

УДК 504.06.; 622.33

С.М. Миронюк

**ЛИКВИДАЦИЯ ШАХТ РОССИЙСКОГО ДОНБАССА
И ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ
ГОРНЫХ РАБОТ**

Семинар № 7

Выполнен анализ горнотехнических и гидрогеологических условий, а также причин повлекших техногенную аварию, связанную с затоплением шахты «Западная» ООО «Компании Ростовуголь»

В процессе ведения подземных горных работ в толще горных массивов образуются пустоты, которые расположены под водоносными горизонтами. По естественным трещинам и трещинам, образованным вследствие сдвижения пород, вода дренирует в подземные горные выработки. Величина притока воды в шахту зависит от гидрогеологических, климатических, гидрофизических условий месторождения, а также от систем вскрытия, подготовки и технологии отработки.

Практика работы шахт показывает, что экологические последствия добычи угля в каждом регионе различны. С точки зрения гидрогеологических последствий на биосфере, Донецкий угольный регион до последнего десятилетия ничем особенным не отличался. Однако в последнее время, в связи с резким закрытием угольных шахт, негативные явления экологического характера стали активно проявляться не только воздействием на окружающую среду, но и проявились в виде техногенных катастроф. Так 1 февраля 2003 года в 15 часов 15 минут на шахте «Западная» ПТК «Западный» ООО «Компании «Ростовуголь» произошла авария, связанная с прорывом воды в горные выработки, следст-

вие чего работу довольно перспективной шахты пришлось остановить.

Поле шахты «Западная» расположено на территории г. Новошахтинска и Октябрьского района Ростовской области в пределах Шахтинско-Несветаевского угленосного района Донбасса. Шахта сдана в эксплуатацию в 1938 году. В период временной оккупации в годы Великой Отечественной войны шахта была затоплена. Восстановлена в 1945 году. Отрабатывала пласты K^1_2 ; K^c_2 ; K^H_2 Несветаевской свиты C^6_2 .

В 1968 году в связи с отработкой запасов пластов Несветаевской свиты произведена реконструкция шахты. На действующей промплощадке шахты пройдены главный и вспомогательный стволы № 2 до пластов Степановской свиты I^H_3 и I^B_3 , расположенных стратиграфически ниже Несветаевской свиты на 350-400 м. Производственная мощность шахты после реконструкции - 1300 тыс. т угля в год, производственная мощность шахты на момент аварии - 800 тыс. т угля в год.

Район расположен в пределах Шахтинско-Несветаевской синклинали, представляющий собой ассиметричную складку, шарнир которой погружается в юго-восточном направлении под углом 1-50. Южное крыло складки пологое (15-250), на северном крыле преобладают углы падения 30-450.

Несветаевская свита C^5_2 представлена:

- рабочим пластом K^1_2 мощностью 1,6-1,8 м;

- пластами K_2^c и K_2^h мощностью 0,65-0,80 м (рабочую мощность эти пласты имеют на локальных участках), расположенными стратиграфически ниже пласта K_2^1 на 80-85 м.

Степановская свита C_2^4 представлена:

- пластом I_3^b (работы по пласту в настоящее время не ведутся) мощностью 0,7-0,9 м, имеет рабочую мощность и кондиционные по зольности запасы на локальных участках;

- пластом I_3^h мощностью 0,6-1,3 м, который залегает на 15-18 м стратиграфически ниже пласта I_3^b и является основным рабочим пластом;

- пластом I_3^b мощностью 0,65-0,9 м, вскрытым на поле шахты «Западная» двумя квершлагами и блоковым вентиляционным стволом № 1 (очистные работы по пласту не велись).

Основные источники обводнения горных выработок по рабочим пластам - водоносные горизонты карбона, которые ввиду незначительной мощности и низких фильтрационных свойств не оказывают влияния на обводнение горных выработок. Глинистые сланцы практически водонепроницаемы и служат водопорами для водоносных горизонтов карбона. Водоносные горизонты частично срединированы горными выработками пластов K_2^1 ; K_2^c ; K_2^h . Здесь образовался техногенный водоносный горизонт. Водовмещающими являются отработанные пласты и трещиноватые породы зоны выше отработанного пространства. Мощность этой зоны изменяется от 56 до 80 м. Представлена она обрушенными породами кровли (техногенные отложения) в зоне заполнения отработанного пространства и интенсивно трещиноватыми породами выше зоны обрушения.

Подземные воды преимущественно сульфато-гидрокарбонатные, слабоминерализованные. Бактериологическое состояние шахтных вод крайне неудовлетворительное. Сброс шахтных вод в гидросеть без предварительного обеззараживания недопустим.

Пласты I_3^h и I_3^b вскрыты двумя вертикальными центрально-сдвоенными стволами, пройденными с действующей на период отработки вышележащих пластов Несветаевской свиты. Диаметр стволов - 6,5 м - закреплены железобетонными тубингами. В 1985 г. в центральной части шахтного поля пройден блоковый вентиляционный ствол № 1, диаметром 6 м, крепление монолитный бетон. Ствол оборудован двухклетевым подъемом и предназначен для выдачи исходящей струи воздуха, спуска - подъема людей и оборудования. Глубина ствола 810 м.

В конце 70-х годов работы по пластам K_2^c и K_2^h были полностью прекращены в связи с отработкой запасов и началось затопление горных выработок. После полного затопления выработок этих пластов вода через гезенк, расположенный на людском ходке восточного уклона шахты «Западная», вышла на пласт K_2 в начале 80-х годов.

Пласт K_2^1 обрабатывали шахты «Западная-капитальная», «Коминтерновская», им. Горького, им. Ленина, № 5 «Несветаевская», им. Кирова и множество мелких шахт на выходах пласта под наносы. Работы велись с 1928 по 1994 год до ликвидации шахты им. Кирова. Все шахты сбиты между собой с целью перепуска воды на построенный групповой водоотлив «Кошкинский», расположенный в нижней части Несветаевской синклинали на отметке - 162 м, в околоствольном дворе вентиляционного ствола № 1 шахты им. Ленина. Приток воды в этот водоотлив составлял; средний 1700 м³/час, в период паводка 2300 м³/час.

С 4 апреля 1999 года в результате аварии на водоотливе «Кошкинский» началось затопление пласта K_2^1 . Затапливаемый пласт пересекают 7 вертикальных стволов действующих шахт «Западная» (4 ствола), им. Ленина (3 ствола) и большое количество геологоразведочных скважин, имеющих неудовлетворительный тампонаж.

С целью недопущения перетока воды с затапливаемого пласта K_2^1 в действующие

выработки нижележащих пластов Степановской свиты в зависимости от скорости подъема уровня воды, был разработан график очередности создания вокруг стволов тампонажных завес и тампонирувания скважин.

Затопление пласта K_2^1 завершилось 02.01.2002 года, вода вышла через специально пробуренные скважины в балке Аюта на поверхность. Был затоплен бассейн с размерами примерно 6х18 км. Объем воды в затопленном пласте составил по расчету 28-30 млн. m^3 , уровень затопления + 62 : +66 м.

Приток воды в шахту «Западная» изменился за 2002 год с 340 $m^3/$ час до 535 $m^3/$ час. Увеличение водопритока произошло в основном за счет перетока воды из затопленного пласта K_2^1 по вертикальным стволам.

Строительство блокового вентиляционного ствола № 1 велось в 1980-85 гг. При этом его проходка осуществлялась после предварительного тампонажа пород. В 1983 г. на глубине 292,7 м было вскрыто зеркало подземных вод связанное с подтоплением горных выработок пласта K_2^1 . Для откачки воды была сооружена временная камера водоотлива которая после окончания тампонажных работ была изолирована от ствола бетонитовой перемычкой. При эксплуатации ствола средний приток составлял от 4 до 6 $m^3/$ час.

17 января 2003 года на 2 м ниже бывшей камеры водоотлива был обнаружен вывал крепи 0,25×0,25 м и приток на этом участке увеличился до 30 $m^3/$ час. Бетон крепи в месте вывала был низкой прочности, крошился в руках и способен был размываться потоком воды. С целью недопущения дальнейшего разрушения крепи, вначале в месте прорыва была установлена труба диаметром 159 мм, раскрепленная деревянными клиньями, затем вокруг нее установили металлический пластырь. Водоприток в трубе постоянно увеличивался, при этом отмечался изливом воды желтоватого

цвета и выносом частиц угля и породы до 2-3 мм.

1 февраля в 15 часов выше установленного пластыря вывалился кусок бетонной крепи размером 0,6×0,6 м и появилась трещина длиной 2,3 м, раскрытием до 3 см. Общий приток по стволу зафиксирован в количестве 500 $m^3/$ час.

3 февраля на 14 часов был зафиксирован максимальный водоприток достигающий 30000 $m^3/$ час. С целью спасения шахты от полного затопления, на наш взгляд, было принято единственно правильное техническое решение по засыпке ствола крупнокусковым песчаником с размерами кусков от 0,5 до 2,0 м. Уровень шахтных вод в несветаевских пластах упал до минимальной отметки +41 м.

К счастью обошлось без человеческих жертв. Ликвидация последствий была произведена силами и средствами объединения без притока государственного финансирования. Шахту удалось сохранить и вновь возобновить работы по добыче угля.

Однако 23 октября в 16 часов 45 минут уже в главный скиповый ствол шахты «Западная», где в тот момент находился 71 человек из второй смены, хлынул мощный водяной поток с водопритоком 50000 $m^3/$ час. Об этой аварии уже узнала вся страна и с тревогой ждала развязки событий по вызволению из затопления 46 горняков отрезанных от поверхности водной стихией.

Работы велись по двум направлениям. Во-первых, с целью снижения притока воды в шахту интенсивно велась засыпка скипового ствола по уже отработанной технологии и во-вторых, срочно велась сбойка через барьерный целик с шахтой «им. газеты Комсомольская правда» - для создания второго запасного выхода и возможности прохода горноспасателей к пострадавшим. К счастью все закончилось благополучно, если не считать, что авария унесла жизни двух горняков, и то, что о дальнейшем возобновлении работы шахты «Западная» не может быть и речи. Что же касается шахт «им. Лени-

на» и «Комсомольской правды», расположенных по соседству, то учитывая сложнейшую гидрогеологическую обстановку в регионе, с аналогичными гидрогеологическими условиями, дальнейшая их судьба также весьма проблематична, во избежания повторения техногенных катастроф.

На наш взгляд непосредственной причиной этих техногенных катастроф и аварийного прорыва воды, явился размыв глинисто-цементного заполнителя горных выработок шахтными водами, поступающими из затопленных выработок под давлением около 18 атмосфер по трещиноватому незатопленному массиву в кровле пласта K^1_2 .

Это явление было предопределено следующими факторами:

- аварийный выход из строя (04.04.99 г.) водоотливного комплекса «Кошкинский», вследствие чего произошло затопление выработанного про-

странства пласта K^1_2 , в том числе в границах поля шахты «Западная»;

- неблагоприятное место заложения вентиляционного ствола № 1, вследствие чего при его проходке были пересечены горные выработки, ранее пройденные по пласту K^1_2 и впоследствии затопленные;

- горные выработки, вскрытые при проходке ствола, не были должным образом ликвидированы;

- низкое качество бетонной крепи из-за применения несulfатостойкого цемента;

- низкая эффективность тампонажных работ для ликвидации горных выработок при невозможности возведения упорных перемычек;

- отсутствие должного финансирования для ведения работ связанных с безопасностью и ликвидацией последствий массового закрытия соседних шахт.

Коротко об авторах

Миролюк С.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленная и экологическая безопасность», Шахтинский институт Южно-Российского государственного технического университета (Новочеркасского политехнического института).



© В.Г. Ефимов, 2005

УДК 502.3

В.Г. Ефимов

**ОБ ЭКОНОМИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ДОНЕЦКОЙ**

177

Донецкая область является одним из наиболее неблагоприятных в экологическом отношении регионов не только Украины, но и Европы. Высокая концентрация предприятий угольной промышленности, металлургии, энергетики, химической и нефтехимической промышленности создает постоянную техногенную нагрузку по различным факторам, которая в 5-7 раз выше среднеукраинской. Общее количество выбросов загрязняющих веществ предприятиями составляет 1580 тыс. тон/год или 38 % от общего объема по Украине. Плотность выбросов от стационарных источников находится на уровне 59,6 т/км², что почти в 9 раз больше, чем в среднем по Украине.

Общий объем сбрасываемых в поверхностные водные объекты сточных вод составляет около 1600 млн. м³/год, а сброс недостаточно очищенных сточных вод 630 млн м³/год [1].

Экологическая ситуация является одним из факторов, определяющих состояние здоровья человека. Напряженная экологическая обстановка в Донецкой области привела к резкому обострению проблемы здоровья населения.

Уровень смертности населения Донецкой области от различных причин значительно превышает государственные показатели. Так, смертность от болезней системы кровообращения на 9,7 %, злокачественных новообразований на 13 %, несчастных случаев, отравлений и травм в 2,2 раза выше, чем по Украине.

Особую озабоченность вызывает возрастание удельного веса заболеваний среди детей. За период 1990-2001 уровень патологии у детей в общей заболеваемости населения области онкологическими заболеваниями вырос на 51,8 % (3,8 % всех вновь выявленных заболеваний среди всего населения), болезнями мочеполовой системы - на 55,6 % (5,4 %), болезнями

системы кровообращения - 37,37,8 % (2,7 %) [1].

По сравнению с 1990 годом в 3,6 раза увеличилось количество детей, страдающих болезнями крови и кроветворных органов, в 3,2 раза - мочеполовой системы, в 2,9 раза - болезнями органов кровообращения, в 2,3 раза увеличилось количество новообразований.

В результате неблагоприятной экологической ситуации в Донецкой области отмечается рост (в 3 раза) заболеваемости бронхиальной астмой, увеличилось количество врожденных аномалий в 2,2 раза. Первичная заболеваемость гастритом и дуоденитом возросла на 92 %, язвой желудка и двенадцатиперстной кишки - на 29 % [1].

По оценкам специалистов, не менее 50 % распространенных заболеваний людей обусловлено загрязнением окружающей природной среды и, прежде всего, потреблением недоброкачественной питьевой воды.

В Донбассе сложилась критическая ситуация с питьевой водой. Например, в Донецкой области в маловодные годы дефицит воды даже в условиях спада производства составляет примерно 500 млн. м³/год, а 60-70 % проб воды, берущихся на анализ из малых рек, показывают их полную непригодность для хозяйственно-питьевого водоснабжения [2].

По различным объективным и субъективным причинам в Донбассе наблюдаются самые высокие уровни потребления пресной воды, сброса недостаточно очищенных сточных вод и как следствие многократное превышение промышленно-бытового стока над естественным речным.

Наибольшее воздействие на водные объекты Донбасса оказывают сбрасываемые шахтные воды. Это объясняется их огромным притоком (в Донецкой области объем шахтных вод составляет более 500

млн м³/год, а естественный сток всех рек в маловодные годы не превышает 500 млн м³/год), низким качеством по многим показателям, не соответствующим современным требованиям правил охраны поверхностных вод от загрязнения (из-за чего в гидрографическую сеть региона ежегодно поступает около 2 млн т минеральных солей), а также масштабным воздействием процессов угледобычи на водные объекты в течение длительного времени на огромной территории от Дона до Днепра [2].

Одним из наиболее оптимальных путей решения проблемы охраны малых рек Донбасса от засоления шахтными водами является реализация идеи вовлечения последних в хозяйственно-питьевое водоснабжение. При этом одновременно достигается уменьшение дефицита питьевой воды, и решаются серьезные экологические проблемы региона. Техническая и экономическая возможность реализации данной идеи обосновывается в работах [3, 4].

Наиболее эффективным оборудованием для опреснения и комплексной переработки высокоминерализованных шахтных вод является обратн осмотические установки, которые в Украине не изготавливаются.

Удельные капитальные затраты на строительство установок комплексной переработки шахтных вод сульфатно-хлоридного типа в случае комплектной поставки обратн осмотического оборудования инофирмами составят 8-9 тысяч долларов США на м³/ч. В случае комплектации и изготовления оборудования на заводах Украины удельные капитальные затраты могут быть снижены до 6 тыс. долларов США на м³/ч [4]. Удельные эксплуатационные расходы на переработку шахтных вод при современном уровне цен и курсе гривны составят 2,0-3,0 грн/м³.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что реализация проектов комплексной переработки шахтных вод является экономически целесообразной, однако это связано

с необходимостью значительных капитальных вложений.

В данной работе проведен анализ сбора за сбросы шахтных вод по трем шахтам: ГП «Снежноеантрацит», шахте «Ударник», шахте «Заря», шахте «Северная» за 9 месяцев 2004 года.

