

д.т.н. Фрумкин Р.А.,
к.т.н. Окалов В.Н.,
к.т.н. Самкова Э.Р.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Викладені результати досліджень вірогідності геологічної, технологічної і техніко-економічної інформації, що використовується при розробці інвестиційних проектів вугільних шахт.

Ключові слова: достовірність геологічної і техніко-економічної інформації, проектування шахт, інвестиційні проекти.

Изложены результаты исследований достоверности геологической, технологической и технико-экономической информации, используемой при разработке инвестиционных проектов угольных шахт.

Ключевые слова: достоверность геологической и технико-экономической информации, проектирование шахт, инвестиционные проекты.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Исследования, направленные на оценку и разработку методов повышения достоверности информации, используемой при составлении инвестиционных проектов, является одной из неотложных и сложнейших задач горной науки и практики, так как ее низкая информативность приводит к большим экономическим потерям: затягиванию сроков разработки и реализации проектов, их неоднократному пересмотру, "замораживанию" вложенных в развитие предприятий и компаний капиталов, банкротству последних, снижению активности инвесторов и другим негативным последствиям. Низкая достоверность и высокая степень неопределенности исходной геологической и технологической информации является также одной из главных причин, тормозящих процессы приватизации угольных шахт и низкой их инвестиционной привлекательности.

Анализ исследований и публикаций. Анализ работ, посвященных исследованию достоверности информации, используемой при разработке проектов угольных шахт [1-7], показывает, что в настоящее время существует два основных методических подхода к выявлению

ошибок горно-геологических и геомеханических прогнозов. Первый из них основан на сопоставлении результатов прогнозов, полученных по данным геологоразведки, с фактическими данными, фиксируемыми по результатам ведения горных работ [4, 6, 7], а второй – на сравнении средних по шахтопласту значений показателя, вычисленных исходя из двух предположений о характере изменения его значений в пространстве между разведочными скважинами [1, 2]: линейном и волнобразном. Согласно первому подходу выявляются преимущественно технические ошибки, связанные с особенностью применения методов геологоразведки и испытания керновых проб. Второй подход позволяет выявить наряду с техническими ошибками и ошибки аналогий, связанные с естественной изменчивостью значений показателя в пространстве и методами камеральной обработкой данных геологоразведки.

В соответствии с принятым подходом используются различные методики оценки ошибок прогнозов [2 - 7], однако большинство из них не позволяет учесть все ошибки или же однозначно обосновать нецелесообразность учета тех или иных ошибок.

В опубликованной литературе содержатся сведения о подтверждаемости отдельных горно-геологических и геомеханических прогнозов [4, 6, 7], однако в ней отсутствуют данные о подтверждаемости важнейших проектных и плановых показателях, показателях эффективности технологии горных работ и др., надежные сведения о которых крайне необходимы при разработке инвестиционных проектов.

Постановка задачи. С учетом изложенного выше основной задачей настоящей работы является количественная оценка достоверности исходной информации, используемой при составлении инвестиционных проектов, с целью разработки практических рекомендаций по учету ее погрешностей.

Изложение материала и его результаты. Для решения поставленной в работе задачи авторами разработана методика сбора и обобщения указанной информации, основные положения которой опубликованы в работах [6, 7]. С ее применением собраны и обобщены материалы по 14-и шахтам 8-и производственных объединений Луганской и Донецкой областей. Исследованиями охвачено 24 рабочих угольных пласта, отрабатываемых 109-ю лавами.

В отличие от указанных работ, исследовались не только горно-геологические и геомеханические показатели, но и важнейшие технологические и технико-экономические показатели, фиксируемые по данным ранее выполненных проектов, планово-экономической и отчетной документации шахт.

В соответствии с разработанной методикой [6, 7] оценке подлежали: подтверждаемость исходной информации (прогнозов), систематиче-

ские и случайные ошибки, их значимость и направленность, коэффициент расхождения прогнозных и фактических величин, законы распределения изучаемых показателей и ошибок их установления по геологоразведочным, плановым и проектным данным.

