторы: падение и глубина залегания пластов, а для производительности экскаваторов Q_2 при добыче – мощность пласта. Определенное снижение тесноты связи получено для группы 3 ГГУР, представленной карьерами Кемеровского и Байдаевского районов с нестабильными геологическими параметрами переменно залегающих угольных пластов.

Чтобы оценить степень влияния разных факторов, полученные регрессионные уравнения по показателю r разделены на четыре группы (табл.2).

Анализ данных табл.2 показывает, что надежность корреляций закономерно меняется с изменением геологической обстановки и возрастанием сложности горно-геологических условий разработки. Надежность и теснота связи ТЭП с факторами наиболее высокая (очень тесная) для карьерных полей Ленинско-Беловского и Томусинского районов (группы 1 и 2 ГГУР). Подавляющее большинство анализируемых факторов являются высокозначимыми и весьма тесно коррелирующими с ТЭП ($r > 0,8$). Показатель Q_1 тесно связан с факторами И и Кв ($r = 0,73 \div 0,79$); показатель ФО для карьеров Томусинского района (группа 2) тесно связан с δ, М, Кв, И ($r = 0,66 \div 0,79$).

Для карьеров Кемеровского и Байдаевского районов (группа 3), отличающихся нестабильными геологическими условиями и неблагоприятным для разработки наклонным и складчатым залеганием пластов, характерно снижение тесноты корреляции. Для подавляющего большинства связей ТЭП с геологическими факторами $r = 0,6 \div 0,8$ и ниже, что отражается в табл.2 соответствующим смещением заполненных ячеек. При крутом залегании пластов в Прокопьевско-Киселевском районе (группа 4) несколько улучшаются горно-геологические условия разработки и некоторые ТЭП. Этим вызвано увеличение количества корреляций с очень тесной связью, когда $r > 0,8$ (табл.2). Совместным корреляционным анализом всех эмпирических данных для бассейна получено отмеченное снижение тесноты связей для многих изучаемых связей (табл.2). Результаты анализа парных связей показали пониженную коррелируемость показателя ФО и влияние фактора извлекаемости И на ТЭП. Горно-геологическая характеристика И в численном фактическом значении недостаточно чувствительна для оценки влияния морфоструктурной сложности пласта на полноту извлечения угля, на технологичность и доступность для добычи соответствующих запасов.

Величина И в значительной мере характеризуется эксплуатационными потерями, в то время как система и технология эксплуатации во многих случаях неадекватна фактической сложности ГГУР.

Данные табл.2 отображают наибольшую тесноту зависимости ($r > 0,8$) анализируемых ТЭП от комплекса горно-геологических

Таблица 2

Теснота связи (r) ТЭП с геологическими факторами при разной сложности ГГУР

Группа сложности ГГУР	Очень тесная $r > 0,8$	Тесная $r = 0,8 \div 0,6$	Средняя $r = 0,6 \div 0,4$	Слабая $r < 0,4$
1	С ⇨ δ, М, Кв, И Q_1 ⇨ δ, М, Кв Q_2 ⇨ δ, М, Кв, И ФО ⇨ М, Кв, И	 Q_1 ⇨ И ФО ⇨ δ	 –	 –
2	С ⇨ δ, М, Кв, И Q_1 ⇨ δ, М, И Q_2 ⇨ δ, М, Кв, И	 Q_1 ⇨ Кв ФО ⇨ δ,М, Кв, И	 –	 –
3	С ⇨ δ, Кв Q_1 ⇨ М, И Q_2 ⇨ М	С ⇨ М, И Q_1 ⇨ δ, Кв Q_2 ⇨ δ, И ФО ⇨ δ, М,Кв, И	С ⇨ М, Q_1 ⇨ δ, Кв Q_2 ⇨ Кв	 –
4	С ⇨ Кв Q_1 ⇨ δ Q_2 ⇨ δ,М, И ФО ⇨ Кв, И	С ⇨ М Q_1 ⇨ М, Кв,И Q_2 ⇨ Кв ФО ⇨ δ, М	С ⇨ δ, И	 –
Кузбасс в целом	 Q_1 ⇨ δ Q_2 ⇨ М	С ⇨ δ, Кв, И Q_1 ⇨ М, И Q_2 ⇨ δ ФО ⇨ δ, Кв,И	С ⇨ М, Q_1 ⇨ М Q_2 ⇨ Кв, И	 ФО ⇨ М

факторов при дифференциации эмпирической информации на четыре группы сложности ГГУР.