На шахте «Ударник» сумма сбора за сбросы загрязняющих веществ в реку Крынка составила 58970,05 грн., а за сбросы только сульфатов и хлоридов – 30384,51 грн., т.е. 51,5 % от общей суммы сбора.

По шахте «Заря» сумма сбора за сбросы загрязняющих веществ в реку Миус составила 40741,1 грн., что соответствует 57,2 % от общей суммы сбора.

По шахте «Северная» сумма сбора за сбросы загрязняющих веществ в реку Миус составила 30600,15 грн., сбор за сбросы сульфатов и хлоридов – 12377,14 грн., т.е. 40,4 % от общей суммы сбора.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что 40% и более общей суммы сбора за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты составляет сбор за сбросы только сульфатов и хлоридов. Аналогичная ситуация наблюдается на большинстве шахт Донецкой области. Однако норматив сбора за сбросы как сульфатов, так и хлоридов является самым низким, как показано в табл. 1, составляет 1,5 грн./т.

В настоящее время в Украине действуют нормативы сбора за загрязнения окружающей природной среды, утвержденные постановлением Кабинета Министров Украины от 28 марта 2003 года № 402. В соответствии с данным документом установлены следующие нормативы сбора за сбросы основных загрязняющих веществ в водные объекты (таблица).

Нормативы сбора за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

Название загрязняющего вещества	Норматив сбора, грн./т
Азот аммонийный	52,5
Органические вещества (по БПК 5)	21
Взвешенные вещества	1,5
Нефтепродукты	309
Нитраты	4,5
Нитриты	258
Сульфаты	1,5
Фосфаты	42
Хлориды	1,5

Возможно ли возмещение ущерба, наносимого окружающей природной среде, при таких нормативах? При современном уровне цен возмещение ущерба за такие средства, к сожалению, останется лишь благим намерением. Применяемые при расчете сбора за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты региональные (бассейновые) коэффициенты для рек Донбасса, большинство из которых находятся в критическом состоянии, являются более низкими, чем для рек Западной Украины.

Сопоставление объемов сбрасываемых шахтных вод и сборов за сбросы загрязняющих веществ в водные объекты показывает, что удельные сборы за сбросы, приходящиеся на 1 м³ сбрасываемых шахтных вод, являются весьма низкими.

Так по шахте «Ударник» объем сбрасываемых шахтных вод за 9 месяцев 2004 года составил 3494,1 тыс. м³, а сумма сбора за сбросы – 40741,1 грн. Удельный сбор за сбросы равняется 0,017 грн/м³.

Соответственно по шахте «Заря» объем отводимых в реку шахтных вод за тот же

период составил 3720 тыс. м³, а сумма сбора – 40741,1 грн., т.е. удельный сбор за сбросы – 0,011 грн./м³. По шахте «Северная» объем шахтных вод, сбрасываемых в реку Миус – 1480,6 тыс. м³, а сумма сбора за сбросы – 30600,15 грн., тогда удельный сбор – 0,021 грн/м³.

Очевидно, если удельный сбор за сбросы шахтных вод составляет всего 1-2 коп./м³, а это в сотни раз меньше себестоимости деминерализации воды, то уровень мотивации очистки шахтных вод является недостаточным.

И, несмотря на то, что цена на шахтную воду, отпускаемую предприятиям, составляет более 4 грн/м³, а плата за нее стала тяжелым финансовым бременем для большинства предприятий, последние не спешат опреснять шахтную минерализованную воду с целью использования ее для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Объясняется это, как было показано выше, значительными требуемыми для очистки воды капитальными затратами.

Таким образом, решение проблемы охраны водных объектов региона от загрязнения шахтными водами, по нашему мнению, необходимо ускорить увеличением нормативов сбора за сбросы загрязняющих веществ в несколько раз, особенно, нормативов сбора за сбросы сульфатов, хлоридов, взвешенных веществ, которые являются кощунственно низкими по отношению к окружающей природной среде. Это позволит повысить уровень мотивации опреснения и комплексной переработки шахтных вод для вовлечения их в хозяйственно-питьевое водоснабжение и будет способствовать решению экологических проблем региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земля тревоги нашей. По материалам доклада о состоянии окружающей природной среды в Донецкой области в 2002 г./ Под ред. С.В. Третьякова. – Донецк: Новый Мир. – 2003. – 158 с.

2. Денисенко В.И., Дударенко А.В., Ермаченко А.Б., Дубовиков С.И., Миронюк Д.Я., Колоколов В.П. Эколого-гигиеническая оценка влияния за-

грязнения окружающей среды на здоровье населения промышленных городов Донецкого региона. Сборник докладов научно-практической конференции «Донбасс - 2020: охрана окружающей среды и экологическая безопасность». т. 2. Донецк, 2001. – с. 128-130

3. Матлак Е.С., Романова В.Ю., Карягин А.В. О проблеме вовлечения шахтных вод в хозяйственное водоснабжение Донбасса/ Проблемы экологии, Донецк, 2001 - №2. – с. 3-8.

4. Кульченко В.В., Резников Ю.Н., Полтавец Е.И., Улицкий О.А. Использование шахтных вод

для технического и хозяйственно-питьевого водоснабжения. Сборник докладов научно-практической конференции «Донбасс 2020: охрана окружающей среды и экологическая безопасность» т.1 – Донецк, 2001. – с. 199-203.

Коротко об авторах

Ефимов В.Г. - доцент, кандидат технических наук, Донецкий Национальный технический университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
ДОКУКИН Вадим Петрович	Формирование системы трубопроводного гидро-транспорта горных предприятий на основе метода динамической оптимизации ее параметров	05.05.06	д.т.н.
БЛОХИН Сергей Леонидович	Обоснование эффективных схем многогоризонтной отработки калийных руд Старобинского месторождения	25.00.22	к.т.н.
ИЛЬЧЕНКОВА Светлана Александровна	Снижение пылевой нагрузки на окружающую среду связыванием дисперсных материалов пылящих поверхностей на территории горных предприятий	25.00.36	к.т.н.
ПАШКИН Леонид Николаевич	Повышение эффективности системы технического сервиса горного погрузочного оборудования в условиях ОАО «Апатит»	05.05.06	к.т.н.



© С.М. Федосеев, В.Р. Ларионов,
2005

УДК 622.235.212:622.807.22

С.М. Федосеев, В.Р. Ларионов

СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО ВОДОПРИТОКА В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ЧЕРЕЗ ГЛИНОЦЕМЕНТНУЮ

Лабораторная установка для исследования зоны оттеснения пластовой воды в пористой среде: 1 – баллон газовый с редуктором, 2 – входной вентиль, 3 – термостат, 4 – манометр на входе (P_1), 5 – камера высокого давления, 6 – съемные пробоотборники, 7 – резиновый уплотнитель, 8 – редукционный клапан, 9 – вентиль выпускной, 10 – манометр на выходе (P_2)

как показала практика [1, 2] обработки карьера «Мир» открытым способом традиционный метод цементации не позволяет полностью устранить водопиток в горную выработку, ввиду микротрещинной и поровой проницаемости пород. Остаточный водопиток через ПФЗ (проскок) составил $1100 \text{ м}^3/\text{ч}$, что превысил проектный в 4-5 раз. В инженерной геологии известно, что применение цементации неэффективно в тех случаях, когда размеры (раскрытие) трещин и пор в горных породах меньше $0,15\text{--}0,20 \text{ мм}$, так как в такие трещины и поры не проникает цемент даже наиболее мелкого помола ($30\text{--}50 \text{ микрон}$) [3].

Вместе с тем, низкие температуры ($-0,7\div -2,0 \text{ }^\circ\text{C}$), высокие пластовые давления (до $3,5 \text{ МПа}$) метеоро-ичерского водоносного горизонта создают благоприятные условия для управления физико-механическими свойствами горных пород путем насыщения микротрещин и пор молекулярными соединениями включения – водными клатратами. При этом синтез водных клатратов (кристаллогидратов газов) осуществляется непосредственно в массиве, в поровом пространстве горных пород, с использованием естественных условий пласта и природных материалов. Газы обладают проницаемостью на несколько порядков выше, чем цементационный раствор и легко проникают в микротрещины и поры (вязкость газов порядка 10^{-6} , воды и водных растворов – 10^{-3} , цементационных растворов $1,0\div 100 \text{ Па}\cdot\text{с}$), куда не проникает цементационный раствор. В отличие от льда при образовании

гидратов вода переходит в твердое кристаллическое состояние и при положительных температурах, в зависимости от давления и состава газов, образующих с ней гидраты [4].

При создании ПФЗ глинисто-цементный раствор заполняет трещины и поры с раскрытием более $0,1 \text{ мм}$ (10^{-4} м). Известно, что в порах и микротрещинах с размером менее 10^{-8} м вода не передает гидродинамическое давление и для преодоления капиллярных сил в пластах требуются огромные перепады давлений, порядка десятков и сотен МПа/м, что превышает все естественные и искусственные перепады [5].

Таким образом, для устранения остаточного водопитока необходимо залечивать поры с радиусом $10^{-8} < r < 10^{-4} \text{ м}$. В порах с радиусом более 10^{-8} термобарические условия гидратообразования практически не отличаются от условий гидратообразования в свободном объеме [6].

Способ осуществляется следующим образом. Тампонируемый материал (природный газ) предполагается нагнетать на водоносный горизонт по тем же скважинам, по которым нагнетают глиноцементный раствор. Газ целесообразно нагнетать после залечивания трещин и пор глиноцементным раствором с раскрытием более $0,1 \text{ мм}$. В таком случае поровый состав массива горных пород сужается и уменьшается вероятность утечки газа в пласт по трещинам. Газ-гидратообразователь нагнетают под давлением выше пластового и заполняют зону тампонирующего (ореол гидратообразования). Ореол гидратообразования представляет собой зону оттеснения пластовой воды от ствола скважины где создается условие максимального контакта газа-гидратообразователя с остаточной водой.

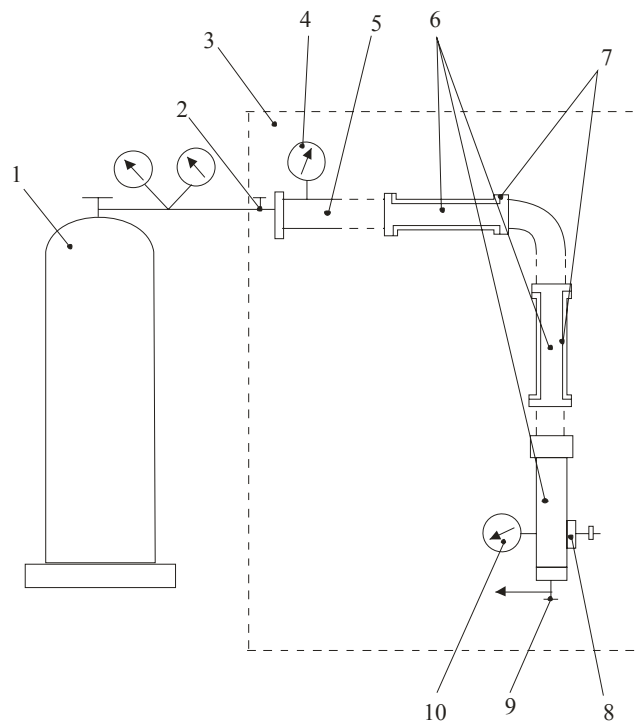
Возможны два варианта создания ореола гидратообразования. Первый вариант предусматривает оттеснение пластовой воды негидратообразующим (при данных Т-Б условиях) газом, например воздухом. Во втором варианте зона оттеснения создается с учетом времени оттеснения пластовой воды и

времени перехода газа в гидрат. При этом время оттеснения пластовой воды должно быть меньше времени гидратообразования ($t_{оттесн. воды} < t_{гидр. образ.}$). В противном случае гидрат будет образовываться вокруг устья скважины мешая расширению ореола гидратообразования, ввиду уменьшения проницаемости пород за счет насыщения пор гидратами.

Экспериментальные исследования

Рассмотрим создание ореола гидратообразования оттеснением пластовой воды газом-гидратообразователем с учетом времени перехода газа в гидрат. Природный газ Северо-Нельбинской ГКП (состав; $CH_4 - 70,63$, $C_2H_6 - 17,91$, $C_3H_8 - 2,10$, $C_4H_{10} - 1,48$, $N_2 - 7,64$, $O_2 - 0,23$ об %, молекулярный вес 20,67) с пластовой водой в интервале температур $-0,7$ °C ÷ $-2,0$ °C образует гидрат структуры КС-2 при давлении 1,8–1,5 МПа [6].

Для упрощения физического моделирования зону оттеснения пластовой воды можно представить в виде радиально направленных пучков от призабойной зоны (стенки) скважины. Моделирование процесса гидратообразования в дисперсных



средах проводилось в нестационарных условиях на длинном макрообъекте, что строго не требует прибегнуть к критериям подобия. Целью проводимых исследований является установление соотношения времени гидратообразования и оттеснения воды и определение гидратонасыщенности горных пород в зоне оттеснения пластовой воды,

Для лабораторных исследований собрана установка, которая иллюстрирована на рис. 1. Образцы горной породы метегерской и ичерской свит (доломиты, мергеля, песчаники в соотношении 1:1:1) измельчают и отбираются фракции; 0,200-0,315; и 0,315-0,400 мм. Каждая фракция вибрацией и трамбованием уплотняется в камеру высокого давления 5.

Камера представляет собой резиновый шланг высокого давления с диаметром 0,02 и длиной 20 м. Рабочий объем шланга 6280 см³. Стенки трубки замазаны глиной для предотвращения проскальзывания газа вдоль стенок. По длине шланга размещены съемные металлические пробоотборники 6 с резиновыми уплотнителями 7. Объем пробоотборников $V_{\text{пробоотборник}} = 94 \text{ см}^3$. В конце трубки установлен редукционный клапан 8, который поддерживает на выходе определенное постоянное давление.

Для определения времени оттеснения воды направленный в трубку образец горной породы под вакуумом полностью насыщается пластовой водой через вентили 2 и 9. Водонасыщение продолжается до окончательного удаления воздуха из образца и замеряется объем поглощенной образцом воды $V_{\text{водонасыщение полное}}$. Затем образец термостатируют при температуре -1 °С. Количество остаточной воды после вытеснения воды газом из образца и время полного оттеснения воды из образца определяют при различных перепадах давления ΔP . Перепад давлений ΔP устанавливается по разнице показаний образцовых манометров 4 и 10. При этом давление на выходе камеры устанавливается близким пластовому 2,0 МПа. Время оттеснения пластовой воды устанавливают по окончанию истекания воды из образца, а количество остаточной воды по разнице объемов поглощенной и вытекшей воды. Для предотвращения гидратообразования во время замеров времени оттеснения и количества остаточной воды в образце оттеснение производят сжатым воздухом. Резуль-

таты замеров приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что чем выше перепад давления, тем меньше время оттеснения воды и количество остаточной воды в образце. Для получения ореола гидратообразования с определенным радиусом необходимо выполнение условия $t_{\text{гидратообразования}} \geq t_{\text{оттеснения}}$. При $t_{2,0} < t_{\text{оттесн.}}$ Образование гидратов происходит в ореоле с небольшим радиусом, ввиду снижения проницаемости пород за счет образования гидратов в призабойной зоне.

При ореоле гидратообразования с радиусом 20 м у образцов данное условие выполняется при перепадах давлений выше 0,25 МПа/м для фракции 0,2 – 0,315 мм и 0,1 МПа/м для фракции 0,315 – 0,4 мм. При этом время перехода газа в гидрат в пористой среде взято из [7].

Определение гидратонасыщенности пор в зоне оттеснения воды проведены в области давлений выше равновесного гидратообразования при температуре -1 °С. Давление на выходе устанавливается равным 2,0 МПа. Оттеснение воды осуществляется при перепаде давления 0,35 МПа/м, для обеих фракций, что соответствует условию ($t_{\text{оттесн. воды}} < t_{\text{гидр. образ.}}$). По мере образования кристаллов газового гидрата в пористой среде уменьшается ее проницаемость, а в конце эксперимента в результате образования водонепроницаемой среды выход оттесненной воды через вентиль (10) полностью прекращается. Полученный гидратонасыщенный образец выстаивается при той же температуре в течение суток.