Результаты одномерного анализа собранной информации с указанием ее обобщенных статистических характеристик представлены в табл. 1, в которой в числителе указаны прогнозные (проектные, плановые) значения анализируемых величин, а в знаменателе – фактические. Результаты расчетов представлены только по количественным показателям, для которых удалось сформировать представительные выборки их сопряженных значений.

Как видно, закон распределения показателей достоверно установлен только для 16 случаев из 34 рассмотренных. В 4-х случаях его установить не удалось ни для прогнозных (проектных, плановых), ни для фактических значений из-за малого числа сопряженных наблюдений. Из 16 установленных в 9-и случаях он является нормальным и в 7-и – логнормальным. Это свидетельствует о том, что предположение авторов работ [1, 2] о нормальности распределений не подтверждается, а, следовательно, и предложенные ими методы учета изменчивости показателей не во всех случаях приемлемы. Из табл. 1 видно также, что практически во всех случаях выявлены значительные расхождения между прогнозными (проектными) и фактическими данными.

Результаты оценки систематических и случайных абсолютных ошибок, коэффициентов расхождения и относительных ошибок прогнозов геологических показателей, полученные с применением указанной выше методики [6, 7], представлены в табл. 2. По каждому из представленных в нем показателей определялись также законы распределения ошибок и значимость их систематических величин. В результате установлено, что распределение абсолютных ошибок подчиняется нормальному закону, а коэффициентов расхождения – логнормальному, что подтверждает установленные ранее закономерности [6, 7].

Значимость систематических ошибок подтверждена для зольности, влажности угля, содержанию в нем серы, частично мощности пласта и минимальных значений ложной кровли. Не значимыми оказались расхождения в средних значениях угла падения пласта.

Сравнение ошибок минимальных и средних значений зольности, установленных по геологоразведочным данным и данным ОТК по пластово-промышленным пробам, показывает, что последние существенно выше, в то время как для максимальных значений этих величин данные ОТК ниже данных геологоразведки.

Таблица 1 – Обобщенные результаты одномерного статистического анализа количественных показателей

Наименование показателей	Единица измерения	Объём выборки, шт.	min	max	Среднее арифметическое \bar{x}	Среднеквадратическое отклонение S	Коэффициент вариации V, %	Количество аномальных наблюдений	Вид закона распределения
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Показатели качества угля:									
зольность	%	101	<u>6*</u> 17**	<u>43</u> 55,4	<u>18</u> 34,8	<u>9,5</u> 2,2	<u>52</u> 26	0 0	<u>логнорм.</u> <u>не уст.</u>
содержание серы	%	97	<u>1</u> 1	<u>6,1</u> 6,7	<u>2,7</u> 2,3	<u>1,3</u> 1,4	<u>48</u> 61	3 0	<u>не уст.</u> <u>не уст.</u>
влажность	%	109	<u>0,6</u> 1,1	<u>9,9</u> 10,5	<u>3,6</u> 4,9	<u>2,3</u> 2,6	<u>64</u> 53	0 0	<u>не уст.</u> <u>не уст.</u>
Горно-геологические показатели:									
мощность пласта	м	88	<u>0,62</u> 0,52	<u>2,1</u> 2,2	<u>1,18</u> 1,25	<u>0,31</u> 0,31	<u>26</u> 25	1 1	<u>логнорм.</u> <u>нормальн.</u>
угол падения пласта	град.	95	<u>5</u> 2	<u>23</u> 19	<u>9</u> 8	<u>4,2</u> 3,7	<u>46</u> 46	4 6	<u>не уст.</u> <u>нормальн.</u>
мощность ложной кровли	м	28	<u>0</u> 0	<u>1,0</u> 1,2	<u>0,27</u> 0,34	<u>0,18</u> 0,19	<u>66</u> 56	1 0	<u>нормальн.</u> <u>нормальн.</u>
Прочность пород на одноосное сжатие:									
аргиллит	кгс/см ²	37	<u>171</u> 193	<u>650</u> 765	<u>237</u> 241	<u>158</u> 185	<u>66</u> 46	6 6	<u>нормальн.</u> <u>нормальн.</u>
алевролито-аргиллит	кгс/см ²	22	<u>231</u> 116	<u>354</u> 536	<u>344</u> 328	<u>93</u> 164	<u>27</u> 50	0 0	<u>не уст.</u> <u>не уст.</u>
алевролит	кгс/см ²	67	<u>179</u> 189	<u>950</u> 870	<u>583</u> 511	<u>257</u> 207	<u>44</u> 40	7 7	<u>логнорм.</u> <u>логнорм.</u>
песчаник	кгс/см ²	39	<u>353</u> 290	<u>1550</u> 1810	<u>747</u> 819	<u>316</u> 435	<u>42</u> 53	6 6	<u>нормальн.</u> <u>логнорм.</u>

