© А.С. Беляев, 2007

УДК 622.24:323

*А.С. Беляев*

# *ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО СПОСОБА ОЧИСТКИ ЗАБОЯ ПРИ БУРЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН*

**Семинар № 10**

Проектированию любого сооружения предшествует проведение инженерно-геологических работ различного содержания, зависящих от сложности проектируемого сооружения, стадии проектирования, природных условий и ряда других факторов. [9] Современные строительные объекты в подавляющем большинстве реализуются путём возведения монолитных железобетонных конструкций. Требования, предъявляемые к строительным объектам, вызывают необходимость детального изучения не только территории проведения работ, но и контроля качественных показателей строительного материала на всех этапах проведения работ. Исследование свойств горных пород, на которых ведётся строительство, а также свойств возводимой или эксплуатируемой монолитной конструкции осуществляется путём изучения керна полученного бурением изыскательских скважин. Оснащенность инженерно-геологических работ новой техникой постоянно растет. Широко применяются опытные и геофизические исследования, прогрессивные методы бурения, совершенствуются техника и методика лабораторных исследований.

Основной задачей инженерно-геологических изысканий является получение информации о комплексе природных (в первую очередь – геологических) условий, необходимой для разработки конструкции строящегося объекта и методов его возведения.

Под геологической средой, по Е. М. Сергееву, понимаются любые горные породы и почвы, слагающие «верхнюю часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйствен-ной деятельности человека, в результате чего происходят изменения природных геологических процессов и возникновение новых антропогенных процессов, что, в свою очередь, вызывает изменение инженерно-геоло-гических условий определенных территорий». Исходя из этого Е.М. Сергеев определяет инженерную геологию как науку «о геологической среде; ее рациональном использовании и охране в связи с возможностью возникновения вредных для человека геологических процессов» [8].

Постоянно развивающийся технический прогресс требует совершенствования существующих приёмов работы и разработки новых, в том числе и в области бурения скважин. Наиболее рациональным и распространённым является алмазное колонковое бурение скважин различного диаметра в естественных породах и толще железобетона.

При алмазном бурении промывочный агент должен обладать хорошими теплоотводящими свойствами вкупе с эффективной очисткой забоя. Существующие способы очистки забоя

вполне справляются со вторым требованием, однако низкотеплоёмкие очистные агенты (пена, воздух) недостаточно хорошо охлаждают породоразрушающий инструмент, что приводит к его повышенному износу. В свою очередь, применение технической воды и бурового раствора при бурении скважин оказывает негативное влияние на экологическую обстановку в районе проведения работ. Для снижения вредного воздействия на окружающую среду отработанных при бурении скважин промывочных агентов, необходимо проводить дополнительные дорогостоящие операции по утилизации значительных объёмов буровых отходов.

Количество подаваемой в скважину жидкости должно быть достаточным для эффективного выноса продуктов разрушения с забоя и достаточного охлаждения алмазного инструмента. Практически при бурении с промывкой расход жидкости следует определять из расчета 10–20 л/мин на 1 см диаметра коронки или исходя из скорости восходящего потока не менее 0,5 м/с. Чем больше плотность применяемого глинистого раствора, тем меньше может быть его расход.

При бурении инженерно-геологических скважин используют как техническую воду, так и глинистый раствор. Расход промывочного агента (воды или глинистого раствора) при твердосплавном колонковом бурении варьируется в пределах 20–240 л/мин, в зависимости от условий бурения и типа коронки d = 36 – 151 мм. При алмазном бурении от 10 – 100 л/мин коронками d = 36 – 76 мм.

Рыхлые и слабосцементированные породы на изысканиях бурить с промывкой не представляется возможным, т.к. происходит размыв отбираемого керна. В связи с этим необходимо использовать двойные колонковые трубы с затиркой керна всу-хую. Однако даже применение двойных колонковых труб целостность керна не гарантирует [7].

В разведочном бурении применяются десятки различных типов очистных агентов, свойства и состав которых определяются геолого-техничес-кими условиями бурения скважин, с целью повышения эффективности бурения и требованиями к охране окружающей среды.