После окончания эксперимента из

Таблица 1
Зависимость количества остаточной воды в образце от перепада давлений

Фракция, мм	$K_{\text{пор}}$, %	$V_{\text{вод. полн.}}$, см ³ при полном водонасыщении	$V_{\text{остаточной воды, см}^3} / \text{время оттеснения t, ч}$ при ΔP , МПа/м				
			0,05	0,1	0,15	0,25	0,35
0,2–0,315	30,0	1900	1450/36	1168/18	900/12	855/7,2	820/5
0,315–0,4	28,0	1810	1048/11	850/4,8	720/3,3	630/2,2	580/1,5

пробоотборников, расположенных на разных расстояниях от входного вентиля, отбираются образцы, которые помещаются при комнатной температуре и измеряется количество выделившегося гидратного газа ($V_{гидр.газ}$). Взвешиванием образца до и после высушивания (+110 °С) определяется количество остаточной воды $m_{ост.воды}$ в данных участках образцов. Водонасыщенность пор определяется с учетом объема пробоотборника и пористости образца

$$\sigma = \frac{m_{ост.воды} / \rho_{воды}}{V_{пробоотбор.} \cdot K_{пор.}} \quad (1)$$

Из соотношения количества, выделившегося после разложения гидрата газа (мл.) и воды (г.) в образце определяется гидратное число n

$$n = \frac{m_{воды}(\varepsilon) \cdot 22400}{18 \cdot V_{гидр.газ}(\text{мл})} = 7,5 \quad (2)$$

Гидратонасыщенность (β) определяется из формулы для определения водонасыщенности пор (σ), приведенной в работе [8] с учетом того, что после разложения гидрата в образце не присутствует лед,

$$\beta \approx \frac{\sigma \rho_{воды}}{(1 - \varepsilon) \rho_{гидрат}} \quad (3)$$

где $\rho_{воды}$ – плотность воды равная 1000 кг/м³, $\rho_{гидрата}$ – плотность гидрата данного природного газа при $n = 7,5$ равна 930 кг/м³, ε – масса газа в единице массы гидрата, определяемое по формуле [9];

$$\varepsilon = \frac{M}{nN + M} \quad (4)$$

где σ – остаточная водонасыщенность; M

– молярный вес газа- гидратообразователя, равный 20,67; N – молекулярный вес воды равный 18 г.; n – гидратное число, определяемое из экспериментальных данных по формуле (2) равное 7,5.

Зависимость гидратонасыщенности от содержания остаточной воды в зоне оттеснения при перепаде давлений 0,35 МПа/м приведена в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что за зоной оттеснения на расстоянии 20,0 м. от точки подачи газа-гидратообразователя наблюдается полная водонасыщенность и отсутствие гидратов. В начале камеры высокого давления (2,0 м) внутри зоны оттеснения из-за меньшего содержания свободной воды в поровом пространстве проявляется меньшая гидратонасыщенность. В конце зоны оттеснения (18,0 м) содержание остаточной воды в порах увеличивается и соответственно гидратонасыщенность повышается. С уменьшением размера фракции (0,2–0,315 мм) гидратонасыщенность в поровом пространстве увеличивается. В этом случае содержание остаточной воды определяется удельной поверхностью породы, которая повышается с уменьшением размеров зерен. Средний расчетный радиус пор данных фракций образцов составляет фракций (15 – 21)·10⁻⁵ м. Такой размер пор не оказывает заметного влияния на равновесные параметры гидратообразования.

Расчет необходимого количества газа-гидратообразователя

Оценим количество необходимого газа-гидратообразователя для тампонирувания породного массива с объемом $V_{массив.}$ и пористостью $K_{пор.}$. Из формулы гидрата $M \cdot nH_2O$ явствует, что на 1 моль

Таблица 2

Зависимость гидратонасыщенности (β) от водонасыщенности (σ)

Фракция, мм	Расстояние, м от точки подачи газа									
	2,0		6,0		12,0		18,0		20,0	
	σ	β	σ	β	σ	β	σ	β	σ	β
0,2–0,315	0,23	0,29	0,30	0,37	0,56	0,69	0,64	0,80	1,0	0
0,315–0,4	0,17	0,21	0,27	0,33	0,45	0,56	0,53	0,66	1,0	0

газа-гидратообразователя приходит п молей воды. Объем одного моля газа равен 22400 мл, а молекулярный вес воды равен 18 г. Тогда объем необходимого газа-гидратообразователя будет

$$V_{\text{газа-гидр.}} = 22400 \cdot \frac{V_{\text{массива}} \cdot K_{\text{пор.}} \cdot \sigma}{18 \cdot n}, \quad (л) \quad (5)$$

Например, для тампонирования 1 м³ горного массива с пористостью 0,3 и водонасыщенностью 0,64 (см. табл. 2) при гидратном числе 7,5 необходим объем газа

$$V_{\text{газ-гидр.}} = 22400 \frac{1 \text{ м}^3 \cdot 0,3 \cdot 0,64}{18 \cdot 7,5} = 31,85 \text{ м}^3$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заключение по оценке эффективности сооружения тампонажной завесы на карьере «Мир». – Москва: Союзводпроект, 1990.
2. Основные сведения о месторождениях «Мир», «Айхал» и «Удачная». /Якутнипроалмаз. – Мирный, 2001. – 37 с.
3. Коломенский Н.В. Инженерная геология. – М.: Госгеоиздат, 1951. – 283 с.
4. Бык С.Ш., Макагон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. – М.: Химия, 1980. – 296 с.
5. Кобранова В.Н. Петрофизика. – М.: Недра, 1986. – 392 с.
6. Черский Н.В., Царев В.П., Михайлов В.А. Роль зон гидратообразования в формировании ресурсов природных газов и оценка возможности эксплуатации газогидратных залежей //Поиски и оценка ресурсов газа в газогидратных залежах. – Якутск, 1978. – С. 3-68.
7. Ларионов В.Р., Федосеев С.М., Иванов Б.Д. Перспективы практического использования газовых гидратов в горном деле. – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 1993. – 224 с.
8. Веригин Н.Н., Хабибуллин И.Л., Халиков Г.А. Линейная задача о разложении гидратов газа в пористой среде. Изв. АН СССР Ю МЖГ, 1980, №1, с.174-177.
9. Бондарев Э.А., Бабе Г.Д., Гройсман А.Г., Каниболотский М.А. Механика образования гидратов в газовых потоках. – Новосибирск: Наука, 1976. – 200 с.

Коротко об авторах

Федосеев С.М. – научный сотрудник,
Ларионов В.Р. – кандидат химических наук, ст. научный сотрудник,
лаборатория обогащения полезных ископаемых, Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.



© В.К. Костенко, Д.А. Макеева,
А.Е. Кольчик, 2005

УДК 622.794

В.К. Костенко, Д.А. Макеева, А.Е. Кольчик

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК, РАЗМЕЩАЕМЫХ НА ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ

Земельные отвалы горнодобывающих предприятий в Донецком регионе занимают 24 тыс. гектаров пригодных для сельскохозяйственной обработки земель, из которых на 4,3 тыс. работы прекращены и территории подлежат рекультивации. Трудоемкий, проблемный с экологической точки зрения процесс рекультивации весьма дорог поэтому площади неиспользуемых земель не сокращаются.

Наибольший вред ландшафту нанесен отсыпкой конических отвалов, высота которых колеблется от 20 до 110–120 м. Эти отвалы наиболее склонны к самовозгоранию, наименее пригодны для использования. Поэтому начата перепланировка и переформирование в плоские не действующих конусных отвалов. Эта мера позволяет улучшить условия длительного хранения отвальной массы, однако не решает проблему использования породы и рекультивации земель. Одним из перспективных методов рационального использования площадей переформированных отвалов может быть размещение на них ветроэнергетических установок (ВЭУ) [1].

Практика получения электроэнергии с помощью ветроэлектростанций (ВЭС) в степных районах Украины и за рубежом позволила выявить ряд присущих им недостатков. Это отчуждение значительных территорий для размещения ВЭУ; генерирование шума и инфразвуковых колебаний, негативно влияющих на здо-

Рис. 1.- Схема ВЭС: 1 - ВЭУ; 2 - трансформатор; 3 - линия электропередачи; 4 - потребитель электроэнергии; L - расстояние от ВЭУ до потребителя; h - высота мачты ВЭУ

ровье людей [2], что делает необходимым создание санитарно-защитных зон, риск механических разрушений лопастей с большим возможным радиусом разлета обломков. Высота мачт ВЭУ $h = 50\text{--}80$ м и более из-за больших размеров лопастей и необходимости размещения их за пределами околосреднего пограничного слоя с низкой скоростью ветра. Вышперечисленное обуславливает удаление станций от потребителя ($L \geq 5$ км), что в свою очередь определяет существенные потери при передаче энергии (рис. 1). Для постройки ВЭУ, необходимы участки земель с наилучшей ветровой нагрузкой (как правило, водоразделы), кроме того, удаленные от зданий и лесонасаждений, определяющих увеличение высоты околосреднего пограничного слоя. Такие земельные ресурсы в Украине ограничены, что сдерживает развитие ветроэнергетики и улучшение экологической обстановки.

Одной из главных особенностей использования энергии ветра для получения электричества является то, что, энергоноситель рассеян на сравнительно больших площадях и его характеристики не являются постоянными по времени и неравномерно распределены в пространстве. Основными факторами, влияющими на эффективность выработки электрической энергии с помощью ВЭС, является рельеф местности и постоянство

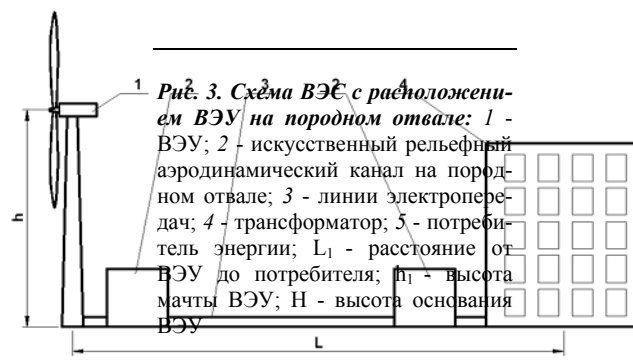
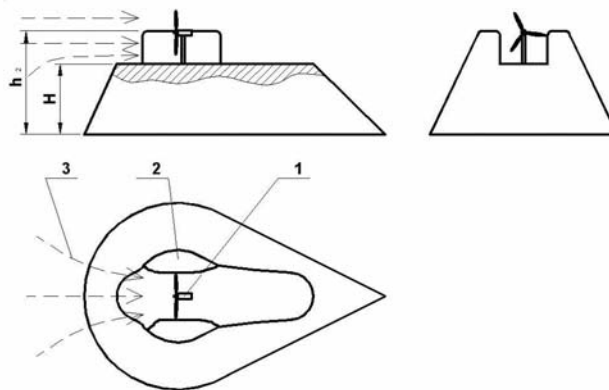


Рис. 3. Схема ВЭС с расположением ВЭУ на породном отвале: 1 - ВЭУ; 2 - искусственный рельефный аэродинамический канал на породном отвале; 3 - линии электропередач; 4 - трансформатор; 5 - потребитель энергии; L_1 - расстояние от ВЭУ до потребителя; h_1 - высота мачты ВЭУ; H - высота основания отвала

Рис. 2. Расположение ВЭУ на искусственном рельефе: 1 - ВЭУ; 2 - аэродинамический канал воронкообразной формы; 3 - ветровой поток; h_2 - высота породного отвала; H - высота основания ВЭУ



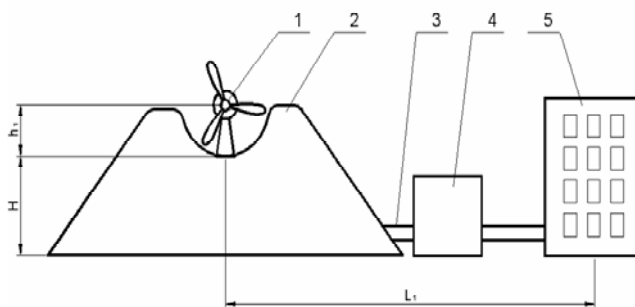
преобладающих ветров [3]. Известно, что в горных районах ветрогенераторы устанавливаются в ущельях со стабильно высокими скоростями ветра.

Для работы ВЭУ современного технического уровня используются районы со среднегодовыми скоростями ветра 5 м/с и больше, при высоте мачты флюгера равной 10 м, а оптимальный режим выработки электроэнергии обеспечивается в диапазоне скоростей 10–15 м/с. В Украине преобладающая скорость ветра составляет от 0 до 5 м/сек (70–90 %). На плато плоских породных отвалов высотой $H = 40$ метров она несколько выше – 0–6 м/сек [4], что свидетельствует о целесообразности оборудования на них ВЭС, но стабильный и эффективный режим работы при этом не будет гарантирован.

Можно обеспечить стабильные и высокие технико-экономические показатели работы ВЭС за счет концентрации энергии ветрового потока в воронкообразном рельефе отвала. Такая конфигурация отвальной поверхности позволяет увеличить скоростную составляющую естественного ветрового потока и приблизить ее значение к оптимальному для работы ВЭУ (рис. 2).

Размещение ВЭС на породных отвалах (рис. 3) позволит комплексно устранить ряд недостатков, свойственных традиционным равнинным ВЭС, решить некоторые экономические и экологические проблемы:

- уменьшить первоначальные затраты на электросиловое оборудование, при использовании шахтных трансформаторов и линий электропередач;
- рационально использовать площади плоских породных отвалов и существующих санитарных и механических защитных зон;
- приблизить источник энергии к потребителю снизить потери энергии;
- снизить металлоемкость ветроэнергетических конструкций, т.к. не требуется возводить высокую мачту для ветрогенераторов;
- высвободить пахотные земли, занимаемые ныне ветроэнергетическими станциями;
- оптимально использовать преобладающие ветровые потоки над уровнем городской застройки;
- обеспечить рассеивание или гашение в рыхлой среде инфразвуковых колебаний.



В экологическом плане развитие ветроэнергетики в Украине создает перспективы уменьшения уровня приме-

ния ископаемого топлива, за счет чего уменьшаются объемы вредных выбросов и загрязнения окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перспективы* развития горных технологий в начале третьего тысячелетия. Сборник научных трудов. – Алчевск: ДГМИ, 1999. – 288 с.
2. Екологія і економіка: навч. посібник. – К.:КНЕУ, 1999. – 368 с.:іл.
3. Рекомендуемые правила выбора площадок для ветроэнергетических систем. - АВА АWEA 8/2, 1993,137с.
4. Ветроэнергетика в Украине: Материалы отчета, подготовленного в рамках Датской Энергетической программы с учетом экологических аспектов для Украины, - К.:1999, 215 с.

Коротко об авторах

Костенко В.К., Макеева Д.А., Кольчик А.Е. – ДонНТУ, Донецк, Украина.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОТКРЫТЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
КАНДАУРОВ Константин Владимирович	Природоохранная мотивация горных предприятий как инструмент экономически эффективной утилизации отходов производства (на примере ОАО «Левобудинский ГОК»)	05.02.22	к.т.н.

© Е.Б. Шевкун, А.В. Лещинский,
2005

УДК 622.271: 622.235:504.3

Е.Б. Шевкун, А.В. Лещинский

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Семинар № 7

Проблема разрешения противоречий между разумом и природой выдвинута в число первых приоритетов развития человеческой цивилизации, ибо возникло понимание необходимости сохранения природы как гарантии сущест-

вования цивилизации. Человек, сознавая себя частью природы, может существовать как биологический вид только за счет ее разрушения: даже энергию и ресурсы на охрану природы человек получает путем

разрушения ее важнейшей части – литосферы [1].

Декларированная охрана природы сводится фактически к охране человека в ней, ибо опасность техногенного воздействия оценивают по нормативам, характеризующим опасность этих воздействий только для здоровья человека, а не естественной биоты Земли. Поэтому необходимо создание, на основе познания законов развития техносферы, технологий, позволяющих управлять уровнем внешних воздействий в биологически обоснованных диапазонах.

Энергия мировой индустрии развивается по исторической шкале времени и утраивает свою мощность в среднем через каждые 15 лет [2]. Масштабы и темпы развития индустрии добычи полезных ископаемых столь велики, что вызванный этим технологический прессинг на природные экосистемы приводит к их быстрому и необратимому разрушению, которое по своим масштабам постепенно принимает глобальный характер.

Применительно к проблемам освоения земных недр реализация основополагающих принципов концепции устойчивого развития достигается за счет трансформации глобального антагонистического противоречия между био- и техносферой в цепь локальных противоречий между добывающими предприятиями и реальными экосистемами, преодолеваемых путем целенаправленного выбора технологических решений, уровень внешнего воздействия которых не выходит за рамки диапазонов толерантности структурообразующих элементов биоты экосистем.

Экотехнологии освоения земных недр как технологии добычи минеральных ресурсов должны быть построены по типу процессов, характерных для природы [3], поэтому чисто биологические принципы функционирования биосистем следует трансформировать в биогенные принципы построения геотехнологии. Первый биогенный принцип организации и функционирования горного производства тре-

бует иметь замкнутый цикл обращения твердых, жидких и газообразных отходов производства и прорабатывается в виде отдельных научных, технических и технологических задач достаточно давно, но реализуется в очень малых масштабах [2].