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
известняк	кгс/см ²	11	<u>772</u> 1048	<u>1177</u> 1330	<u>1048</u> 1116	<u>161</u> 132	<u>15</u> 12	<u>0</u> 0	<u>не уст.</u> не уст.
Коэффициент крепости угля по М.М.Протодьяконову		59	<u>1</u> 1	<u>2</u> 2	<u>1,48</u> 1,50	<u>0,33</u> 0,33	<u>22</u> 22	<u>0</u> 0	<u>не уст.</u> не уст.
Технологические и технико-экономические показатели:									
ширина захвата исполнительного органа	м	73	<u>0,005</u> 0,4	<u>0,8</u> 1,0	<u>0,58</u> 0,68	<u>0,2</u> 0,11	<u>34</u> 16	<u>0</u> 0	<u>не уст.</u> не уст.
длина лавы	м	103	<u>125</u> 90	<u>300</u> 300	<u>190</u> 176	<u>42</u> 37	<u>22</u> 21	<u>0</u> 0	<u>не уст.</u> нормальн.
скорость подвигания очистного забоя	м/мес	78	<u>5,0</u> 3,2	<u>120</u> 88	<u>75</u> 35	<u>24</u> 20	<u>54</u> 57	<u>0</u> 0	<u>нормальн.</u> логнорм.
себестоимость 1 т угля	грн/т	70	<u>3,4</u> 2,4	<u>6,5</u> 31,0	<u>4,8</u> 8,3	<u>19</u> 5,22	<u>39</u> 63	<u>0</u> 0	<u>не уст.</u> не уст.
среднесуточная добыча угля	т/сут	100	<u>132</u> 6,3	<u>1150</u> 1675	<u>786</u> 467	<u>257</u> 377	<u>32</u> 80	<u>2</u> 2	<u>логнорм.</u> не уст.

Примечания:

1. * (числитель) – прогнозное (проектное) значение.
2. ** (знаменатель) – фактическое значение.
3. Логнорм. – логнормальный закон распределения.
4. Нормальн. – нормальный закон распределения.
5. Не уст. – закон распределения не установлен.

Таблица 2 – Показатели достоверности установления геологической информации по геологоразведочным данным

