

УДК 622.272

Н.И. Абрамкин, Н.М. Качурин

**ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПОДЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ УГЛЯ
НА МАЛЫХ ГЛУБИНАХ**

Приведены результаты исследований горно-геологических условий Подмосковного угольного бассейна с целью определения возможностей использования технологий подземной газификации угля и «Углегаз» на базе существующего оборудования.

В России доля природного газа как топлива на электростанциях будет снижаться вследствие падения его добычи. Мировая электроэнергетика в среднем на 43 % основана на угле: в ЕЭС – более 50 %, в США – на 56 %, в Китае – на 70 %. В России его доля на тепловых станциях составляет 27 %, а с учетом атомных и гидростанций – 18 %. Разведанных запасов газа хватит на 80 лет, тогда как угля - на 300 лет. Эксплуатируемые месторождения газа иссякают, а для освоения новых месторождений (на Ямале, в Баренцевом море) требуются огромные затраты. Цена газа повысится в 5 - 6 раз. Настолько же подорожает электроэнергия. Целесообразно прогнозировать социальные, экономические и политические риски, которым может подвергнуться наша страна через 50 лет, если ситуация в данной области останется без изменений. Особую остороту приобретает эта проблема для европейской части Российской Федерации, где есть только один источник угля – Подмосковный угольный бассейн. Однако процессы реструктуризации и диверсификации угольной промышленности поставили эту угленосную

территорию в разряд бесперспективных угольных бассейнов.

1. В горнодобывающих регионах России создалась напряженная социально-экономическая и экологическая обстановка, что отразилось на качестве и уровне жизни населения не только этих регионов, но и страны в целом. Сегодня уже стало очевидным, что нас ожидает энергетический кризис и в Центральном федеральном округе, как это имеет место в дальневосточных регионах страны. Наряду с энергетическими проблемами обостряются и экологические проблемы, обусловленные угрожающими темпами роста потоков твердых бытовых отходов в городах, а эти проблемы можно и нужно решать, используя геотехнологические подходы.

2. Следовательно, для возрождения и последующего развития отечественной системы рационального и безопасного природопользования нужны иные знания, иные принципы, иные стандарты. Анализ технико-экономических обоснований на закрытие шахт свидетельствует о том, что вопросы использования основных фондов ликвидируемых предприятий изучены лишь в первом приближении. В первую очередь это относится к использованию

горных выработок и оставленных запасов. Подземное захоронение и обезвреживание отходов производятся в виде глубокого захоронения отходов в скважины или в виде захоронения в естественные или искусственные пустоты в горных выработках на различных глубинах. Значительный опыт захоронения отходов в соляных рудниках или искусственных пустотах в соли накоплен в Германии. Подземное пространство шахт и железных рудников используется в гораздо меньшей степени. Такой опыт для подземных пространств шахт Подмосковного угольного бассейна с возможностью подземного сжигания отходов совместно с углем является исключительно перспективным.

Проблема развития концептуальных положений экологически рационального комплексного использования минеральных ресурсов угольных месторождений и подземного пространства отработанных шахт, утилизации отходов и создание малоотходных и безотходных технологий в ведущих угольных бассейнах России приобрели исключительную актуальность. К настоящему времени российскими и зарубежными школами разработаны научные основы комплексного освоения недр, подземной газификации и подземного сжигания угля для получения тепловой энергии, основанные на использовании классических законов термодинамики, физической химии и математической физики. Фундаментальные теоретические положения и практические рекомендации по процессам подземной добычи и физико-химической геотехнологии огневой отработки угольных месторождений сформулированы в трудах академиков Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, К.Н. Трубецкого, чл.

корр. РАН Л.А. Пучкова, Д.Р. Каплунова. В дальнейшем эти научные принципы были развиты в трудах А.С. Бурчакова, Б.Ф. Васючкова, Н.М. Качурина, А.Б. Ковальчука, Ю.Н. Кузнецова, А.С. Малкина, Г.И. Селиванова, В.Е. Савченкова, В.И. Сарычева, А.И. Сычева, С.А. Ярунина и др.