Проблема обеспечения замкнутого цикла обращения отходов сводится к выделению загрязнителей из воздушного или водного потока и их локализации.

Подавляющее большинство горных предприятий являются источниками твердых отходов в виде пассивной пыли. Основные перспективы снижения выбросов пыли связаны с развитием технологии пылеподавления на различных стадиях добычных работ. Взрывные работы в карьерах вызывают весьма высокое загрязнение карьерной территории и окружающей среды пылегазовыми выбросами, создают ощутимые отрицательные эффекты в связи с осаждением пыли в жилых районах и на сельскохозяйственных угодьях. Установлено, что площади зон загрязнения приземной атмосферы с концентрацией пыли, превышающей ПДК, составляют $(10,9-26,5) \cdot 10^6 \text{ м}^2$, размеры зон с концентрацией пыли в 5–10 ПДК достигают 3–7 км [4].

Нагрузка на атмосферу от взрывных работ в карьере является существенной на расстоянии около 2 км от эпицентра взрыва, причем максимальная нагрузка в момент прохождения пылегазового облака возрастает в тысячи раз: от 35 000 % на расстоянии 500 м, до 90 % на расстоянии 5 км при объеме массового взрыва в 1000 т ВВ, и 1300 % и 7 % соответственно при объеме массового взрыва в 200 т [5]. Нагрузка на атмосферу в момент проведения массовых взрывов является значительной даже на большом расстоянии от источника, возрастая с увеличением одновременно взрываемого ВВ. На расстоянии 5 км от центра взрыва при увеличении количества ВВ в 5 раз нагрузка возрастает в 12 раз.

Анализ известных способов и путей снижения вредного воздействия массовых

взрывов на окружающую среду показывает, что до настоящего времени эффективные способы и средства борьбы с пылегазовым облаком и оседающей от него пыли пока не найдены.

В [6] предложены и сформулированы основные положения научной концепции ударно-волнового подавления пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьере, которая в частности включает:

- научное обоснование применения на карьерах взрывных работ с малой мощностью зарядов ВВ;

- рассмотрение пылегазового облака (ПГО) как единого объекта, состоящего из оболочки, теплового и пылевого эпицентра, развитие и изменение которого в первом приближении подчиняется законам теории свободных струй;

- применение технических средств и создание гидроимпульсной техники для активного подавления эпицентра ПГО в момент его зарождения в карьере, т. е. в период первых 100–250 мс процесса.

Все известные технические решения можно условно отнести к пассивным способам защиты окружающей среды при взрывах в карьерах и разделить на следующие три группы:

- 1) способы предупреждения образования ПГО: применение малогазовых типов ВВ и управление действием взрыва, повышение прочности забойки скважин, снижение массы заряда ВВ в скважине, снижение числа взрывных скважин блока, снижение величины перебура в скважине, уменьшение диаметра скважин и т. д.;

- 2) способы подавления ПГО: выполнение гидравлической и гидрогелевой забойки скважин, гидравлическое орошение и покрытие взрываемого блока пеной, подавление ПГО водовоздушными струями карьерных вентиляторов и пр.;

- 3) способы утилизации ПГО: гидравлическое обеспыливание, пылеулавливание и дегазация взорванных блоков.

Предложены ударно-волновые способы активного подавления ПГО, включающие:

- воздействие на ПГО ударными волнами от встречно взорванных дополнительных зарядов ВВ в специальных контейнерах с теплопылегазоподавляющими агентами, которые вводятся в эпицентр ПГО встречным взрывом;

- направленный выстрел в облако для введения подавляющих агентов;

- активное (взрывное) распылением агентов в зону эжекции ПГО и использование эффекта самоподавления облака.

Прошли испытания установки, позволяющие сделать залповый выброс жидких агентов массой от 2 до 20 т в эпицентр ПГО в течение 250 мс на дальность до 100 м со скоростью 150 м/с [7].

Разработан способ активного подавления пылегазового облака [8] путем использования одновременно нескольких технических устройств залпового высоконапорного выброса жидкого агента в эпицентр ПГО в момент его зарождения и формирования над взорванным блоком в карьере. Жидкие агенты: воду, гидрогель, ПАВ и др. – направляют навстречу друг другу, соударяют и диспергируют в эпицентре зарождающегося ПГО, что должно обеспечить охлаждение эпицентра и нейтрализацию ПГО. Устройства располагают вокруг взрываемого блока напротив друг друга на одинаковом расстоянии от центра взрываемого блока.

Специальные гидростволы изготавливают из труб большого диаметра с зарядной камерой, чтобы действием пороховых газов или сжатого воздуха выбрасывать агент. Испытанием способа принудительного осаждения пыли водой с поверхностно-активными веществами в тонкораспыленном состоянии установлена принципиальная возможность пылеподавления при массовых взрывах путем принудительной обработки пылегазового облака диспергированными потоками жидкости, импульсно выбрасываемыми посредством пороховых зарядов [8]. Для этого применена гидроимпульсная установка, выбрасывающая поток воды из емкостей объемом 1,37 м³ пороховыми зарядами массой

22 кг. Дальнобойность водяных потоков достигает 90–100 м, ширина зоны эффективного пылеподавления 60–70 м.

В [9] предложено осажать пыль над местом взрыва и нейтрализовать ядовитые газы взрыва за счет целенаправленного насыщения пылевого облака взрыва водой и водной суспензией известняка путем размещения внутри скважинного заряда ВВ, в его верхней части, емкостей с водой объемом 10–15 л. Осаждение 90–95 % пыли происходит в течение 5 мин практически над местом взрыва, кроме того, осажается почти 90 % ядовитых газов.

Однако все предложенные способы подавления пылегазового облака имеют существенные недостатки: необходимость использования специальных устройств для выброса подавляющих агентов с высокой точностью синхронизации их работы с моментом массового взрыва. Применительно к традиционно взрываемому на карьере МГОКа блоку с объемом 80 тыс. м³ для эффективного пылеподавления потребуется 3–4 установки. Главный же недостаток – пыль, осажденная таким путем на поверхность горной массы, затем снова поднимается ветром в воздух и разносится на большие расстояния.

Один из наиболее эффективных путей подавления пылегазовых выбросов на месте взрыва – взрывание горных пород в зажиме, поскольку значительная доля таких выбросов улавливается взорванной горной массой как фильтром. Так, в [10] приводятся сведения о проведении опытно-конструкторских работ по созданию дешевых систем очистки выхлопных газов технологического автотранспорта с использованием в качестве фильтрующего материала перевозимой в кузове горной массы, за счет чего достигается полная очистка от сажи, альдегидов и улавливается до 70 % оксидов азота.

Радикальное решение проблемы ликвидации пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьере может быть достигнуто с помощью технологии, базирующейся на принципиально новом под-

ходе к буровзрывным работам – разрушение горных пород осуществляется небольшими (2–5 тыс. м³) объемами послойным (сверху вниз) взрыванием горизонтальных скважинных зарядов уменьшенного (50–105 мм) диаметра с предварительным щелеобразованием по контуру взрываемого объема под мобильным укрытием с демпфирующими элементами [11].

Основной элемент новой технологии – демпфирующий щит на самоходной установке. При массе каждого заряда верхнего взрываемого слоя горных пород в 7 кг (при ширине щита 5 м) и 15 кг (при ширине щита 10 м) демпфирующим щитом с массой горизонтальной рамы 16–35 т исключается разлет горной массы объемом 150–300 м³. Численными исследованиями процессов взаимодействия в системе “заряд ВВ – массив горных пород – демпфирующий щит” установлено, что раздробленный слой горных пород в 8–9 раз снижает энергию проходящего через него взрывного импульса. Аналогичные показатели получены при экспериментальном замере ослабления волн экранирующим слоем раздробленных пород в массиве [12]. Поэтому демпфирующий щит работает на поглощение энергии только при взрывании верхнего слоя пород. Для нижележащих слоев (объемом 300–500 м³) уже взорванный верхний слой является пригрузкой, исключая разброс их горной массы. Небольшие объемы взрываемых блоков (2–5 тыс. м³) и контурная щель снижают размеры сейсмоопасной зоны взрыва до 30 м и позволяют вести ежесменное взрывание для каждого экскаватора без остановки горных работ на массовый взрыв.

Пылегазовый выброс взрыва улавливается специальным устройством, размещенным на мобильной установке [13]. Пылегазовый поток из массива при взрыве верхнего слоя поступает через зазоры между секциями щита укрытия в замкнутое пространство под эластичный кожух и далее – по гибкому пылепроводу – в вихре-

вой пылеуловитель, способный улавливать залповые выбросы пыли с содержанием до 400 г/м^3 [14], где происходит его очистка от пыли. Очищенный от пыли газовый поток с ядовитыми газами продуктов взрыва, содержащими оксиды углерода и азота, поступает в адсорбер, где эти газы улавливаются и чистый воздух выбрасывается в атмосферу. Очистку воздуха от оксидов азота и углерода возможно проводить, используя как искусственный сорбент - цеолит, с заведомо заданными свойствами, так и природные модифицированные цеолиты. При взрыве нижележащих слоев значительная часть пыли улавливается раздробленной горной массой и часть газов сорбируется ею.

Таким образом, в предлагаемой технологии реализуются принципы первой группы способов защиты окружающей среды при взрывах в карьерах – повышение прочности забойки скважин (забойка удерживается от вылета массой установки), снижение массы заряда ВВ в скважине (до 7–15 кг вместо 500–1500 кг), снижение числа взрывных скважин блока, снижение величины перебура в скважине (применение контурной щели позволяет иметь взрывные скважины с недобуром в 10 диаметров), уменьшение диаметра скважин. Особенно важна реализация принципов третьей группы способов, а именно улавливание пыли и нейтрализация ядовитых газов – эта пыль уже не будет вновь уноситься ветром в атмосферу. Присутствует и эффект подавления пылегазовых выбросов на месте взрыва – взрыванием горных пород в зажиме (взрывание под укрытием сохраняет взорванную горную массу на месте).

Технология не имеет аналогов в мировой практике. Она позволяет также свести к минимуму развал горной массы, обеспечить дробление горных пород с размером кондиционного куска в 200–300 мм с сохранением в горной массе первичных контактов руд с пустыми породами, исключить обводненность взрывных скважин. За

счет этого карьер можно перевести на поточную технологию горных работ с селективной выемкой руд, конвейерным транспортом от забоя до поверхности, свести к минимуму объемы текущих вскрышных работ, обеспечить эффективную расконсервацию бортов глубоких карьеров при их реконструкции, эффективно вести буровзрывные работы в запретных зонах и т.д.

Экологические преимущества новой технологии заключаются в полной ликвидации пылегазовых выбросов при взрывании и тем самым загрязнении сельскохозяйственных угодий в окрестностях карьера, оздоровлении атмосферы карьера заменой технологического автотранспорта конвейерным. Предотвращается загрязнение подземных вод в зоне карьера растворенными компонентами ВВ, которые обычно вымываются проточными водами из вертикальных скважинных зарядов в обводненных массивах (при нахождении ВВ в заряде в течение нескольких суток). При новой технологии в горизонтальных скважинах вода не скапливается, ее поступление из массива предотвращается контурной щелью и растворение ВВ не происходит.

Таким образом, переход на новую технологию БВР в карьерах создает реальные концептуальные предпосылки для совершенствования технологии открытых горных работ: создаются благоприятные санитарно-гигиенические условия в глубоких карьерах и их окрестностях на базе нового способа разрушения массива горных пород, не требующего широких рабочих площадок. Это позволяет сделать еще один шаг в направлении реализации первого биогенного принципа организации и функционирования горного производства и создать принципиально новый облик карьера - с поточными технологиями подготовки горных пород к выемке, их выемки и транспорта с существенно меньшим уровнем внешнего воздействия на окружающую среду и.

1. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П. Противоречия современной геоэкологии и пути их разрешения // Физические проблемы разрушения горных пород / Сборник трудов Третьей международной научной конференции 9-14 сентября 2002 г. Абаза (Хакассия). Новосибирск: "Наука", 2003. С. 30-35.
2. Галченко Ю.П. Экотехнология освоения земных недр // Физические проблемы разрушения горных пород / Сборник трудов Третьей международной научной конференции 9-14 сентября 2002 г. Абаза (Хакассия). Новосибирск: "Наука", 2003. С. 219-226.
3. Реймерс Н.Ф. Природопользование. – М.: Мысль, 1990. – 638 с.
4. Оценка влияния выбросов и сбросов вредных веществ карьеров и фабрик ГОКов Кривбасса на окружающую среду / П.В. Бересневич, Ю.Г. Вилкул, В.Г. Лосев и др. // Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов: Доклады 2-й научно-технической конференции. - М.: МГГУ, 1995. - С. 30-33.
5. Папичев В. И. Нагрузка горного предприятия на основные компоненты природной среды // Физические проблемы разрушения горных пород / Сборник трудов Третьей международной научной конференции 9-14 сентября 2002 г. Абаза (Хакассия). Новосибирск: "Наука", 2003. С. 235-237.
6. Зберовский А. В. Проблема загрязнения окружающей среды при взрывных работах в карьерах // Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов: Докл. 2-й науч.-техн. конф. – М.: МГГУ, 1995. – С. 160–161.
7. Дубей В. В. Способ защиты окружающей среды при массовых взрывах в карьерах // Экологические проблемы горного производства, переработка и размещение отходов: Докл. 2-й науч.-техн. конф. – М.: МГГУ, 1995. – С. 98.
8. Разработка способа и технических средств пылеподавления при массовых взрывах на карьере Михайловского ГОКа / А. И. Дремин, А. И. Перепелицын, В. И. Мочалов и др. // Горный журнал. – 1996. – № 5. – С. 53–55.
9. Новиков И. В. Обоснование и разработка способа пылеподавления с реализацией процесса насыщения водой пылевого облака при взрывных работах на карьерах. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2002. – 16 с.
10. Силаев В. В. Проблемы аэрологии карьеров // Горный журнал. – 1994. – № 8. – С. 52–54.
11. Шевкун Е.Б. Взрывные работы под укрытием. – Хабаровск: ХГТУ, 2004. – 202 с.
12. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. - М.: Недра. 1976. - 271 с.
13. Самоходная установка для укрытия мест взрыва: Патент № 2125233 (РФ) / Е.Б. Шевкун, В.И. Мирошников, С.В. Чередников, Н.А. Леоненко. – № 97112231/03; заявл. 24.07.97; опубл.20.01.99. –Бюл. № 2. – 5 с.
14. Устройство для сухого пылеулавливания при термическом бурении: А.С. № 1761948 (СССР) / А.С. Латкин, Е.Б. Шевкун. – № 4821055/03; заявл. 29.03.90; опубл. 15.09.92. – Бюл. № 34. – 3 с.

Коротко об авторах

Шевкун Евгений Борисович – доктор технических наук, профессор,
 Лецинский Александр Валентинович – кандидат технических наук, доцент,
 кафедра «Строительные и дорожные машины», Хабаровский государственный технический университет (ХГТУ).