Наименование показателя	Систематическая составляющая ошибки $\bar{\Delta}$	Средне-квадратическое отклонение ошибок $S_{\bar{\Delta}}$	Случайная ошибка прогноза S_0	Среднее значение коэффициента расхождения $\bar{K_p}$	Относительная ошибка прогноза	
1	2	3	4	5	6	7
Зольность угля:						
минимальная	<u>6,1*</u> 15,2**	<u>7,04</u> 7,60	<u>9,4</u> 7,0	<u>2,3</u> 2,9	<u>0,77</u> 1,10	<u>1,2</u> 1,2
максимальная	-7,3 18,1	<u>14,2</u> 12,7	<u>16,1</u> 22,0	<u>0,83</u> 2,2	<u>0,25</u> 0,74	<u>0,55</u> 0,91
средняя	<u>3,1</u> 16,6	<u>8,9</u> 9,4	<u>9,5</u> 19,1	<u>1,48</u> 2,40	<u>0,2</u> 0,92	<u>0,62</u> 1,10
Содержание серы:						
минимальное	0,80	0,65	1,10	1,90	0,76	1,05
максимальное	-3,20	3,70	4,90	0,52	0,55	0,85
среднее	-0,25	0,87	0,90	0,90	0,10	0,33
Влажность:						
средняя	1,30	1,90	2,30	1,64	0,36	0,63
Угол падения пласта	-1,00	2,18	2,20	0,99	0,11	0,24
Мощность пласта:						
минимальная	0,15	0,36	0,39	1,29	0,17	0,44
максимальная	-0,12	0,34	0,36	0,96	0,07	0,22
средняя	0,10	0,17	0,20	1,10	0,08	0,17
Мощность ложной кровли:						
минимальная	0,09	0,19	0,22	2,10	1,12	2,40
максимальная	0,04	0,37	0,37	1,10	0,10	0,89

Примечания:

* – сравниваются значения зольности по данным геологоразведки с учетом засорения и данные ОТК по пластово-промышленным пробам;

** – сравниваются данные ОТК по пластово-промышленным пробам и данные ОТК по эксплуатационным пробам.

Это свидетельствует о том, что на стадии геологоразведки минимальные и средние значения зольности угля занижаются, а максимальные, наоборот, завышаются. Геологоразведочные данные по зольности более близки к данным пластово-промышленных проб (абсолютные расхождения составляют от 3,1 до 6,1%) и сильно отличаются от эксплуатационных проб (расхождения составляют от 15,2 до 18,1%).

Анализ знаков и величин систематических ошибок прогнозов содержания серы в угле показывает, что ее минимальные значения по геологоразведочным данным занижаются, а максимальные и средние – завышаются.

Прогнозные значения влажности угля в целом занижаются по сравнению с фактическими.

Для углубленного анализа результатов прогноза минимальных, средних и максимальных значений мощности и угла падения пластов массив абсолютных ошибок разделен на 3 выборки со следующими диапазонами их изменения: 0,7 м и менее; 0,71-1,2 м; 1,21 м и более; 12° и менее; 13-18°; 19° и более, для которых вновь были рассчитаны указанные показатели достоверности. Выводы, полученные по результатам такого анализа, подтвердили установленные в работах [6, 7] закономерности: с увеличением мощности и угла падения пластов увеличивается и величина их систематических и случайных ошибок; мощность весьма тонких пластов ($\leq 0,7$ м) по данным геологоразведки, как правило, завышается, а тонких и средней мощности (0,71-1,2 и $\geq 1,21$ м) – занижается; значимость систематических ошибок мощности пласта существенна лишь для диапазона $\geq 1,2$ м; для интервала угла падения более 18° систематическая ошибка достигает ± 5 °, а случайная относительная – 40%.

В таблицах 3-5 представлены результаты подтверждаемости геологоразведочных данных об ожидаемом поведении пород непосредственной кровли и почвы и обрушаемости пород основной кровли по классификации ДонУГИ с качественной оценкой их категорий.

Как видно, среди различных категорий устойчивости пород непосредственной кровли наиболее надежно (в 81,8% случаев) подтверждается категория Б₁ (весьма неустойчивые породы). В 71,4% случаев подтверждается категория Б₃ (малоустойчивые породы). Подтверждаемость категорий Б₂ и Б₄ (средней устойчивости и устойчивые) весьма низкая и не превышает 47,6%.

Для пород почвы категория П₂ (малоустойчивые почвы) подтверждается в 74,2% случаев, П₁ (неустойчивые почвы) – в 65,1%, а П₃ (устойчивые) – всего в 52% случаев.

Для категорий обрушаемости пород основной кровли более или менее надежно (87,8%) оценивается только категория А₃ (труднообрушаемые породы).