*Вода* широко применяется при бурении устойчивых кристаллических пород и бетона, она обладает хорошей подвижностью и охлаждающей способностью, понижает прочность горных пород. Использование воды требует наличия значительных её объёмов в непосредственной близости от объектов работ, что не всегда реализуемо на крупных объектах и в высотных зданиях без дополнительных устройств (транспорт для воды, насос и др.). В зимний период проведения работ возникают сложности с обледенением рабочего места, вызывающего разупрочнение бетонных конструкций (рис. 1). Кроме того, применение воды и глинистых растворов вызывает загрязнение рабочего места, оборудования, создаёт неблагоприятные условия для персонала и зачастую нерационально с экономической точки зрения. Проблему с загрязнением решают также с помощью дополнительных технических приспособлений, таких как строительный пылесос, прижимное водосборное кольцо, оклейка полиэтиленом возможного места загрязнения (рис. 2) и многое другое.

В результате для обеспечения санитарных условий на рабочем месте необходимо иметь помимо буровой установки целый ряд дополнительных технических приспособлений, что вызывает неоправданно высокие энергозатраты и усложнение производства работ.

***Рис. 1. Обледенение конструкции при бурении технической скважины в железобетоне***

***Рис. 2. Бурение технической скважины в железобетоне для прокладки коммуникаций***

*Глинистые растворы* применяются при бурении осадочных малосвязных пород, а также при проходке раздробленных и сильно трещиноватых пород. В основном они используются при твердосплавном бурении и бурении скважин сплошным забоем [2]. Это связано с недостаточным охлаждением глинистым раствором алмазного породоразрушающего инструмента. В настоящее время ведутся работы по созданию рецептур универсальных буровых растворов, в том числе для алмазного бурения с повышенным отводом тепла от породоразрушающего инструмента. Так в СПГГИ(ТУ) при участии автора была разработана и запатентована ре-цептура бурового раствора [15] позволяющего повысить эффективность охлаждения бурового инструмента и, как следствие, повысить его износостойкость, увеличивая скорость бурения и снижая затраты на буровые работы.

Использование *пены* при проведении инженерно-геологических изысканий сведено к минимуму в связи с высокими затратами на дополнительные оборудование. Кроме того условия работ в большинстве случаев таковы, что доставка пенообразующего оборудования к месту работ вызывает значительные затруднения.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав пены, позволяют пептизировать и дегидратировать частицы бурового шлама, тем самым снижать их поверхностную энергию и способствовать дальнейшему дроблению, а также препятствованию коагуляции за счёт адсорбции на частицах бурового шлама и микротрещинах горной породы. Таким образом, ПАВ уменьшает количество частиц бурового шлама в зазоре ме-

жду алмазорежущей поверхностью и породой, снижая при этом затраты на бурение.

Триботехнические свойства пены также определяются энергоемкостью взаимодействия алмазной коронки и породы. Энергоёмкость в этом случае обусловлена коэффициентом трения. Поэтому для эффективной работы алмазной коронки необходимо его снижение при условии своевременного удаления бурового шлама [10]. Следовательно, для улучшения триботехнических свойств необходимо снижение коэффициента трения путём ввода в пенные системы антифрикционных добавок.

Так применение пены, содержащей ПАВ, не только исключает запылённость рабочего места, но и даёт возможность снизить энергоёмкость на 20-25 %, интенсивность износа алмазорежущего слоя на 12-15 % [1]. Применение пены образованной ПАВ позволило в среднем увеличить проходку на коронку на 17 %, снизить удельный расход алмазов на 13,4 % и увеличить среднюю производительность на 15 % [6]. В СПГГИ(ТУ) при участии автора была разработана и запатентована рецептура пенообразующего состава [14], позволяющего снизить коэффициент трения бурового инструмента по сравнению с известными аналогами более чем в два раза, тем самым существенно снизить энергозатраты на бурение.