Ю.А. Мамаев, Л.Т. Крупская, Б.Г. Саксин, М.Б. Бубнова

**РЕГИОНАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ
ЗОЛОТОДОБЫЧИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЯХ
БАССЕЙНА р. АМУР**

Семинар № 7

Бассейн р. Амур занимает исключительное географическое положение и будет играть значительную роль в экономическом развитии восточной части России в XXI веке. Приамурье обладает огромными запасами различных природных ресурсов, включая многочисленные месторождения полезных ископаемых. Однако используются они в недостаточной мере по причине низкой степени освоенности региона, обусловленной рядом разнообразных проблем – экономических, природных, геополитических, межгосударственных, региональных. Тем не менее, процесс хозяйственного освоения территории бассейна, в котором заметную роль играет горнопромышленный комплекс, неуклонно возрастает. Это порождает существенно обострившуюся в последние годы проблему общего загрязнения р. Амур. В связи с этим особую актуальность приобретают фундаментальные исследования закономерностей развития природной среды бассейна, результаты которых необходимы для развития теоретических представлений о закономерностях функционирования речной системы планетарного уровня. Потребность в глубоких научных разработках обусловлена также решением на этой основе многих прикладных задач, в т.ч. связанных с горнодобывающей промышленностью. Поэтому целью исследований явилось определение масштабов и изучение закономерностей негативного воздействия гор-

ного производства на почвы и биоту в бассейне р. Амур для обеспечения экологической и социальной безопасности. Проводились маршрутные исследования, направленные на систематизацию и классифицирование техногенных ландшафтов с использованием почвенно-картографических методов, заложения опорных профилей и отбора проб почвогрунтов, растительности, донных отложений, отходов обогащения. Важным методическим отличием наших исследований является получение сопоставимого материала по разным типовым объектам горного производства. В процессе изучения данной проблемы были использованы современные инструментальные и традиционные физико-химические, химические, ландшафтно-экологические методы. Осуществлялся сбор биогеохимической, геолого-вещественной, картографической, природно-экологической информации по золотороссыпным и золоторудным месторождениям. Выполнены экспериментальные исследования по генетическим последствиям действия техногенных факторов на растительность (Паушева, 1984; Горовая, 2000). Экспедиционные работы в зоне влияния горных предприятий бассейна р. Амур проведены в 2003-2004 гг. Они планировались с таким расчетом, чтобы получить сопоставимый материал, который позволил бы решить следующие задачи региональной экологии: 1) совершенствование методики прогноза возможных

экологических последствий, связанных с горными работами; 2) разработка методов использования естественных и искусственных макробарьеров для предотвращения «расползания» техногенного загрязнения по территории бассейна р. Амур; 3) поиск меры допустимого техногенного изменения биосферы и методов ее определения на основе законов живой природы; 4) поиск способов экспрессного определения зон техногенного загрязнения компонентов биосферы. По комплексу предложенных нами показателей, диагностирующих состояние среды обитания в зоне влияния горного предприятия в бассейне р. Амур (а именно: видовой состав и фитоценологическая зависимость видов, состояние биоразнообразия, доля антропофильных видов в составе растительных группировок и скорость восстановления коренной растительности, элементы биологического круговорота, т.е. запасы мортмассы, ее трансформация, биохимические характеристики, а также тератологические изменения растений, уродства различных органов, связанные с геохимическими аномалиями, вес 1000 семян, цитологические и цитогенетические тест-системы, как наиболее информативные, высокочувствительные и достаточные для адекватной оценки влияния горнопромышленного объекта на экологическое состояние компонентов биосферы («ростовой тест» и тест «стерильность пыльцы»), исследуемые территории горнопромышленного освоения можно отнести к зоне повышенного экологического риска. Установлено угнетение микрофлоры (особенно бактериального комплекса) и микропедофауны. Отрицательные последствия техногенного воздействия на экосистемы заключаются не только в общем токсическом действии на живые организмы, ослаблении жизнедеятельности и преждевременной гибели отдельных особей, но и в ответной его реакции – тератогенных эффектах (уродствах, как всего растения, так и отдельных органов). Следствием техногенеза является ухудшение фи-

зиологического состояния потомства, что приводит к изменению генетического статуса популяции в целом.

Следует отметить, что собранный по единой методике материал, характеризующий многие представительные объекты горного производства Хабаровского края получен впервые. На основании проведенных экспедиционных исследований на горных предприятиях (Кербинский, Херпучинский прииски и ЗАО «Многовершинное») установлено, что опасность горного производства в бассейне р. Амур определяется техногенным загрязнением экосистем токсичными химическими элементами в подвижной водорастворимой форме.

Специфичность бассейна р. Амур состоит в весьма широком спектре загрязняющих веществ, которые присутствуют как в его водах, так и в составе руд и околорудных ореолов самых разнообразных месторождений полезных ископаемых. В связи с этим они обнаруживаются и в почвогрунтах, и растительности, и донных отложениях, и в сточных водах.

Первый этап картографических работ выполнен на примере Центральной и Восточной части бассейна (рис. 1). При этом сведения о золотоносности северо-восточного Китая нами заимствованы из работы Л.П. Карсакова и др. (1997).

Три обстоятельства вынуждают рассмотреть этот вид антропогенной деятельности в бассейне р. Амур особо: 1. Он охватывает значительные площади в левобережной части бассейна, а также приграничную правобережную часть со стороны КНР (рис. 1); 2. Кроме мощного загрязнения поверхностных водотоков (взвесь, тяжелые металлы, нефтепродукты и другие токсиканты), на территории происходит почти полное уничтожение наиболее продуктивных долинных ландшафтов; 3. В технологическом процессе при добыче золота санкционировано, или «подпольно», используются значительные объемы высокотоксичных компонентов: ртути, цианидов, роданидов, кислоты.

Рабочий макет прогнозно-экологической карты построен по методике, разработанной в ИГД ДВО РАН, которая подробно изложена в работе (Саксин, Крупская, Ивлев, 2001). Исходными материалами для построения явились опубликованные данные предшественников (Коваль и др., 1997; Карсаков и др., 1997; 2001; Саксин и др., 2001; Селезнев и др., 2000; Остапчук, 2000; Крупская и др., 2001; Сидоров и др., 2003). Как видно из рис. 2, в результате обработки известного ресурсного потенциала коренных месторождений золота на изученной территории бассейна будут сформированы две провинции: 1) Зее – Нижне-Амурская, 2) Сунгари – Северо-При-морская. В контуры указанных провинций попадает абсолютное большинство уже отработанных россыпных месторождений золота. В совокупности эти провинции займут 55 % изученной территории. Указанные таксоны состоят из более мелких иерархических подразделений – областей и районов. Площадь, занимаемая областями, составляет 23 %, районами – 4,7 %. Размеры районов варьируют от 1500 км² до 6000 км², областей – 29000 км² до 525000 км², провинций – 250000 км² – 350000 км². Подразделения ранга рудных районов на карте выделены с использованием статистически определенного расстояния внешней границы 3^{ей} зоны загрязнения, формируемой вокруг отдельного месторождения. Площадь таких таксонов в районах ранее существовавших и ныне действующих предприятий составила 2,3 % от изученной территории бассейна.

Территории россыпных узлов, которые загрязнены техногенной ртутью, составляют 10 %. Следует отметить, что информация по этому вопросу, отраженная на макете, не является полной, поскольку наладить учет скрытого применения ртути, после официального запрета использования амальгамации при обогащении золота, не представляется возможным. Участки очагов чрезвычайного и опасного ртутного загрязнения

(аномальные эмиссии ртути в окружающую среду в количестве до 10 т, по данным Ю.Ф. Сидорова, Л.Т. Крупской и др., 2003) почв и отвалов могут занимать площади от нескольких десятков квадратных метров до нескольких гектаров. В настоящее время количество подобных локальных техногенных аномалий на изученной территории достоверно не известно, поскольку места производства работ по обогащению, а также складирования отходов, неоднократно менялись. Представление о характере распространенности по площади бассейна установленных объектов подобного рода дает макет прогнозно-экологической карты (рис. 2). Перенос ртути от аномальных участков производится водами во взвешенном состоянии. По р. Бурей такой перенос зафиксирован на расстоянии 200 км, а по р. Сунгари (химкомбинат г. Гирин) – более чем на 1000 км. Вниз по течению (р. Джалинда) в донных осадках формируются вторичные источники загрязнения (содержание ртути $8 \cdot 10^{-6} \%$ до $100 \cdot 10^{-6} \%$, протяженность 5-30 км), которые перемещаются в паводки еще ниже. Таким образом, наряду с рассеиванием по воздуху, происходит расширение во времени ареала техногенного ртутного загрязнения, интенсивность которого возрастает при повторной обработке техногенных россыпей золота.

Для того, чтобы представить себе то огромное количество ртути, которое внесено в окружающую среду при добыче золота напомним, что только на территории Амурской области 400-600 т этого высокотоксичного химического элемента израсходовано (по оценкам Сидорова и др., 2003) до 30^х годов прошлого столетия, а с 1969 по 1974 гг. – 16,5 т (официальные данные). В совокупности с изложенным выше, представленный макет прогнозно-экологической карты (рис. 2) демонстрирует, что проблема ртутного загрязнения исследованной части бассейна р. Амур уже переросла из локальной в региональную.

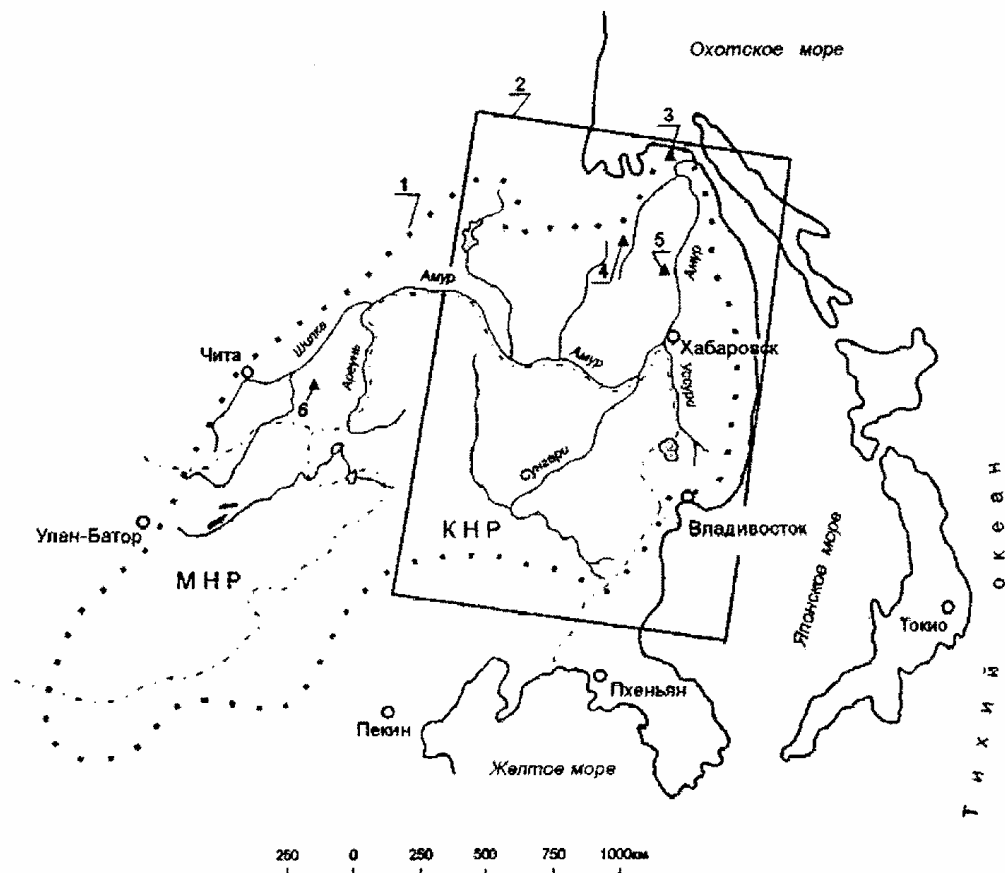


Рис. 1. Схема исследований, проведенных ИГД ДВО РАН в бассейне р. Амур в 2004 г.:

1 – обобщенный контур бассейна р. Амур; 2 – контур прогнозно-экологической карты районов добычи золота; 3-6 – участки экспедиционных работ; 3 – Нижнеамурский (месторождение Многовершинное и Б. Гора); 4 – Кербинский; 5 – Комсомольский; 6 – Балейский

Добыча золота остается приоритетным направлением экономики региона. В этой связи общая ситуация по названной проблеме будет только ухудшаться, несмотря на официальные запреты. В связи с истощением запасов россыпных месторождений золота, все больше внимания уделяется повторной обработке ранее эксплуатируемых объектов, а это приводит к активизации захороненной техногенной ртути. Нельзя не упомянуть, что на территории бассейна имеются и другие достаточно мощные источники ртутного загрязнения: агрогенные геохимические ореолы и потоки рассеяния (от сельско-

хозяйственных земель), техногенные геохимические ореолы и потоки от промышленных предприятий, ТЭЦ, бытовых свалок больших городов, природные объекты (месторождение ртути, природные геохимические ореолы и потоки рассеяния). Данные некоторых исследователей (Остапчук, 2000) свидетельствуют о том, что совокупное действие ртутного загрязнения р. Амур уже сказывается на здоровье коренного населения, проживающего на его побережье ниже г. Хабаровска (Казанцева, 1997).

На макете прогнозно-экологической карты на примере коренных месторож-

дений золота показаны результаты балльной оценки экологического риска их эксплуатации, которая выполнена по методике ИГД ДВО РАН (Саксин и др., 2001). Оценка произведена путем учета 64 факторов, из которых 25 относится к природным, 12 характеризуют специфику месторождения, 24 – геохимические особенности объекта эксплуатации и 3 относится к категории прочих. Как видно из рис. 2, большинство золоторудных месторождений бассейна р. Амур, по сравнению с другими аналогичными месторождениями Дальнего Востока, имеют аномальную

балльную характеристику экологического риска. Это свидетельствует в пользу того, что горные предприятия, которые их осваивают, или будут эксплуатировать в будущем, уже создали, и увеличивают во времени угрозу загрязнения бассейна комплексом металлов путем формирования региональных природно-горно-технических систем. Системы эти имеют значительные площадные размеры и находятся в условиях активного водообмена и маломощных почв, что способствует смыву и выносу загрязнителей

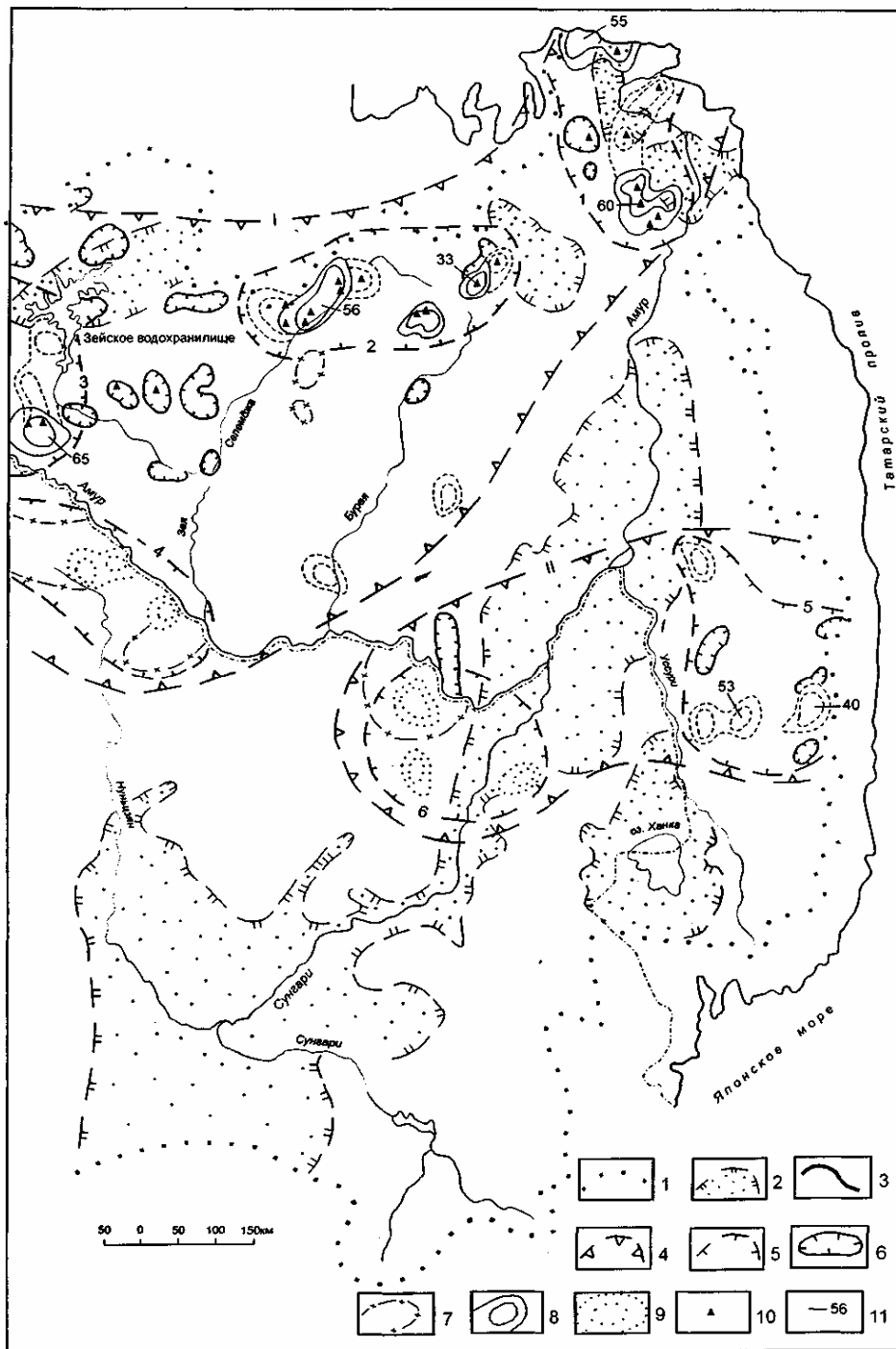


Рис. 2. Прогнозно-экологическая карта районов добычи золота в Центральной и Восточной части бассейна р. Амур: 1-3 – главные элементы обобщенной модели миграции загрязняющих веществ с континента: 1 – региональные водоразделы, оконтуривающие водораздел р. Амур; 2 – материковые (про-

межучточные) бассейны аккумуляции; 3 – граница морского седиментационного бассейна (береговая линия Японского моря). 4-9 – разноранговые региональные природно-горнотехнические системы (прогнозируемые): 4 – провинции (в разрыве номер провинции: I – Зея-Нижнеамурская, II – Сунгари-Северо-Приморская); 5 – области (1 – Нижне-Амурская, 2 – Верхне-Амурская, 3 – Гонжинско-Дамбукинская, 4 – Верхне-Нунузянская, 5 – Северо-Приморская, 6 – Нижне-Сунгарийская); 6 – узлы отработанных россыпных месторождений золота, слабо загрязненные ртутью в результате применения технологии амальгамации (слабая и умеренная экологическая опасность по Остапчук В.И. 1999); 7 – другие узлы отработанных россыпных месторождений (сведений о применении технологии амальгамации нет); 8-9 – районы добычи коренного золота: 8 – прогнозируемое предельное положение 2^{ен} и 3 – зон загрязнения. Сплошным – от эксплуатировавшихся месторождений, пунктиром – их вероятное положение после отработки месторождений Госрезерва России; 9 – условное положение зон от среднего по масштабам месторождения на территории КНР. 10-11 – прочие обозначения: 10 – участки опасного и чрезвычайно опасного (до 100 ПДК) ртутного загрязнения почв и отвалов (по Остапчук В.И. 1999); 11 – интенсивность экологического риска освоения коренных месторождений золота в баллах (аномальное значение – более 50)

сначала в промежуточные бассейны аккумуляции (рис. 1), а затем и в конечный бассейн стока – Японское море.