Корреляционным анализом эмпирических данных для всех карьеров бассейна в целом тесная связь установлена только для отдельных парных зависимостей (табл.2). При повышении сложности ГГУР в ряду групп 1-4 снижается число значимых горно-геологических факторов, влияющих на ТЭП, а также возрастает количество изучаемых связей с пониженной теснотой корреляции ($r = 0,6$ и $r = 0,4$).

Описанные закономерности указывают на обоснованность системного анализа с учетом геолого-генетической дифференциации при математической обработке эмпирических результатов. В нашем случае такая систематизация реализована дифференциацией факторов горно-геологической сложности разработки и ТЭП на четыре группы карьерных полей Кузбасса.

При анализе парных связей установлены закономерности влияния геологических факторов на ТЭП сложности разработки. С ростом угла падения увеличивается себестоимость добычи, достигая максимума при $\delta = 30 \div 50°$, взаимно обратно изменяется производительность Q_1 и Q_2 (рис.1), которая снижается с ростом угла падения до отмеченного уровня (30-50°).

Кривая производительности для группы 3 снижается в интервале $\delta = 25 \div 45°$ и плавно возрастает для крутонаклонных пластов (рис.1). Коррелируемость производительности и угла падения для группы 3 в целом невысокая (см. табл.1). В крутых пластах ($\delta > 50°$) рассматриваемая связь более надежна ($r > 0,9$).

Связь ФО с δ аналогична таковой для производительности. Графики этой связи карьеров группы 1 и 2 снижаются с ростом δ до 25°, в интервале 20(25)-40° выполаживаются до наименьшего значения ФО и низкого $r = 0,64$, что характерно для ГГУР группы 3. Для крутонаклонных и крутых пластов группы 4 ФО возрастает и повышается надежность ее корреляции с δ ($r = 0,74$).

Рассмотренные факторы математически свидетельствуют, что наиболее трудоемко и затратно разрабатывать наклонные пласты, залегающие под углом 30-45(50°). Влияние угла падения на ТЭП весьма значительное, и высокая коррелируемость сохраняется в широком диапазоне значений δ, что подтверждается корреляционным анализом сводных данных для карьеров всего бассейна (r = 0,75÷0,8, кроме ФО (табл.1)).

Влияние мощности М на ТЭП в широком диапазоне неравномерно. Для повышения коррелируемости анализировалась суммарная мощность рабочих пластов. В частности, связь С с М высокая до определенного значения М, а именно: для группы 1 и 2 соответственно 12 и15 м. При увеличении М снижение себестоимости не столь пропорциональное и соответствующая кривая выполаживается. Корреляционный анализ связи С с изменением индивидуальной мощности одного рабочего пласта по совместным данным карьеров с разными ГГУР показал, что такой перегиб кривой происходит при М = 7÷8 м. Низкое значение показателя r для пластов с переменным залеганием (группа 3) указывает, что в этом случае на ТЭП влияет не нормальная статистически учитываемая мощность, а горизонтальная или вертикальная, которая в большей мере характеризует условия добычи и соответствует элементам системы разработки и технологии горных работ в экскаваторном забое.

Связь производительности горнорабочего с мощностью прямая и практически одинакова для групп ГГУР по характеру аппроксимирующей функции и форме кривой. Высокий градиент связи получен до М = 25 м, для группы 4 – 18 м. С ростом величины М кривая выполаживается (рис.2), что указывает на снижение влияния М. Для всех районов и разных ГГУР влияние М на ТЭП высокое (табл.1). Высокая степень влияния М имеет место для производительности экскаватора Q_2 (r = 0,82÷0,99).

Мощность оказывает значительное влияние на ФО (r = 0,73÷0,82). Прямая зависимость наибольшая до М = 20 м для всех групп сложности ГГУР. Для группы 4 такая связь наблюдается до М = 25 м. При дальнейшем увеличении М отмеченная пропорциональность заметно снижается и для многих ТЭП практически отсутствует. Связь ФО с М отсутствует для эмпирических данных по всем карьерам бассейна.