Выбор расходов компонентов пены должен обеспечивать с одной стороны нормальный температурный режим работы алмазных коронок, а с другой не приводить к чрезмерно высоким давлениям нагнетания пены в скважину.

Однако, наряду с перечисленными преимуществами, данная технология имеет свой существенный недостаток, обусловленный низкой теплоёмкостью и теплопроводностью предлагаемого очистного агента. В различных источниках [3, 4, 6, 11, 12, 13] опубликованы результаты бурения алмазными коронками с использованием пены, в которых приводятся данные частых прижёгов инструмента. Применение пены при инженерно-изыскательских работах осложнено необходимостью использования не только компрессора, но и пеногенератора и пеногасителя.

Применение *сжатого воздуха* в бурении позволяет достичь высоких технико-экономических показателей благодаря специфическим свойствам газообразного агента.

Воздух (газ) обладает низкой плотностью, малой вязкостью и легко сжимается, что обеспечивает высокие скорости восходящего потока при сильной его турбулентности. В результате этого происходит полная очистка забоя от шлама. Хорошее охлаждение породоразрушающего инструмента, отсутствие гидростатического давления повышают эффективность разрушения горной породы. Воздух не загрязняет продуктивные горизонты, улучшается качество опробования.

Успех бурения с продувкой воздухом зависит от рабочих параметров компрессора (давления, расхода воздуха), компоновки бурового снаряда и схемы обвязки поверхностного оборудования. Для бурения скважин с продувкой используется серийное буровое оборудование: станки и установки, породоразрушающий инструмент.

Скорость бурения с продувкой в несколько раз выше, чем при бурении с промывкой. Поэтому на забое образуется много бурового шлама и его своевременно нужно удалять. Скорость бурения зависит от того, насколько своевременно и эффективно осуществляется очистка скважины.

При бурении по многолетнемерзлым породам важным фактором становится

температура сжатого воздуха. Принудительное охлаждение воздуха от 5 до -10 $^0$С полностью устраняет осложнения, связанные с растеплением стенок скважин и с их обвалами в процессе бурения [2]. Однако охлаждение сжатого воздуха требует использования дополнительного оборудования.

Из проведенного анализа вопросов бурения скважин при инженерно-геологических изысканиях видно, что основной проблемой является недостаточно эффективное охлаждение породоразрушающего инструмента.

При бурении скважин в скальных породах алмазным инструментом разрушение породы сопровождается значительным выделением тепла, т.к. на собственно разрушение породы расходуется около 1 % подводимой к забою механической энергии, вся же остальная часть энергии трансформируется в теплоту трения. При этом эффективность процесса бурения зависит от характера распределения его по двум направлениям: в породу и породоразрушающий инструмент, а затем к очистному агенту, циркулирующему в скважину.

Алмазы, представляют собой главный элемент коронки, определяющий эффективность разрушения горной породы. Хотя алмаз и является самым крепким минеральным образованием в природе, его прочностные свойства в значительной степени изменяются при повышении температуры. Если учесть, что контактные температуры при бурении твёрдых пород достигают 600 $^0$С и более, то станет очевидным, что прочностные характеристики алмаза следует рассматривать как функции температуры.

Очевидно, что тепловые условия работы алмазного породоразрушающего инструмента можно считать нормальными, если температура нагрева буровых алмазов не достигает величин, при которых возможны температурные деформации алмазов: окисление, графитизация, зашлифование режущих граней, сколы, растрескивание зёрен и т.п.

Обзор современных конструкций алмазного породоразрушающего инструмента показал, что используемый в настоящее время породоразрушающий инструмент не обладает необходимой износостойкостью при использовании низкотеплоёмких и низкотеплопроводных очистных агентов. Это приводит к удорожанию стоимости и увеличению сроков проведения инженерно-геологических изысканиях.

В СПГГИ(ТУ) при участии автора были разработаны и запатентованы конструкции алмазного породоразрушающего инструмента для бурения скважин с продувкой воздухом и водовоздушными смесями [16, 17] позволяющие повысить износостойкость породоразрушающего инструмента путём увеличения интенсивности его охлаждения, тем самым снизить себестоимость бурения.