Известно, что любые преобразования природной среды должны осуществляться с учетом экономических, социальных и экологических последствий. К сожалению, на территории бассейна р. Амур, как единой системы планетарного уровня, два последних аспекта если и учитывались, то формально, без должного анализа территориальных и геохимических факторов, а также вариаций природно-климатических условий их проявления в различных частях системы. Подобный учет невозможен без построения мелкомасштабных тематических карт (отражающих пространственное положение приоритетных источников антропогенного загрязнения, их масштаб и увязанных с обобщающей моделью миграции вещества с континента), которые позволяют принимать взвешенные стратегические решения (в т.ч. и межгосударственные), направленные на оптимальную защиту природных систем бассейна. Наш опыт составления макета прогнозно-экологической карты золото-добывающих районов Центральной и Восточной частей бассейна р. Амур убеждает в приоритетности построения подобной карты в рабочем масштабе 1:2500 000 хотя бы на левобережную (Российскую) часть бассейна.

Таким образом, проведение исследований на горных предприятиях в бассейне р. Амур с применением маршрутных исследований, направленных на систематизацию и классифицирование техногенных экосистем с использованием эколого-ландшафтных методов, заложения опорных профилей, химического, микробиологического, биологического анализов проб почвогрунтов, донных отложений, растительности и сточных вод позволили сделать вывод о том, что масштабы изменения базового компонента биосферы уже таковы, что не могут не влиять на общую экологическую ситуацию в бассейне р. Амур. Однако региональный аспект этой проблемы до настоящего времени изучен крайне недостаточно и практически никаких мероприятий регионального уровня по защите р. Амур от негативного воздействия горного производства не проводится.

В связи с этим необходимо выполнить неформальный учет вариаций природно-климатических и геохимических условий производства горных работ в пределах бассейна р. Амур для объективной оценки масштабов влияния горнопромышленной деятельности на экологическую ситуацию в его пределах. Главным методическим приемом решения данной проблемы является мелкомасштабное тематическое картографи-

рование, материалы которого позволяют принимать взвешенные стратегические решения, направленные на оптимальную

защиту природных систем бассейна р. Амур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карсаков Л.П., Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Бакулин Ю.И. Золотоносность северо-восточного Китая в связи с перспективами Российского Приамурья // Добыча золота. Проблемы и перспективы. Докл. научно-практич. конф. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 1997. Т. 3. - С. 408-415.
2. Саксин Б.Г., Крупская Л.Т., Ивлев А.М. Региональная экология горного производства. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, Приамурское географическое общество, 2001. - 233 с.
3. Селезнев П.Н., Меркурьев К.М., Романюхина П.П. и др. Составить комплект геолого-экономических карт черных металлов, цветных и редких металлов, благородных металлов, агрохимического сырья м-ба 1: 1 500 000 – 1: 2 500 000 территории Дальнего Востока для обоснования использования ее минеральных ресурсов на этапе экономики переходного типа. Хабаровск: ДВИМС, 2000. Фонд геоинформации.
4. Сидоров Ю.Ф., Крупская Л.Т., Саксин Б.Г. и др. Прогнозная экологическая оценка техногенного загрязнения ртутью экосистем районов золотодобычи юга Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2003. - 31 с.
5. Остапчук В.И. Объяснительная записка к карте ртутного загрязнения юга Дальнего Востока м-ба 1: 1 500 000. Хабаровск: ДВИМС, 2000. - 69 с. Фонд геоинформации.
6. Казанцева А. (Амурское БВУ, г. Хабаровск) Размышления о проблемах Амура // Вода России, 1997. № 1. с. 21-25.
7. Крупская Л.Т. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приамурья и Приморья. Хабаровск: ДВО РАН, Приамурское геогр. Об-во, 1992.- 175 с.
8. Крупская Л.Т., Ивлев А.М., Саксин Б.Г. и др. Оценка трансформации экосистем под воздействием горного производства на юге Дальнего Востока. Хабаровск: ХГТУ, 2001.- 193 с.
9. Коваль А.Т. и др. Техногенное загрязнение металлической ртутью районов золотодобычи Амурской области и Хабаровского края// Добыча золота. Проблемы и перспективы. Докл. научн.-практич. конф. Хабаровск, 1997. – С. 347-352. т. 11.

Коротко об авторах

Мамаев Ю.А. – доктор технических наук, профессор,
Крупская Л.Т. – доктор биологических наук, доцент,
Саксин Б.Г. – доктор геолого-минералогических наук, доцент,
Бубнова М.Б.,
Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН.



© А.В. Самохин, А.В. Караваев,
2005

А.В. Самохин, А.В. Караваяев

**ОПТИМИЗАЦИЯ ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ
НА УГОЛЬНОМ РАЗРЕЗЕ СРЕДСТВАМИ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Семинар № 10

Анализ работы действующих карьеров, изучение горнотехнических условий подлежащих промышленному освоению месторождений свидетельствуют о том, что главной проблемой открытых горных разработок становится проблема транспорта. Несмотря на оснащение карьеров новым горно-транспортным оборудованием, совершенствование технологии и организации производства, себестоимость добычи в глубоких угольных карьерах неизменно увеличивается. Основной причиной снижения технико-экономических показателей является увеличение затрат на транспортирование горной массы по мере роста глубины карьера, так доля транспорта достигает 40-60 % в общих расходах добывающих предприятий [1].

Результаты проводимых научных исследований адаптированы для условий угольного разреза «Нерюнгринский» ОАО «Якутуголь», расположенного на юге республики Саха (Якутия). Специфичность горных работ в этом географическом районе заключается в суровом климате, многолетнемерзлом состоянии горных пород и высокой их абразивности, что приводит к повышенной нагруженности узлов и механизмов машин и ускоренному износу их ходовой части, высокой интенсивности разработки месторождений, требующей круглогодичного и круглосуточного режимов работы машин, значительной территориальной разбросанности горных объектов, отсутствии к ним постоянных дорог и т.д. Опыт эксплуатации экскаваторов, бульдозеров, карьерных автосамосвалов и другой техники при разработке месторождений полезных ископаемых в

указанной климатической зоне показывает, что в зимний период по сравнению с летним среднемесячная выработка машин сокращается, а 2-3 раза, себестоимость перерабатываемой горной массы увеличивается в 2-2,5 раза, наработка на отказ уменьшается в 1,5-2,5 раза, а частота вынужденных ремонтов и простоев повышаются в 2,5-3 раза [2].

Колебания надежности погрузочного, транспортного и вспомогательного оборудования, отсутствие достоверной информации о протекании горно-геологических и горно-технических процессов в совокупности с влиянием таких групп факторов как климатические условия, технико-эксплуатационные свойства технических средств, организационные факторы, дорожные условия, квалификация персонала влекут за собой непрерывное случайное изменение производственно-транспортной ситуации на разрезе, что обуславливает необходимость постоянного мониторинга и оперативной корректировки схем функционирования экскаваторно-автомобильного комплекса.

На сегодняшний день управление парком технологического автотранспорта на разрезе осуществляется диспетчерскими службами в ручном режиме. В должной степени отсутствует постоянный оперативный контроль над транспортной ситуацией. Наблюдается недостаток объективной информации о ходе погрузочно-транспортного процесса. Это, в свою очередь, приводит к малоэффективному использованию горно-транспортного оборудования, простоям автомобилей и экскава-

торов, снижению производительности всего предприятия в целом.

Основная цель исследования – повышение коэффициента использования автотранспортной техники, путем сокращения (исключения) ненормированных перерывов и простоев в работе средствами оперативного управления и диспетчеризации. Современные реалии обуславливают крайнюю необходимость в автоматизации угледобывающего предприятия. В перспективе стоит задача создания интегрированной информационной системы управления карьером, как единого целого. Актуальность таких разработок особенно присуща разрезам, эксплуатируемым в тяжелых климатических и горно-геологических условиях, использующих сложные горнотранспортные схемы. Резервы по увеличению производительности следует искать в усовершенствовании принципов управления. Однако на первоначальном этапе целесообразно сосредоточится на проблеме автоматизации управления погрузочно-транспортным комплексом, как наиболее важной составляющей процесса добычи угля. Исходя из вышеуказанных предпосылок, должна быть разработана автоматизированная система для оперативного диспетчерского управления карьерным автотранспортом.

В процессе создания системы следует предусмотреть: цикличность программной реализации конечного продукта в виде отдельных модулей, решающих частные задачи по принципу от простого к сложному, создание модулей общего назначения, осуществляющих интеграцию отдельных задач для достижения глобальной цели, минимальные требования к начальной подготовке пользователей и уровню технических средств [3].

Рассмотрим функциональные компоненты проектируемой системы. Одна из важнейших составляющих – это источники данных, поступающих от объекта управления и анализируемых внутри системы. Необходимо признать перспективность внедрения самых передовых техно-

логий для обеспечения должного уровня контроля, связи и мониторинга, таких, например, как спутниковая система глобального позиционирования (GPS – Global Positioning System), радиодатчики и другие измерительные контроллеры, функционирующие в масштабе реального времени. Однако ввиду высокой ресурсоемкости их развития и применения в реальных условиях по сравнению с существующими средствами и методами представляется экономически целесообразным сосредоточиться на усовершенствовании механизмов принятия управленческих решений путем внедрения информационных технологий, современных алгоритмов анализа и обработки данных. Что подразумевает создание цифровой модели месторождения, которую необходимо постоянно поддерживать в актуальном состоянии по мере развития горных работ в карьере. Геоинформационные системы, являясь мощным инструментом проведения пространственного анализа производственных процессов, призваны обеспечить интеграцию систем управления. Непосредственно для задач диспетчеризации технологического транспорта требуется наличие электронной карты дорожной сети. Для информационного наполнения такого виртуального плана необходима увязка пространственно распределенных объектов на карте и информационных баз данных соответствующих подразделений предприятия (маркшейдерская служба, транспортный цех и т.д.). Основным потребителем оперативных данных, характеризующих горно-транспортный процесс, будет выступать диспетчерская служба, аккумулирующая сведения о текущем состоянии оборудования и транспортных единиц, объеме выполненных и запланированных работ, проявлении различных неблагоприятных факторов. Так же подобная информация оперативного характера может быть востребована всеми основными инженерными службами карьера и главным образом транспортным цехом для статистических целей, оценки степени выполнения персо-

налом норм и планов. В качестве каналов передачи информации будут использоваться уже применяемая на сегодняшний день на разрезе радиосвязь, а так же информационная сеть для интеграции распределенных банков данных различных подразделений предприятия.

Центральное место в создаваемой автоматизированной системе управления экскаваторно-транспортным комплексом должна занять подсистема поддержки принятия решения горного диспетчера. Именно здесь будет аккумулироваться информация от всех источников, проводится ее сортировка по приоритетности, а также осуществляться непрерывный анализ. Данная подсистема должна обеспечивать решение задач по оперативному управлению и диспетчеризации технических средств.

На сегодняшний день становится очевидным, что ориентация на полную автоматизацию расчетов и процесса принятия решения неоправданна. Современные средства вычислительной техники все же пока не позволяют исключить участие персонала в механизме выработки решений. Особенно трудно переоценить профессиональный потенциал специалистов высокого уровня в данной предметной области. В сложившейся ситуации оптимальным будет являться интерактивный режим генерации конечного результата. Таким образом, механизм функционирования подсистемы поддержки принятия решения не должен выдавать жестко фиксированные рекомендации в виде управляющих воздействий, а предоставлять пользователю альтернативные варианты с обоснованием предполагаемых последствий.

Кроме того, необходимо расширить базу исходных параметров, принимаемых во внимание в процессе диспетчеризации. Результатом исследований должна стать совокупность алгоритмов для расчета схемы вывоза горной массы, призванная стать современным «инструментом» в руках диспетчера. Технологически это мо-

жет быть реализовано в виде программного комплекса, определяющего совокупность транспортных единиц для каждого экскаватора. Необходимо определить ситуации, при которых будет востребован такой расчет, т.е. периодичность использования программы расчета. Таким образом, практическим результатом научных изысканий должен стать некий алгоритм расчета транспортной схемы.

Исходя из вышесказанного, для решения проблемы оптимизации работы большегрузного автотранспорта в карьере необходимо в первую очередь рассмотреть схему управления погрузочно-транспортным комплексом с целью выявления ее основных звеньев (подразделений и служб разреза), объектов управления и характера управляющих воздействий. Результатом такого анализа должна стать информационная модель, в максимальной степени отражающая функциональные и временные особенности процесса диспетчеризации.

Рассмотрим схему распределения функций диспетчеризации транспортной ситуации на разрезе. Непосредственное влияние на объекты управления могут оказывать два подразделения предприятия – диспетчер АТА (база технологического автотранспорта) и горный диспетчер. Из всего спектра разнообразных задач, решаемых этими подразделениями необходимо выбрать лишь те, которые непосредственно относятся к проблеме добычи и транспортировки горной массы.

Главная функция диспетчера АТА – обоснованно, исходя из большого количества предпосылок, сформировать наиболее эффективную схему перевозки груза (уголь и вскрыша) автосамосвалами от экскаваторов до места назначения (отвал, временный пункт разгрузки, склад и т.д.). При этом необходимо распределить имеющееся количество исправной автотехники по каждому из экскаваторов. Таким образом, управляющее воздействие на транспортную систему будет заключаться в оформлении для каждого водителя само-

свала путевого листа, представляющего собой задание на смену с указанием номера участка, экскаватора и маршрута, а также планового количества рейсов. В настоящее время эта процедура осуществляется лишь на основании нескольких правил определения приоритета экскаваторов при распределении автотранспорта:

- по максимальному объему ковша;
- по минимальному плечу откатки;
- по нормативному количеству рейсов (учитывают лишь длину маршрута);
- по условию однотипности автомобилей для каждого экскаватора.

Следовательно, на начальном этапе создания алгоритма расчета транспортной схемы необходимо формализовать эти правила, что позволит решить задачу в первом приближении, т.е. приблизительно распределить автомобили по экскаваторам. Далее необходимо определить совокупность различных факторов, оказывающих наиболее значительное влияние на производительность погрузочно-транспортного процесса.

Вообще говоря, на эффективность эксплуатации техники влияют природно-климатические, технологические, экономические и организационные факторы. Между такими факторами возможны оптимальные варианты взаимодействия. Однако следует заметить, что в настоящее время ввиду слабого использования передовых информационных технологий на рассматриваемом разрезе данные группы факторов учитываются в недостаточной степени при организации и управлении грузоперевозок. Такая ситуация обусловлена недостаточностью научной базы по данной проблеме, ее многофакторностью и объективными трудностями формализации самой транспортной системы. Лишь использование больших вычислительных мощностей в совокупности с передовыми информационными алгоритмами, математическими методами и подходами к моделированию реальных технологических процессов позволяет находить решение

поставленной задачи на приемлемом уровне.