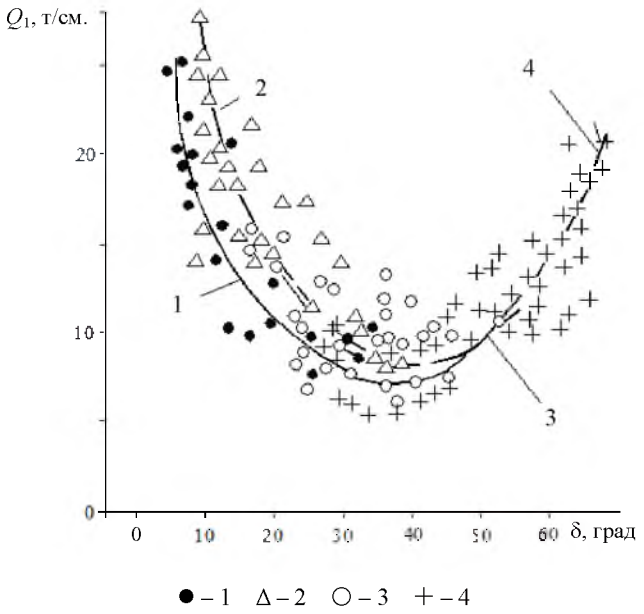


Рис.1. Зависимость производительности горнорабочего Q_1 от угла падения δ пластов в Ленинско-Беловском (1), Томусинском (2), Кемеровском и Байдаевском (3), Прокопьевско-Киселевском (4) районах

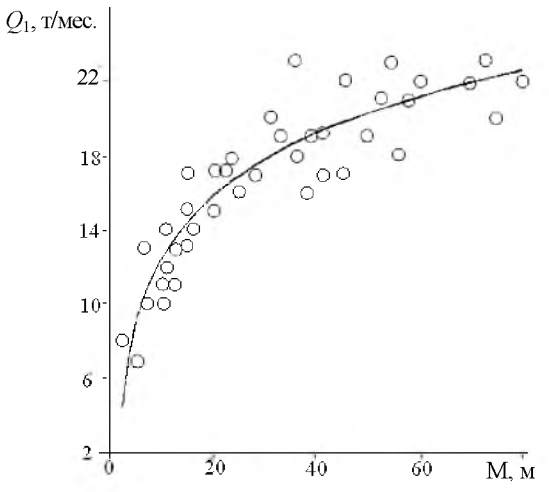


Рис.2. Зависимость производительности горнорабочего Q_1 от суммарной мощности рабочих пластов М на карьерах Томусинского района

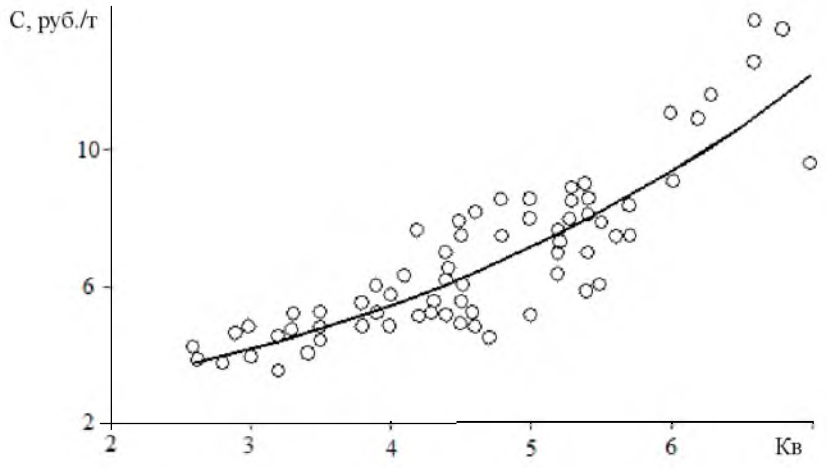


Рис.3.Зависимость себестоимости добычи С от коэффициента вскрыши Кв на карьерах Томусинского района

Корреляционным анализом установлено закономерное изменение характера парных связей ТЭП с М в зависимости от сложности ГГУР.