Учитывая малую глубину инженерно-геологических скважин более рентабельным и целесообразным с экологической точки зрения способом очистки забоя и охлаждения породоразрушающего инструмента является применение газообразных и газо-воздушных смесей. Так как использование воды и бурового раствора в качестве очистного агента требует наличия их хранилищ и значительных объёмов рядом с объектами работ и как следствие большего количества буровых отходов. Специфика работ требует высокой мобильности установки. Применение пены и сжатого воздуха в данном случае позволит использовать переносные, малогабаритные установки, кроме этого, даёт ряд неоспоримых преимуществ, по сравнению с известными способами очистки забоя в связи с малым

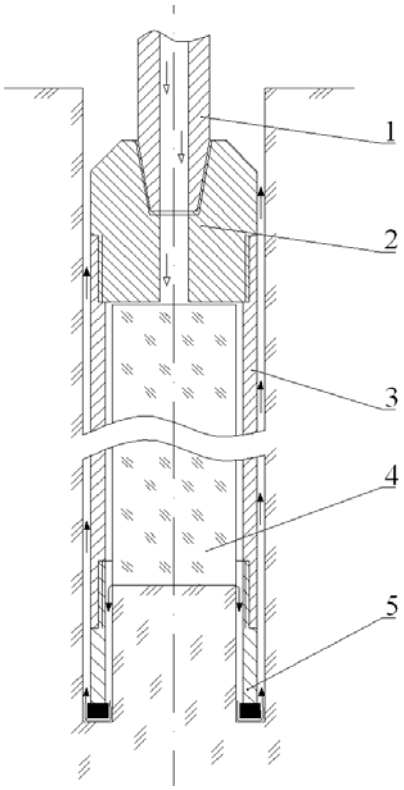



***Рис. 3. Принципиальная схема бурения инженерно-геологических скважин с использованием твёрдой углекислоты:*** *1* – бурильная штанга; *2* – переходник; *3* – колонковая труба; *4* – блок твёрдой углекислоты; *5* – буровая коронка; пустыми стрелками показан, подаваемый в скважину сжатый воздух, чёрными – уже охлаждённый

количеством буровых отходов, а значит с меньшим вредом для окружающей среды.

В связи с этим представляет несомненный интерес разработка способа очистки и поддержания оптимального теплового режима на забое скважины с использованием углекислоты в твёрдом состоянии при бурении инженерно-геологических скважин с очисткой забоя сжатым воздухом.

*Сухой лёд* представляет собой твёрдую фазу угольного ангидрида $CO_2$ или углекислого газа, что принято называть также углекислотой. В атмосферных условиях твёрдая углекислота переходит в газообразное состояние, минуя жидкую фазу – сублими*рует. При атмосферном давлении

сухой лёд сублимирует при температуре –78,9 ºС. Углекислый газ при нормальных условиях имеет плотность 1,877 кг/м$^3$. Этот газ тяжелее воздуха в 1,529 раза.

Холодопроизводительность сухого льда при атмосферном давлении и температуре сублимации –78,9 ºС равна теплоте сублимации, т.е. 574 кдж/кг, а с учётом отепления, образовавшегося при сублимации пара до 0 ºС, холодопроизводительность сухого льда, плотностью 1400 кг/м$^3$ будет в $\frac{574 \cdot 1400}{335 \cdot 900} = 2,66$, т.е. почти в 3 раза больше, чем у водного льда.

Углекислота нейтральна к металлам и является безвредным газом. Сухой лёд удобный для использования источник холода, позволяющий легко получить температуру от –60º до –70º С. Предложенный способ бурения (заявка на изобретение № 2006123172/03(025145) от 29.06.06) должен обеспечить интенсивное охлаждение породоразрушающего инструмента, тем самым увеличить его износостойкость (рис. 3).