Исходя из потребности повышения эффективности организации грузоперевозок, программа расчета транспортной схемы, как неотъемлемая часть подсистемы поддержки принятия решения, должна учитывать следующие факторы, сформулированные в виде поправочных коэффициентов, влияющих на базовое значение производительности экскаваторов и самосвалов, найденное для оптимальных условий эксплуатации:

- коэффициент времени года (производительность зимой снижается в несколько раз) [2];

- группа метеорологических коэффициентов, учитывающих влияние неблагоприятных погодных явлений: осадки (снег, дождь), сила ветра, туманность, гололедица, экстремальные температуры, влажность и т.д.;

- коэффициент времени суток (дневная/ночная смены): относится скорее к физиологическому состоянию человека;

- коэффициенты сложности трассы: помимо длины маршрута необходимо учитывать, средние значения продольного и поперечного уклонов трассы, количество и виды поворотов (радиусы закруглений в плане), развилки, перекрестков, тип дорожного покрытия (косвенно обуславливается также метеорологическими коэффициентами и временем года);

- коэффициент квалификации персонала: профессионализм машинистов экскаваторов и водителей автосамосвалов, заключающийся в стаже работы, профессиональных навыках (в перспективе возможен учет психофизиологического состояния водителей);

- коэффициенты горно-технических условий: сложность выемки и транспортирования горной массы, трудности экскавации, качество горно-взрывных и подготовительных работ.

Часть рассмотренных факторов оказывает непосредственное влияние на производительность добывающего комплекса,

сказываясь на длительности погрузочных циклов (экскаваций), скорости транспортировки, количестве рейсов. Другие же факторы имеют вероятностное воздействие, заключающееся в некоторой степени вероятности наступления отказов, простоев, ненормированных перерывов, поломок и т.д. Таким образом, целесообразно предусмотреть различные механизмы учета этих факторов при ведении расчетов. Ведь предсказать возникновение нештатной ситуации диспетчер АТА может лишь с определенной вероятностью и учет этой возможности должен заключаться в некотором резервировании технических мощностей, что в условиях нехватки транспортных единиц зачастую невыполнимо. Поэтому создаваемая система должна «уметь» оперативно реагировать на факты возникновения несоответствий между запланированной и реально складывающейся транспортной ситуациями, вследствие выхода из строя погрузочной техники, одного или нескольких автомобилей (причем необходимо учитывать длительность отказа: кратковременный или на всю смену), образование очередей на погрузку или непроизводительных простоев техники. В таких ситуациях, требующих корректировки схемы перевозки и перераспределения транспортных мощностей горный диспетчер должен вновь инициировать процедуру расчета транспортной схемы.

Горный диспетчер осуществляет оперативное управление транспортным процессом в течение смены. Мониторинг за соблюдением плановых параметров грузоперевозок (отсутствие очередей и простоев техники на погрузке, выполнение плана экскаваторщиками и водителями) осуществляется путем радиопереговоров с машинистами экскаваторов, проводимых с некоторой периодичностью (в настоящее время на разрезе каждые 2 часа). При этом в базе данных фиксируется время запроса, номер экскаватора, количество погруженных самосвалов. Если работа транспорта протекает по запланированному сценарию в пределах допустимых отклонений, то

горный диспетчер не вмешивается в процесс, а лишь выполняет контрольные функции. Однако при получении сигнала о нештатной ситуации он должен оперативно внести изменения в первоначальную схему, рассчитанную диспетчером АТА. Таким образом, возникает потребность в новом расчете с учетом изменившихся условий (резкое изменение погоды, выход из строя техники, изменение по техническим причинам маршрута и т.д.). Перераспределение автосамосвалов между экскаваторами также должно быть документально зафиксировано в путевых листах водителей.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что создаваемый программный комплекс должен решать следующие основные задачи:

1. Расчет плановой транспортной схемы в начале смены с учетом вероятностных характеристик отказов, простоев, поломок. Выполняется диспетчером АТА.

2. Оценка влияния возникающих отдельных нештатных ситуаций на производительность всего погрузочно-транспортного комплекса (т.е. нужны ли коррективы).

3. Перерасчет транспортной схемы при резком отклонении параметров транспортного процесса от плана (нормы).

4. Хранение данных о ходе работы транспорта, т.е. технологических параметров (тип, количество работающей техники, объемы погруженной и перевезенной горной массы, выполнение норм и плана) для целей оперативного учета.

Таким образом, предметом исследования в данной задаче является процесс взаимодействия экскаваторов и карьерных автосамосвалов в ходе транспортировки горной массы внутри угольного разреза. С точки зрения такого подхода любое открытое месторождение характеризуется большим количеством разнородных объектов, распределенных по его территории, в различной степени обладающих динамичностью и непосредственно воздействующих друг на друга. Совокупность этих

объектов, принципов связи между ними, комплекса технических и информационных средств, обеспечивающих их функционирование, образуют сложную систему, информация о процессах в которой должна быть актуальной, а функциональные связи явлений трудно формализуемы. Необходимо учесть недостатки существующих подходов к организации комплексных электронных систем горных работ, заключающиеся в разрыве между инженерной логикой и математическими методами при выборе и оценке оптимальных вариантов развития технологического процесса [4].

Для формирования требований к системе контроля эксплуатационных параметров транспортной системы необходим предварительный анализ и оценка взаимодействия звеньев системы на имитационных моделях. Эта задача подразумевает построение статистических или динамических моделей отдельных стадий технологического процесса для обеспечения интегрированного исследования сущности диспетчерского контроля, характеризующегося большим числом вероятностных параметров, динамичностью и ненадежностью используемой информации. Методы имитационного моделирования позволят идентифицировать информационные потоки, присущие объекту исследования, для получения достоверных данных о ходе транспортных работ, полноценного контроля производственных процессов и разработки автоматизированной системы для оперативного диспетчерского управления карьерным автотранспортом.

Начальный этап моделирования состоит в анализе предметной области – контроле технологического процесса погрузки угля и горной массы экскаваторами и ее перевозки до места назначения большегрузными автосамосвалами. В результате анализа технологии управления на разрезе «Нерюнгринский» установлено, что существующая система диспетчерского мониторинга способна лишь частично отображать состояние производственного процесса с существенным временным опозданием без возможности опциональной настройки, и не является средством для проведения качественного анализа параметров комплексных связей между процессами. Более эффективен интегрированный контроль одновременно по нескольким критериям: производительности, техническим параметрам, качеству, прибыли (в перспективе) и т.д.

Основная задача программного комплекса – расчет оптимальной транспортной схемы (рис. 1). Исходя из общепринятых подходов к моделированию сложных процессов, можно выделить два основных типа объектов, взаимодействующих друг с другом: экскаватор и группа автосамосвалов. Цель моделирования – максимально достоверно оценить всевозможные варианты взаимодействия техники в процессе погрузки-перевозки. Основным критерием оптимальности будет являться время одного технологического цикла. Для экскаватора – это время полной погрузки автомобиля, учитывающее время на подъезд самосвала, общее количество экскаваций, временные затраты на

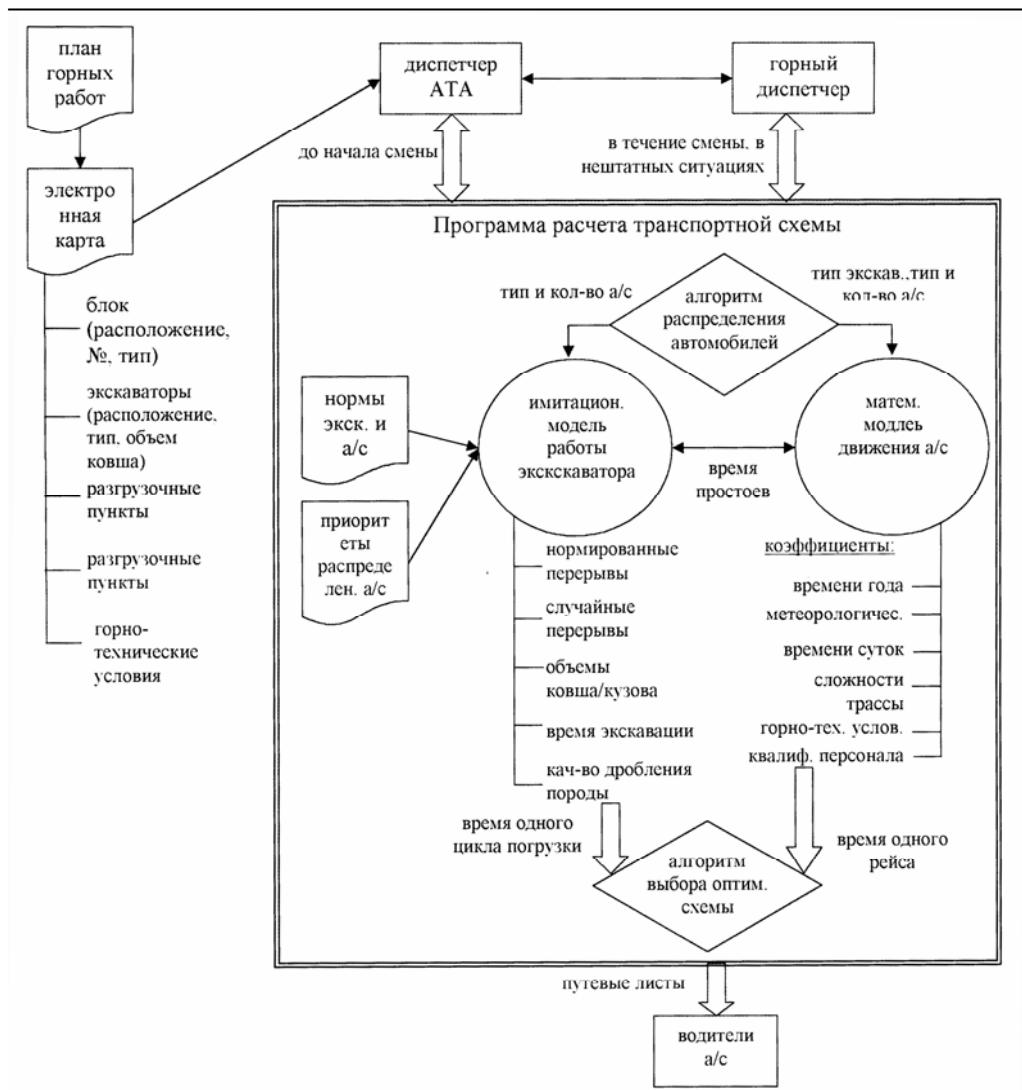


Рис. 1. Схема диспетчеризации погрузочно-транспортного комплекса

отъезд автомобиля, подготовку погрузочной площадки, а также время ненормированных простоев, связанное с трудностями экскавации и отказами техники. Для автосамосвала рассматривается время одного рейса, т.е. время в пути от экскаватора до места разгрузки и обратно.

Таким образом, глобальную задачу расчета транспортной схемы можно разбить на две подзадачи: оценка произво-

дительности экскаватора и оценка производительности автосамосвала при различных эксплуатационных условиях. На данном этапе важно правильно выбрать аппарат для моделирования. При имитационном моделировании логико-математическая модель исследуемого объекта представляет собой алгоритм функционирования объекта, реализованный в виде программного комплекса для компьютера.

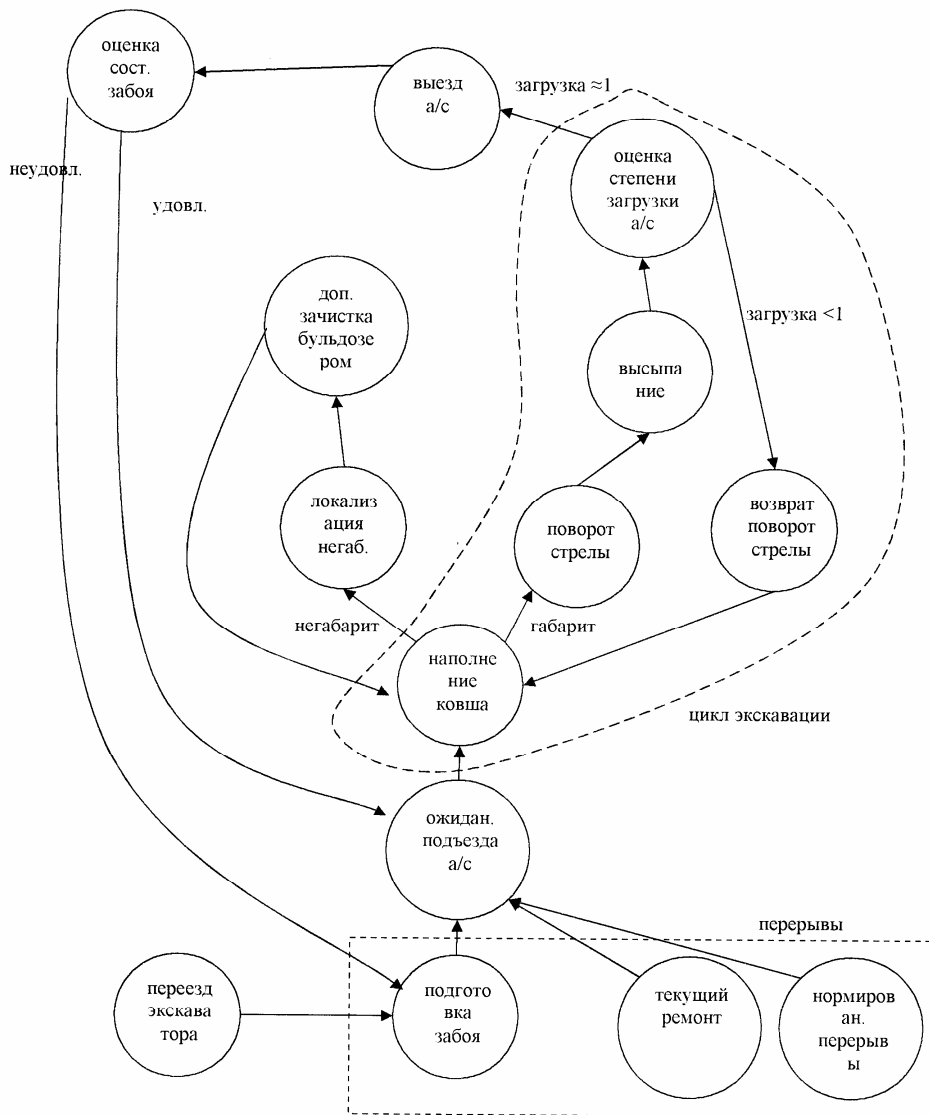


Рис. 2. Имитационная модель работы экскаватора

Исходя из принципов имитационного моделирования, можно сделать вывод, что именно этот способ в наибольшей степени подходит для моделирования работы экскаватора (рис. 2). Данный процесс легко разбивается на ограниченное число стадий, следующих друг за другом, т.е. поддается формальному описанию в виде компьютерного алгоритма. Эта последовательность отражает наиболее значимые

действия, совершаемые экскаватором в процессе погрузки. Отдельно выделен цикл экскавации, как наиболее часто повторяющаяся операция. Кроме манипуляций жестко связанных друг с другом данный алгоритм должен учитывать вероятностные характеристики возникновения отказов, перерывов и простоев.

В тоже время процесс транспортировки горной массы самосвалами менее однозначен

чен и насыщен большим количеством вероятностных характеристик и параметров. Однако в настоящее время достаточно основательно проработаны теоретические вопросы эксплуатации карьерного автотранспорта. Поэтому для представления в ЭВМ транспортной составляющей погрузочно-транспортного комплекса разреза целесообразно использовать существующие математические модели движения автосамосвала, дополненные возможностью учета в виде поправочных коэффициентов таких факторов, как время года, метеорологическая ситуация, время суток, сложность трассы, квалификация и физико-эмоциональное состояние водителей и т.д.

Взаимодействие этих двух моделей: имитационной модели работы экскаватора и математической модели движения автомобиля позволит с определенной вероятностью определить время погрузочно-транспортного цикла при заданных условиях. Исходные данные о типах и количестве используемой техники предоставляет алгоритм распределения автомобилей, генерирующий возможные варианты взаимодействия экскаваторов и самосвалов на основании действующих на разрезе норм и правил эксплуатации техники. Между собой модели

обмениваются данными о вероятностях простоев, отказов, задержек, так как это ведет к увеличению общего времени технологического цикла. Когда процесс моделирования предложенного варианта завершен, модели выдают значение времени цикла погрузки и цикла перевозки, что в совокупности дает общее время всего погрузочно-транспортного цикла. Эти данные передаются в алгоритм выбора оптимальной транспортной схемы, где они сравниваются с предыдущими вариантами. На выходе программы формируются путевые листы для каждого водителя самосвала.

Таким образом, на данной стадии развития работы обозначена проблематика управления экскаваторно-транспортным комплексом в угольном карьере «Нерюнгринский», выявлены недостатки механизма контроля и диспетчеризации и намечены пути повышения эффективности горно-транспортных работ за счет создания автоматизированной системы для оперативного диспетчерского управления карьерным автотранспортом. Основное внимание уделено принципам создания алгоритма расчета транспортной схемы с привлечением современных средств компьютерного моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. – Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1989. – 240 с.
2. Ишков А.М. Математическая ритмология в работоспособности техники на Севере. – Якутск: Издательство ЯНЦ СО РАН, 2000. – 320 с.
3. Панфилов А.Л. Разработка информационно-аналитической системы геологического обеспечения горных работ. Сборник научных трудов НГА Украины №9, Том 1, 2000 г./ www.gis.nmu.org.ua.