Интенсивность (градиент) изменения анализируемых связей и точки (интервал) достаточно резкого перегиба соответствующего графика зависят от значения фактора М. Для связи Q_1 с М такой перегиб наблюдается в интервале 25 м (группа 1), 23 м (группа 2), 20 м (группа 3), 12-15 м (группа 4). Эти результаты свидетельствуют об оптимально-предельной величине М, в наибольшей мере влияющей на ТЭП при разной сложности ГГУР.

Влияние глубины залегания и разработки, оцениваемой текущим коэффициентом вскрыши, высокое для всех ТЭП на карьерах с относительно простым ГГУР (группы 1 и 2). Прямая тесная связь Кв с себестоимостью имеет место при любой сложности ГГУР (рис.3).

Производительность Q_1 и Q_2 мало зависит от Кв для карьеров с переменным и крутым залеганием пластов: для группы 3 корреляционное отношение соответственно 0,60 и 0,51. Значимость фактора Кв для себестоимости добычи в бассейне характеризуется $r = 0,79$; для других ТЭП влияние Кв менее значимое (табл.1). Фактические данные свидетельствуют о неравномерности влияния Кв на некоторые ТЭП. В условиях крутого и наклонного залегания (группы 3 и 4) при Кв < 5(6)-7 производительность Q_1 и ФО в меньшей степени зависят от Кв, чем при Кв > 5(6)-7.

Особенности влияния извлекаемости на ТЭП проявляются при расширенном диапазоне извлечения И, что имеет место при сложных ГГУР на карьерах группы 3,4 и всего бассейна. Связь С с И на карьерах группы 4 и всего бассейна отличается наибольшим снижением С при И > 0,8, а также невысокой надежностью корреляции (табл.1). Производительность Q_1 и Q_2, а также ФО прямо связаны с извлекаемостью при И > 0,8; при И = 0,5÷0,8 ее влияние на ТЭП практически отсутствует.

Влияние факторов на трудоемкость и затратность открытой разработки изучалось также путем множественного корреляционного анализа. Это позволило оценить как совокупное, так и индивидуальное влияние горно-геологических факторов на ТЭП.

В качестве аппроксимирующей функции принят прямолинейный полином первой степени, с помощью которого анализировалась связь функций С, Q_1, Q_2, ФО с аргументами δ, М, Кв, И по группам сложности ГГУР и по всем карьерам бассейна.

Расчеты при регрессионном анализе, выполненные на компьютере, показали достаточно высокие значения совокупности коэффициента множественной корреляции R (табл.3).

Таблица 3

Связь функций С, Q_1, Q_2, ФО с аргументами δ, М, Кв, И по группам сложности ГГУР и по всем карьерам бассейна

ТЭП	Группа ГГУР				Кузбасс в целом
	1	2	3	4	
С	0,84	0,95	0,80	0,84	0,77
Q_1	0,82	0,95	0,86	0,79	0,92
Q_2	0,99	0,82	0,73	0,89	0,81
ФО	0,69	0,64	0,19	0,20	0,69

Приведенные данные указывают на относительно пониженную надежность корреляции для фондоотдачи. Удельный вес учтенных факторов (аргументов) в изучаемых связях составляет более 75 % (за исключением фондоотдачи).

Для оценки влияния каждого фактора на ТЭП по известной формуле рассчитано значение частного коэффициента эластичности (Е). Значение Е характеризует изменение С, Q_1 и Q_2, ФО при изменении каждого фактора на 1 %. Фактические значения показали, что градиент изменения ТЭП чаще не превышает 1 %. Для фактора И значение Е = 4,9 %. Знак Е указывает на прямое или обратное влияние каждого фактора.

Индивидуальный вклад (значимость) фактора в каждый ТЭП характеризуется стандартизированным коэффициентом регрессии (β), который вычисляется умножением коэффициента Е на отношение коэффициентов вариации *i*-го фактора и соответствующего технико-экономического показателя. Например, стандартизированное уравнение для группы Q_2: $Q_2 = 0{,}42М + 0{,}36И - 0{,}28Кв + 0{,}02\delta$. Величина стандартизированных коэффициентов регрессии свидетельствует о доминирующем влиянии на производительность экскаватора мощности (М) и извлекаемости (И), отражающей в данном случае морфоструктуру пласта. В меньшей степени влияет глубина разработки (Кв) и почти не влияет угол падения (δ) пласта. Данное положение обусловлено почти горизонтальным залеганием ($\delta < 10°$) пластов группы 1. Подобное объяснение можно дать для регрессии, полученной для группы 3: $С = 0{,}45\delta - 0{,}39И - 0{,}04Кв - 0{,}0004М$.