Сублимирующаяся в газ твёрдая углекислота в процессе бурения осуществляет охлаждение сжатого воздуха и корпуса породоразрушающего инструмента. Таким образом, увеличивая интенсивность теплообмена алмазосодержащей матрицы с очистным агентом и корпусом породоразрушающего инструмента. Повышение эффективности теплообмена возможно

также за счёт применения специальной конструкции породоразрушающего инструмента [16, 17].

Такой способ бурения, с использованием специальных колонковых снарядов, в условиях малых глубин изыскательских скважин представляет значительный интерес, особенно за счёт своей экологичности. Кроме того, использование твёрдой углекислоты при бурении рыхлых и слабосцемен-тированных пород способствует повышению сохранности керна за счёт его частичного промораживания.

Для реализации предлагаемого способа бурения инженерно-геологичес-ких скважин с использованием твёрдой углекислоты необходимо решить следующие задачи:

- Анализ теплофизических свойств твёрдой углекислоты, как очистного и охлаждающего агента;
- Обоснование методики применения твёрдой углекислоты при бурении инженерно-геологических скважин;

Разработка технических средств для бурения скважин с использованием твёрдой углекислоты при проведении инженерно-геологических изысканий.

***СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ***


1. *Жадановский Б.В.* Технология алмазной механической обработки строительных материалов и конструкций// М.: Стройиздат, 2004 г. – 175 с.
2. *Калинин А.Г.* Разведочное бурение / Калинин А.Г., Ошкордин О.В., Питерский В.М. – М.: Недра, 2000.
3. *Кирсанов А.И.* Пены и их использование в бурении / Кирсанов А.И., Крылов Г.А., Нефедов В.П. – М. ВИЭМС, 1980.
4. *Коваленко В.И.* Бурение скважин с промывкой пеной / Коваленко В.И., Климов В.Я., Яковлев А.А. – М.: ВИЭМС, 1986.
5. *Кудряшов Б.Б., Яковлев А.М.* Бурение скважин в мёрзлых породах. – М., Недра, 1983.
6. *Макаров Л.Н.* Применение ПАВ при алмазном бурении – М.: ВИЭМС, 1971.
7. *Ребрик Б.М.* Бурение инженерно-геологических скважин: Справочник. – М.: Недра, 1990.
8. *Сергеев Е.М.* Инженерная геология – наука о геологической среде // Инженерная геология, №1, с. 3-19, 1979.
9. *Солодухин М.А.* Инженерно-геологические изыскания для промышленного и гражданского строительства – М.: Недра, 1985.
10. *Соловьёв Н.В.* Ресурсосберегающая технология алмазного бурения в сложных геологических условиях/ Соловьёв Н.В., Чихоткин В.Ф., Богданов Р.К., Закора А.П. – М.: ОАО "ВНИИОЭНГ", 1997.
11. *Слюсарев Н.И.* Технология и техника бурения геологоразведочных скважин с промывкой пеной / Слюсарев Н.И., Козловский А.Е., Лоскутов Ю.Н. – СПб.: Недра, 1996.
12. *Яковлев А.А.* Совершенствование технологии алмазного бурения с очисткой скважин пеной/, Козлов А.В. – М.: 1989.
13. *Яковлев А.М.* Бурение скважин с пеной на твёрдые полезные ископаемые / Яковлев А.М., Коваленко В.И. – Л.: Недра, 1987 г.; Яковлев А.А.
14. *Пенообразующий* раствор для бурения: Патент РФ № 2268283 приоритет изобретения 14.09.04. / Толстунов С.А., Беляев А.С., Мозер С.П.
15. *Буровой* раствор: Патент РФ № 2276179 приоритет изобретения 06.12.2004 / Толстунов С.А., Мозер С.П., Беляев А.С.
16. *Алмазная* буровая коронка: Патент РФ № 2276248 приоритет изобретения 27.12.2004 / Толстунов С.А., Мозер С.П., Беляев А.С.
17. *Алмазная* буровая коронка: Патент РФ № 2276717 приоритет изобретения 11.01.2005 / Толстунов С.А., Мозер С.П., Беляев А.С.