4. Мельникова Е.М. Анализ методов и систем моделирования технологических процессов горного производства. / Юж.-Рос. гос. тех. ун-т – Новочеркасск, 1999. Автореферат – 13 с.
5. Кондратьев А.А., Семенова Г.П. Имитационная модель в задаче об экспедиторском сопровождении груза. «Проблемы транспорта», №9. – 2003. – С. 51-55.

Коротко об авторах

Самохин А.В. – доктор технических наук, профессор, заместитель директора по учебной работе,
Караваев А.В. – аспирант, ассистент кафедры физики,
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета.

© Ю.Г. Гринков, А.Е. Грушин,
М.Е. Извариц, Е.Ю. Черникова,

УДК 622.648.001.57:681.3

*Ю.Г. Черников, А.Е. Трушин, М.Е. Изварин,
Е.Ю. Черникова*

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОСТАВЛЕНИЕ
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ
ЗАДАЧ**

Семинар № 10

В настоящее время в связи с расширяющимся практическим применением логистического подхода как в горнорудной промышленности, так и в других отраслях промышленности и сферах деятельности человека (в пищевой промышленности, в сфере торговли и обслуживания и т.д.) все большее значение приобретает транспортная логистика, так как расходы на транспортные услуги составляют существенную долю всех расходов логистической цепи от складов материальных ресурсов до доставки грузов конкретному потребителю. Поэтому весьма актуальной становится проблема построения математических моделей транспортных задач для решения их с использованием средств вычислительной техники, которая в традиционном виде может быть представлена следующим образом.

Математические модели при перевозке однородного груза одним и тем же видом транспорта по критерию стоимости имеет вид:

Определить оптимальные значения переменных x_{ij} , доставляющих

$$\min W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^k c_{ij} x_{ij},$$

при выполнении системы линейных ограничений равенств:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n \\ x_{i,j} \geq 0, \forall i, j = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

Эти задачи различаются тем, что грузы могут быть как однородными (однопродуктовая задача), так и разными (многопродуктовая задача), перевозки могут осуществляться как однотипными, так и разнотипными видами транспорта (автомобильный, железнодорожный, авиационный и др.), а также их комбинациями. Кроме того, в некоторых случаях перевозки могут осуществляться транзитом (через промежуточные пункты, которыми могут быть пункты отправления ПО или назначения ПН), в других случаях грузы могут быть взаимозаменяемыми. Следует еще добавить, что при построении модели транспортной задачи (ТЗ) в качестве критерия оптимальности целевой функции могут быть выбраны различные показатели: стоимость перевозки грузов, время перевозки и т.д.

Этапом, предшествующим построению модели ТЗ, является четкое определение предметной области и содержательной постановки конкретной задачи.

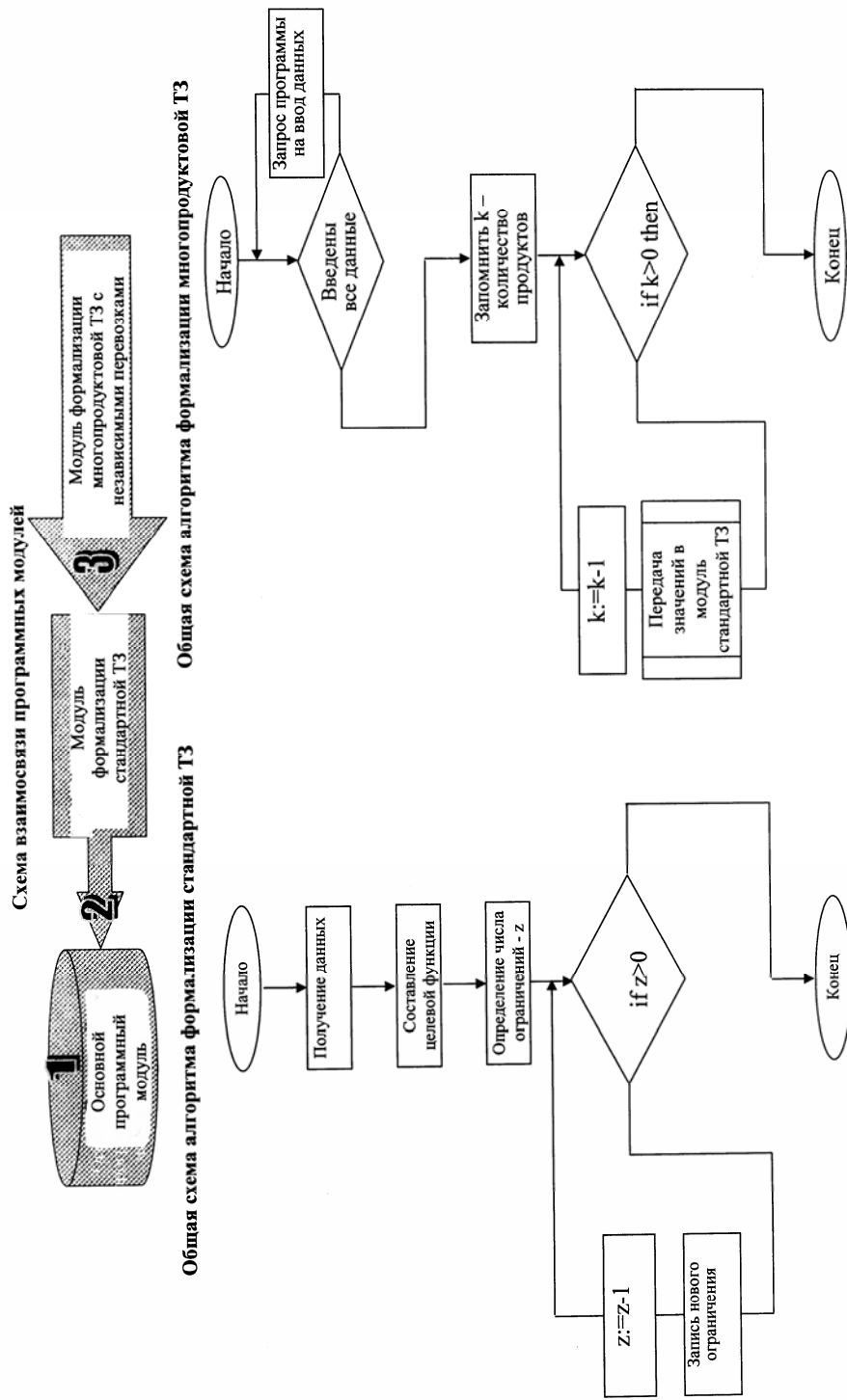
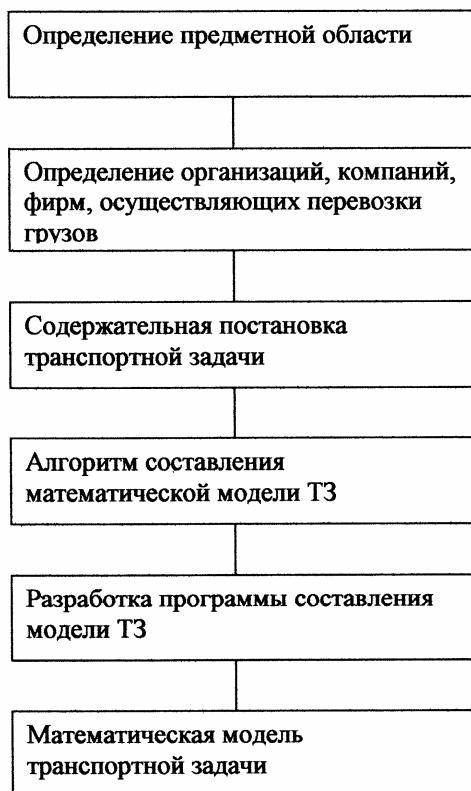


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного составления математических моделей линейного программирования



Далее составляется математическая модель транспортной задачи.

Структурная схема автоматизированного составления модели приведена на рис. 1.

Составление моделей пользователем осуществляется в диалоговом режиме. Для реализации программы предварительно, на основе анализа содержания транспортных задач предварительно были сформулированы конкретные требования к терминологии, используемой в диалоговом режиме каждым пользователем (в том числе и непрофессиональным).

Исходной математической моделью транспортной задачи является стандартная традиционная модель перевозки однородного груза однотипным транспортом по критерию стоимости.

Рассмотрим многопродуктовая транспортную задачу с независимыми перевоз-

Рис. 2. Блок-схема модулей и их взаимосвязей программы автоматизированного составления математических моделей

ками разнотипных грузов. Данный тип транспортных задач рассматривается в условиях, когда запасами пунктов отправления являются разнотипные грузы, которые развозятся по пунктам назначения в соответствии с заявками. Допустим, что имеется K типов грузов. При этом подразумевается, что различные типы груза в каждом из пунктов A_i и B_j характеризуется своими запасами и заявками и что для каждого типа грузов заданы тарифы перевозок. Следует составить план перевозок, имеющих минимально стоимость. В данном случае перевозки разнотипных грузов независимы, поэтому такая задача организации перевозок может быть представлена K независимыми транспортными моделями, то есть для каждого типа грузов нужно сформулировать свою транспортную задачу.

Математическая модель ТЗЛП, например, при использовании однотипного вида транспорта и перевозке k различных грузов по критерию стоимости имеет вид

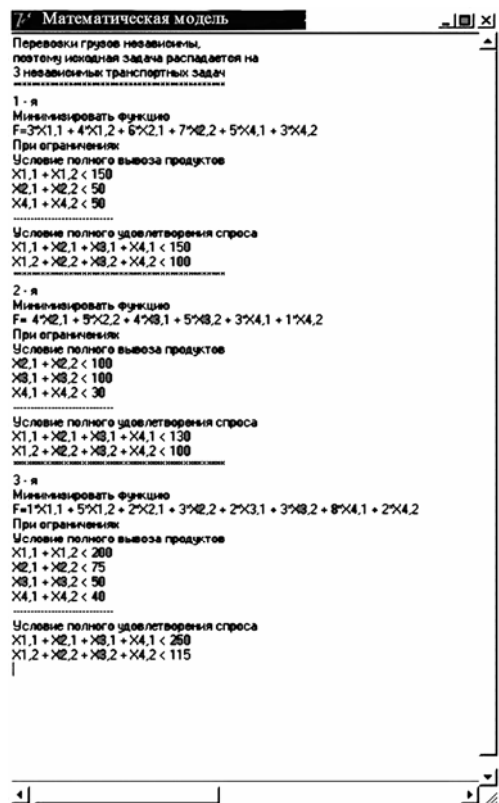
$$\min W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}^k x_{ij}^k$$

при выполнении системы линейных ограничений равенств

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij}^k = a_i^k, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij}^k = a_j^k, j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij}^k \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \\ \kappa = 1, 2, \dots, p \end{cases}$$

Программа написана на алгоритмическом языке Delphi 7.

Блок – схема модулей и их взаимосвязей программы автоматизированного составления математических моделей приведена на рис. 2.



Примеры экранных форм фрагмента диалога приведен на рис. 3.

Рис. 3. Пример экранной формы фрагмента диалога

Данная программа позволит существенно облегчить работу по составлению различных математических моделей разных транспортных задач в различных предметных областях, особенно специалистам (инженерам, менеджерам и др. в различных сферах человеческой деятельности), не владеющими, по характеру своей работы, необходимыми навыками в области компьютерного математического моделирования.

Выводы

1. Впервые показана принципиальная возможность и практическая целесообразность автоматизированного составления математических моделей транспортных задач на основе только содержательной ее постановки в различных предметных областях.

2. Проведены машинные эксперименты по автоматизированному составлению моделей транспортных задач, подтвердившие эффективность диалогового режима работы пользователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролькис В.А. Линейная и нелинейная оптимизация в задачах инженерно – строительного профиля. СПб, 2001.

Коротко об авторах

Черников Ю.Г. – профессор, кандидат технических наук,

Изварин М.Е. – студент,

Трушин А.Е. – кандидат технических наук,

Черникова Е.Ю. – студентка,

кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.



УДК 622.271.333: 550.372

Е.Г. Булдакова, Н.Н. Даль

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ДЛЯ АНАЛИЗА УРОВНЯ ТРАВМАТИЗМА
НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Семинар № 11

Управление работой горного предприятия связано с необходимостью прогнозирования риска травмирования работающего. Базовым показателем, наиболее полно характеризующим меру опасности на производственном объекте может служить $P(t)$ – вероятность возникновения хотя бы одного несчастного случая за время t . Учитывая наличие централизованной системы сбора информации об аварийности и травматизме, использование выбранного показателя для количественной оценки риска и принятия решения о степени его приемлемости не вызывает принципиальных трудностей. Для этого достаточно регистрировать число и тяжесть имевших место происшествий, а затем проводить расчеты по статистическому оцениванию выбранного показателя и сравнивать его с требуемым или желаемым значениями.

Для оценки риска травмирования на производстве был проведен анализ статистических данных на шахте “Воргашорская”, связанный с очистными работами. Было рассмотрено 184 случая травмирования за трехлетний интервал времени (2001-2003 гг.).

Сгруппировав эти данные, было получено следующее эмпирическое распределение.

кол-во травм x_i	0	1	2	3	4	5
среднее число периодов n_i	50	57	25	17	4	2

Найденные теоретические частоты близки к эмпирическим.

$$n'_0 = 47.29; n'_1 = 56.14; n'_2 = 33.32; n'_3 = 13.19; n'_4 = 3.91; n'_5 = 0.93$$

Выборочная средняя (математическое ожидание) этих данных составила $\bar{x}_B = 1,19$, дисперсия $D = 1,32$, выборочное среднее отклонение $\sigma_B = 1,15$. Приблизительное равенство дисперсии и математического ожидания позволяет сделать предположение о том, что данные распределяются по закону Пуассона.

Из полученных данных наблюдаемое значение критерия Пирсона составило $\chi^2_{набл} = 4,59$. По уровню значимости 0,05 и числу степеней свободы $k = 6-2 = 4$ критическая точка правосторонней критической области равна $\chi^2_{кр} = 9,49$.

Т.к. $\chi^2_{набл} < \chi^2_{кр}$ - нет оснований отвергать гипотезу о распределении случайной величины X по закону Пуассона, что позволяет вычислить вероятности травмирования за время t .

Приняв в качестве оценки параметра λ показательного распределения выборочную среднюю, по формуле $P_i = \lambda^i e^{-\lambda} / i!$ были вычислены вероятности появления i несчастных случаев за одну неделю:

$$P_0 = 0,31; P_1 = 0,36; P_2 = 0,21;$$

$$P_3 = 0,09; P_4 = 0,03; P_5 = 0,01.$$

Таблица 1
Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Фактор	Внутригрупповая дисперсия	Межгрупповая дисперсия	Отношение факторной дисперсии на одну степень свободы к случайной F_p	F-критическое	% влияния фактора	Вероятность принятия гипотезы (%)
время	265,73	166,67	3,99	3,48	61	95
смена	60,67	154,00	1,05	2,92	28	90
возраст	837,14	130,67	14,95	2,85	84	95
стаж	299,86	54,50	6,42	3,87	85	95
глубина	444,00	388,67	3,05	4,07	53	95
длина	293,56	215,33	4,09	3,46	58	90
угол	693,56	639,33	3,25	2,65	52	85
мощность	467,60	377,33	3,10	1,83	55	80
скорость	491,00	450,67	2,91	1,95	52	80
метанообильность	193,00	550,67	0,93	1,95	26	80
день недели	67,14	136,67	1,15	1,12	33	60

Однако, прогнозирование только самого показателя $P(t)$, независимо от причин, его вызывающих, малоэффективно, так как оно не позволяет выявить необходимую степень воздействия на управляемые факторы с целью достижения желаемого уровня показателя.

С этой точки зрения наиболее ценным, особенно для оперативного управления, является дисперсионный анализ. Для исследования степени влияния различных факторов на травматизм был использован однофакторный дисперсионный анализ. Результаты представлены в таблице.

Описанный количественный анализ риска позволяет получить объективную информацию о степени опасности объекта, а также выявить, при наличии законодательно установленных Критериев индивидуального риска, зоны, где риск достигает или превышает значения, при которых необходимо ужесточение контроля или принятия определенных мер по снижению риска и обеспечения нормативной безопасности производственного персонала.

Коротко об авторах

Булдакова Е.Г. – кандидат технических наук, доцент кафедры ПММиМ,

Даль Н.Н. – старший преподаватель кафедры ПММиМ,

Филиал Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В. Плеханова (технического университета) «Воркутинский горный институт».