Наибольшее влияние на себестоимость добычи в Кемеровском районе оказывает угол падения наклонно залегающих ($\delta = 20 \div 50°$) пластов. Для показателя Q_1 в Прокопьевско-Киселевском районе (группа 4) значимость факторов примерно равная, что отражается величиной β: для δ – 0,50, для Кв – 0,42, для М – 0,36, для И – 0,35. Аппроксимирующее уравнение в стандартизированном виде для Кузбасса $С = 0{,}71Кв - 0{,}06М + 0{,}02\delta - 0{,}01И$ свидетельствует о доминирующей доле Кв в изменении себестоимости добычи в целом для всех карьеров бассейна.

Значения стандартизированных коэффициентов регрессии, установленные для связи ТЭП с факторами для карьеров, дифференцированных по сложности ГГУР, превышают таковые для всех карьеров бассейна. Отмеченное положение еще раз подчеркивает необходимость дифференциации факторов горно-геологических условий и ТЭП при изучении связей и повышении значимости факторов как аргументов регрессии.

Значимость и влияние факторов на ТЭП для карьеров, дифференцированных по ГГУР и в целом для бассейна, отражены в сводной табл.4. Разделение на три категории значимости и влияния факторов на показатели сложности разработки проведено по значениям стандартизированных коэффициентов множественной корреляции разных ТЭП с факторами δ, М, Кв, И.

Из табл.4. следует, что при простых ГГУР (группа 1) основное влияние на трудоемкость и стоимость разработки оказывает мощность пласта (для 50 % всех ТЭП), затем угол падения и Кв. На производительность Q_1 и Q_2 слабо влияет М и δ.

На карьерных полях Томусинского района (группа 2) наиболее значимым для 50 % ТЭП является Кв; мало значимы для производительности – δ и И, а для себестоимости – Кв.

Таблица 4

Степень влияния горно-геологических факторов на показатели сложности разработки угля в Кузбассе

Группа сложности ГГУР	ТЭП	Значимость (влияние) факторов		
		высокая (основное)	средняя (среднее)	низкое (эпизодическое)
1	С	Кв	δ, М, И	–
	Q_1	δ	Кв, И	М
	Q_2	М	Кв, И	δ
	ФО	М	δ, Кв, И	–
2	С	М	δ	Кв
	Q_1	Кв, И	М	δ
	Q_2	Кв	δ, М	И
	ФО	Кв	δ, М, И	–
3	С	δ, И	–	М, Кв
	Q_1	М	И	δ, Кв
	Q_2	М	Кв, И	δ
	ФО	δ, Кв	М	И
4	С	М	И	δ, Кв
	Q_1	δ, Кв	И	–
	Q_2	Кв	М, И	δ
	ФО	М, δ	–	И, Кв
Кузбасс в целом	С	Кв	–	δ, М, И
	Q_1	И	–	δ, М, Кв
	Q_2	Кв, М	–	δ, И
	ФО	Кв	–	δ, М, И

Себестоимость добычи зависит в основном от мощности и угла падения. При переменном и наклонном залегании (группа 3) наибольшее влияние для 33 % ТЭП оказывает δ и М.

При многофакторной зависимости изменение Q_1 и Q_2 в наименьшей мере определяется δ и Кв. Для сложных ГГУР группы 4 наиболее значимыми являются в равной мере мощность, падение и глубина залегания (Кв) пласта. Менее значим для С и Q_2 угол падения, что объяснимо достаточно благоприятными условиями экскавации угля из большинства пластов с $\delta > 50°$. Объединенные данные для карьеров Кузбасса свидетельствуют о доминантной роли Кв в изменении ТЭП и весьма слабом влиянии остальных факторов (табл.4).

В заключение отметим, что определению значимости горно-геологических факторов при оценке сложности открытой разработки способствует математическая характеристика их влияния на ТЭП стоимости и трудоемкости горных работ.