Территория региона, на которой расположен тот или иной промышленно-технологический комплекс (в том числе и угледобывающий), является сложной социально-экономической системой, где сам промышленно-технологический комплекс представляет собой открытую технологическую и социально-экономическую подсистему, связанную в иерархическом отношении с другими подсистемами как по вертикали, так и по горизонтали. Территории угледобывающих регионов являются сложными социально-экономическими и техническими системами, управление которыми в силу большого количества объектов и связей как внутренних, так и внешних, требует оперативной информации о последствиях решений, принимаемых должностными лицами. Прогнозные результаты принимаемых крупномасштабных решений обычно хорошо видны в пределах области знаний, получаемых при анализе функционирования упрощенной экономической модели, и могут быть упущены, ввиду многосвязности, в других областях знаний, не учтенных в данной модели, но именно эти результаты, как правило, и представляют негативные последствия принимаемых крупномасштабных решений.

Показательным в этом отношении является пример Подмосковного бассейна. На начальном этапе освоения добыча угля в Подмосковном бас-

сейне составляла всего лишь 9000 - 83000 т в год (период с 1858 по 1870 годы), перед Второй мировой войной в 1940 году было добыто более 10 млн т угля, а наибольшая добыча 42-47 млн т приходится на 1956-1960 годы. В настоящее время акционерная компания «Мосбассуголь» преобразована в ОАО «Мосбассуголь» и добывает не более 1 млн. т угля в год. Все это привело к необходимости разработки технологических решений комплексного использования угольных месторождений Подмосковья.

Концептуальная формула комплексного подхода заключается в том, что создание конкурентоспособных энергосырьевых предприятий и устойчивой системы новых рентабельных рабочих мест на базе технологической и социальной инфраструктуры действующих шахт и строящихся шахт Подмосковного бассейна обеспечивается экологически чистой технологией комплексного освоения недр и нетрадиционного использования подземных пространств существующих и вновь проводимых горных выработок, внедрением принципов гибкой технологии комплексного освоения угольных месторождений и создания энерго-сырьевых комбинатов на промплощадках закрывающихся и действующих шахт.

Требования к технологическим схемам ведения очистных и подготовительных работ, позволяющие в наибольшей степени учитывать горно-геологические условия эксплуатации угольных шахт Подмосковного бассейна, можно сформулировать следующим образом.

1. Для практической реализации систем разработки угольных пластов короткими очистными забоями необходимо обеспечивать рациональную увязку выемочного, транспортного и

иного оборудования по всему комплексу горных работ.

2. Необходимо использовать в технологических системах шахт как серийно выпускаемые, так и опытные образцы оборудования с относительно низкими стоимостными характеристиками и перспективой использования местных и региональных производственных и ремонтных баз.

3. Необходимо исключать из технологических систем трудоемкие, материалоемкие, многоступенчатые и опасные процессы и операции и параллельно осуществить максимальную унификацию (многофункциональность) оборудования.

4. Доведение до минимума, определяемого порогом экономической целесообразности, потери полезного ископаемого.

5. Обеспечение высоких показателей надежности технологических систем в целом и их структурных элементов.

6. Ориентация на относительно простые схемы организации производства при высоких темпах ведения очистных и подготовительных работ.

7. Обеспечение возможности включения в структуры технологических систем процессов размещения различных веществ с учетом их агрегатного состояния в выработанном пространстве.

При ранжировании требований в современных условиях доминирующим требованием является обеспечение минимальной ресурсоемкости (без снижения требований безопасности и охраны недр). Это требование позволяет выделить следующие группы технологических схем отработки ограниченных запасов угля в условиях форсированного сокращения производственных мощностей при ограниченных ресурсах, меняющихся требованиях к

качеству угля и функциональному диапазону технологий.

1. Технологические схемы выемки угля проходческими комбайнами при камерных системах разработки пластов.

2. Технологические схемы на основе специального оборудования.

3. Технологические схемы бурошнековой выемки угля.

Технологической основой указанных групп является структурное сочетание средств выемки, вентиляции, транспорта и водоотлива, которое можно легко обеспечить в настоящее время применительно к условиям функционирования ОАО «Мосбассуголь». Минимизация ресурсоемкости позволяет выделить группы технологических схем выемки ограниченных запасов угля в условиях форсированного сокращения производственных мощностей при ограниченных ресурсах, меняющихся требованиях к качеству угля и функциональному диапазону технологий.

Технология выемки и транспортирования угля на основе проходческого оборудования может быть реализована в широком диапазоне горно-геологических и горнотехнических условий Подмосковного бассейна и для этих условий разработаны различные рациональные варианты технологий. Для селективной выемки пластов со сложной структурой перспективными являются флангово-фронтальная и короткозабойная фронтальная технологии, например, с применением машины фронтально-избирательного действия, которая имеет телескопическую стрелу с дисковым рабочим органом, снижающим динамические удары.