Таблица 3 – Подтверждаемость прогнозов устойчивости пород непосредственной кровли

Прогноз	Фактически, %			
	Б ₁	Б ₂	Б ₃	Б ₄
Б ₁	81,8	18,2	-	-
Б ₂	30,7	33,3	36,0	-
Б ₃	-	71,4	28,6	-
Б ₄	-	47,6	4,8	47,6

Таблица 4 – Подтверждаемость прогнозов устойчивости пород непосредственной почвы

Прогноз	Фактически, %		
	П ₁	П ₂	П ₃
П ₁	65,1	34,9	-
П ₂	22,8	74,2	28,6
П ₃	19,0	52,0	28,5

Таблица 5 – Подтверждаемость прогнозов обрушаемости пород основной кровли

Прогноз	Фактически, %		
	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	51,7	44,8	3,5
A ₂	14,2	28,5	57,3
A ₃	-	12,1	87,8

Расчет общей надежности прогнозов анализируемых показателей показывает, что устойчивость кровли в целом правильно оценивается в 48,3% случаев, устойчивость почвы – в 60,6%, а обрушаемость пород основной кровли – в 63,2% случаев, что нельзя признать достаточными для обоснования проектных решений.

В табл. 6-8 представлены результаты расхождения фактических и проектных значений важнейших технологических показателей с количественной и качественной их оценкой.

Анализ статистической значимости средних расхождений в значениях показателей, представленных в табл. 6, показал, что для длины лавы и ширины захвата эти расхождения не существенны (не значимы).

Для средней мощности присечки пород кровли и почвы они существенны, причем, в обеих случаях наблюдается фактическое завышение технологической присечки пород. Запроектированная односторонняя схема работы комбайна в 72% случаев совпадает с фактической (табл. 7), в то время как челноковая в 55,3% случаев заменяется на одностороннюю. Среди проектируемых систем разработки (табл. 8) встречаются только столбовые и комбинированные.

Таблица 6 – Результаты сравнения расхождений проектных и фактических значений технологических показателей с количественной их оценкой

Наименование показателя	Средняя величина расхождений	Среднеквадратическое отклонение расхождения	Случайная величина расхождения	Относительное расхождение	
				Среднее	Случайное
Длина лавы, м	-12	46	48	0,06	0,24
Ширина захвата, м	0,09	0,20	0,22	0,15	0,38
Средняя мощность присечки пород кровли, м	0,04	0,12	0,125	0,80	2,40
Средняя мощность присечки пород почвы, м	0,024	0,064	0,068	0,28	0,74

Таблица 7 – Подтверждаемость проектных и фактических схем работы комбайнов

По проекту	Фактически, %	
	Челноковая	Односторонняя
Челноковая	44,6	55,3
Односторонняя	28,0	72,0

Таблица 8 – Подтверждаемость проектных и фактических систем разработки угольных пластов

По проекту	Фактически, %					
	Сплошная по простирианию	Сплошная по восстанию	Столбовая по простирианию	Столбовая по восстанию	Комбинированная по простирианию	Комбинированная по восстанию
Столбовая по простирианию	29,0	-	58,0	-	13,0	-
Столбовая по восстанию	-	13,0	15,2	60,8	-	11,0
Комбинированная по простирианию	75,0	6,2	18,8	-	-	-
Комбинированная по восстанию	20,0	-	-	80,0	-	-

Проектируемые столбовые системы разработки с выемкой по простирианию только в 58% случаев совпадают с фактическими, а столбовые с выемкой по восстанию – в 60,8% случаев. Комбинированные системы разработки с выемкой по простирианию в 75% случаев заменяются на менее прогрессивные сплошные, а комбинированные с выемкой по восстанию в 80% случаев заменяются на столбовые по восстанию.