## *Коротко об авторах*


*Беляев А.С.* – Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет).



© А.М. Мозер, 2007

УДК 502.7:622.85

*А.М. Молев*

# *ОЦЕНКА РИСКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ЛИКВИДАЦИИ НЕПЕРСПЕКТИВНЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ*

**Семинар № 10**

Важной составляющей природоохранного управления является оценка экологического риска реализации управленческих решений. Вопрос состоит в том, что процесс обоснования и выбора эффективных вариантов управления окружающей природной средой (ОПС) проводится, исходя из предположения наличия полной и достоверной информации. На самом деле процессы, происходящие в экологической сфере при ликвидации неперспективных угольных шахт, прямые последствия воздействия этого процесса, а тем более отдаленные результаты, характеризуются высокой степенью неопределенности в связи с вероятностным характером прогнозов. Определенный риск предполагает, что лицо, принимающее ре-шение (ЛПР), не только имеет представление о будущем состоянии экологической системы $S_1$, $S_2$, $S_3$, …, $S_n$, но и знает соответствующее распределение вероятностей $p_1$, $p_2$, $p_3$, …, $p_n$ наступления этих состояний. Таким образом, при принятии управляющего решения в сфере ОПС необходимо знать степень риска. Следовательно, оценка экологического риска реализации решения находится в совместной области, образуемой неопределенностью (достоверностью) информационной базы, вероятностным характером последствий реализации управляющего воздействия.

Одной из ключевых проблем при оценке риска является отношение к неопределенности. Неопределенности экологического процесса усугубляются рядом факторов:

– недостаточность или отсутствие данных;

– ошибочные источники данных;

– сложность взаимодействия людей и среды обитания;

– появление новых технологий, для применения которых не накоплен достаточный опыт или массив данных;

– дополняющие и кумулятивные эффекты;

– неспрогнозированные или невыявленные источники опасности.

В той мере, в какой оценка риска не позволяет выявить и оценить эти неопределенности, создается необоснованная иллюзия точности. Поэтому необходимо применять при реализации экологических управляющих решений принцип предосторожности, который требует чтобы лица, принимающие решения, учитывали не только возможность или вероятность ошибочности прогноза развития ситуации, но и характер, и масштабы возможных последствий.

Таким образом, в процессе принятия решения, необходимо как можно более точно произвести расчет возможного экологического риска.

Методика оценки риска должна включать следующие этапы:

– определение перечня рисков в конкретном случае;

– оценка значимости риска по каждому виду;

– выбор оптимального решения по фактору риска.

На первом этапе выявляются все возможные факторы риска, возникающие в случае реализации управленческого решения и, соответственно, наступления экологического состояния среды. Например, определяются негативные последствия излива загрязненной шахтной воды в поверхностный водоем (пруд или реку).

На втором этапе определяются количественные оценки влияния того или иного загрязняющего фактора на состояние среды вследствие реализации конкретного решения (по каждому фактору). Рассчитываются также суммарные величины загрязнения по полному набору факторов для каждого из возможных управленческих решений.

На третьем этапе производится выбор оптимального решения, исходя из оценки комплексного влияния, а также стоимости реализации решения. Обязательным элементом расчета вариантов является оценка погрешности. В информации по результатам расчета степени экологического риска, предоставляемой ЛПР, необходимо указывать количественные величины погрешности оценки.

Нами предлагается в оценку экологического риска реализации управленческих решений по ликвидации шахт определять с учетом склонности к риску ЛПР.