Аналогичный анализ по видам механизации очистных работ показывает, что струговые комплексы на практике часто заменяются на комбайновые или на струги с индивидуальной крепью (в 53,8% и 80% случаев соответственно). В 51,5% случаев имеет место совпадение проектных и фактических данных для комплексов КМ87, КМ103, КМ88 и в 50% – для индивидуальных крепей с узкозахватными комбайнами. Остальные виды комплексов заменяются на другие, далеко не всегда более прогрессивные. Основными причинами таких больших расхождений являются не только низкая достоверность геологической информации, используемой на стадии проектирования, но и невысокое качество нормативной базы и субъективизм в выборе проектных решений, изменение экономических условий функционирования объектов во времени и др.

Результаты оценки расхождений основных технико-экономические показателей работы лав приведены в табл. 9.

Таблица 9 – Результаты сравнения расхождений основных технико-экономических показателей работы лав

Наименование показателя	Единица измерения	Средняя величина расхождения	Среднеквадратическое отклонение расхождения	Случайная величина расхождения	Относительное расхождение	
					среднее	случайное
1	2	3	4	5	6	7
Среднемесячная скорость подвигания очистного забоя	м/мес	-38* - 2,4**	32,2 11,5	49,7 11,8	0,49 0,06	0,65 0,32
Участковая производительность труда	т/мес	-69,5 -9,8	172,3 37,4	185,8 38,7	0,45 0,09	1,2 0,36
Участковая себестоимость 1 т угля	грн.	5,8 0,7	4,6 1,7	7,4 1,9	1,2 0,1	1,5 0,25
Среднесуточная добыча угля по участку	т/сут	-261 6	363 143	447 143	0,31 0,01	0,54 0,30
Общешахтная себестоимость 1 т угля	грн.	13,1 1,0	8,8 3,2	15,8 3,4	0,95 0,04	1,15 0,13

Примечания:

* – сравнение проектных и плановых показателей

** – сравнение плановых и фактических показателей

Для всех указанных в ней показателей установлена существенность средней величины расхождений между проектными и плановыми данными и несущественность различий в средних тенденциях между плановыми и фактическими данными. Это свидетельствует о том, что показатели текущего планирования, рассчитываемые по данным действующих шахт, более близки к фактическим, чем проектные, основанные на менее достоверной и весьма неопределенной информации. При этом во всех случаях наблюдается ухудшение фактических данных по сравнению с проектными и даже плановыми.

Таким образом, обобщая изложенное, можно сделать следующие **выводы**:

- получены количественные оценки достоверности прогнозной информации, используемой при разработке инвестиционных проектов, которые являются научной базой для обоснования одноименных рисков;
- установлены закономерности формирования ошибок геологической, технологической и технико-экономической информации, используемой при разработке указанных проектов;
- основным направлением дальнейших исследований является разработка методики учета погрешностей исходной информации с целью повышения надежности разрабатываемых проектов, снижения инвестиционных рисков и, как следствие, повышения инвестиционной привлекательности оцениваемых объектов.

Библиографический список

1. Способы вскрытия, подготовки и системы разработки шахтных полей. /Под ред. Б.Ф.Братченко. – М.: Недра, 1985. – 494 с.
2. Методические положения выбора оптимальных технологических решений в проектах шахт с учетом изменчивости горно-геологических факторов. – М.: ИГД им. А.А.Скочинского, 1985. – 36 с.
3. Выбор параметров шахт для месторождений с изменчивыми горно-геологическими условиями. / Ликальтер О.А. и др. – М.: ЦНИЭИуголь, 1981. – 49 с.
4. Цулауф Я.К. Сопоставительная оценка достоверности геологических данных разведки с установленными горными работами. // Добыча угля подземным способом. – 1981. – № 10. – С. 26-27.
5. Погребицкий Е.О., Терновой В.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1974. – 304 с.
6. Фрумкин Р.А. Окалевов В.Н. Достоверность горно-геологических прогнозов и методы ее количественной оценки. // Известия вузов. Горный журнал. – 1983. – № 4. – С. 33-37.
7. Фрумкин Р.А., Окалевов В.Н. Оценка достоверности прогнозов условий разработки пластов // Уголь Украины. – 1983. – № 9. – С. 43-44.