Рассмотрим случай стремления к таким результатам как экономия финансовых средств на проведение мероприятий по предупреждению негативных экологических последствий ликвидации, и обозначим достигаемый в состоянии экологической системы $S_i$ результат через $x_i$. Посредством функции полезности u(x) можно выразить склонность к риску лица, принимающего решение. Обычно различают нейтральную, положительную и отрицательную склонность ЛПР к риску. Определим для их характеристики среднюю величину результатов

$$r(x) = \sum_{i=1}^{n} p_i \times x_i$$

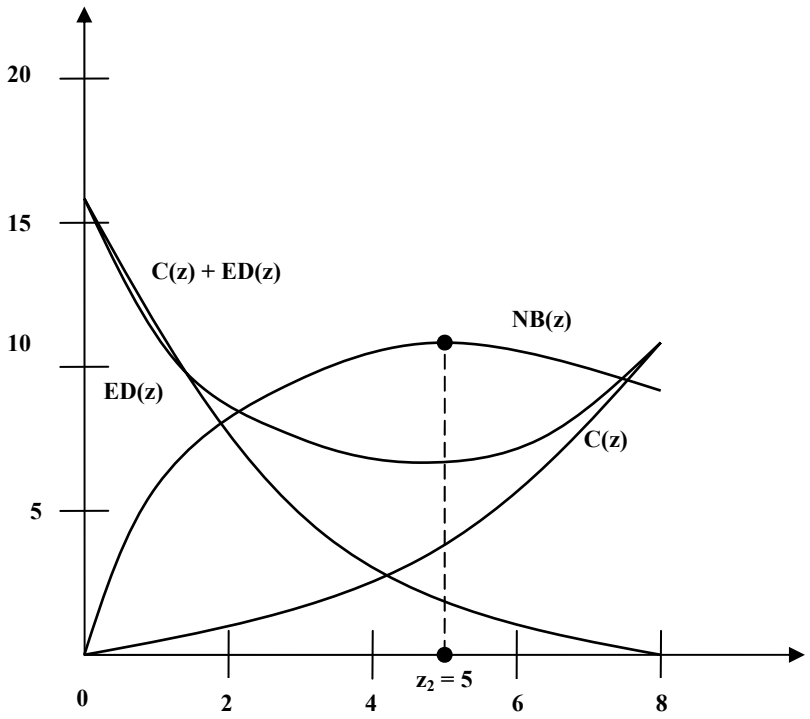
Это значит, что

$$u(r(x)) = (\leq, \geq) \sum_{i=1}^{n} p_i \times u(x_i).$$

В случае нейтрального отношения к риску полезность средней величины результатов (ОСВ) совпадает со средней величиной оценок отдельных результатов (СВО). При положительной склонности к риску ОСВ всегда ниже, чем СВО, что возможно, когда более высокие результаты оцениваются выше, чем другие. При отрицательной склонности к риску (ОСВ выше СВО) большие результаты оцениваются ниже, чем менее высокие, т.е. наблюдается стремление к избежанию больших рисков. В зависимости от характеристик ЛПР следует вводить корректировки в прогноз. На основании расчетов можно построить модель рискоснижающей деятельности (РСД), которая формируется с учетом двух типов эффекта. С одной стороны, чем выше уровень этой деятельности, тем выше рискоснижающие издержки C(z). С другой – параллельно с этим происходит снижение рискоснижающего ущерба, которое обозначим ED(z). Оптимальный уровень РСД определяется там, где сумма издержек минимальна:

$$EC(z) = C(z) + ED(z) = \Sigma \min$$

Равноценная характеристика оптимального уровня рискоснижающей деятельности может быть дана следующим образом. В результате осуществления РСД возникают как затраты C(z), так и полезности U(z). Полезность U(z) заключается в рискоснижающем воздействии деятельности




***Полезность и затраты по рискоснижающей деятельности***

U(z) = ED(0) – ED(z).

Оптимальный уровень РСД определяется максимально чистой полезностью NB(z) = U(z) – C(z).

Эта функция соответствует функции NB(z) при x = z. В этом случае ЛПР должен ориентироваться на кривую издержек загрязнения C(z) + ED(z), минимум которых совпадает с общественным оптимальным уровнем издержек. Тем самым ЛПР реализует общественно оптимальный уровень загрязнения РСД $Z_2$ (см. рисунок).

## *Коротко об авторах*

*Молев Андрей Михайлович* – соискатель, Московский государственный горный университет.