Применение самоходной платформы в конструкции машины весьма перспективно для создания выемочного механизма в рамках короткозабойной технологии. Бурошнековая

технология может быть принята как базовая для разработки универсальных совмещенных технологических схем очистных и подготовительных работ на пологих пластах тонких и средней мощности в составе проходческих и буроакладочных комплексов для выборочной и селективной отработки угольных месторождений Подмосковного бассейна.

Примеры камерных систем разработки представлены на рис. 1–3, а систематизация технологий разработки угольных пластов короткими забоями на рис. 4.

В процессе обоснования геотехнологических принципов ликвидации твердых бытовых отходов (ТБО) была уточнена структура варианта размещения затаренных ТБО в подземном пространстве шахты, включая дополнительные полости, с последующим сжиганием совместно с углем. Вычислительные эксперименты позволили определить исходные данные и установить закономерности материального и топливного баланса процесса сжигания смеси бурого угля и твердых бытовых отходов. Таким образом, были установлены закономерности изменения показателей сжигания от скорости горения смеси и обоснованы эффективные режимы горения, увязанные с технологическими возможностями (проведение камер, транспортные схемы и т.п.).

При заданных объемах подземного пространства по размещению ТБО необходимая минимальная скорость горения смеси G_{cm} составит 0,881 кг/с, максимальная – 3,038 кг/с. Температура смеси на выходе из угольного канала в зависимости от G_{cm} – от 400 до 700 К. Длина угольного канала горения, обеспечиваю-

щего полное сгорание угля при рассматриваемых $G_{\text{см}}$, T_g и количестве одновременно сжигаемых блоков ($n_{\text{бл}} = 1, 2, 4$), находится в диапазоне от 73,5 м до 112,5 м. Доказано, что отклонения от идеального режима горения и связанное с ними добавление горючих газов в продукты подземного сжигания угля и ТБО практически не изменяют материальный баланс процесса и теплофизические свойства продуктов сжигания.

Наиболее целесообразным вариантом технологии сжигания смеси угля и ТБО является сжигание её с необходимой массовой скоростью в одном канале горения (одном блоке).

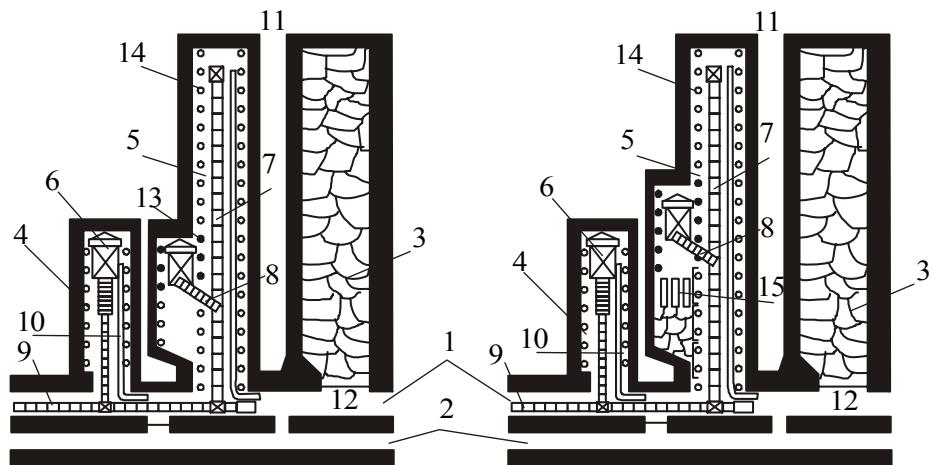


Рис. 1. Отработка запасов угольного пласта тупиковыми камерами с их расширением прямым ходом: а) с поддержанием выработанного пространства; б) с частичным погашением камеры за крепью; 1 - конвейерный штрек; 2 - вентиляционный штрек; 3 - отработанная камера; 4- формируемая камера; 5 - камера с расширением; 6 - проходческий комбайн; 7 - ленточный конвейер; 8 - перегружатель; 9 - участковый конвейер; 10 - вентиляционный став; 11 - междукамерные целики; 12 - перемычка; 13 - индивидуальные гидростойки; 14 - деревянные стойки; 15 - самодвижущаяся комплектная крепь

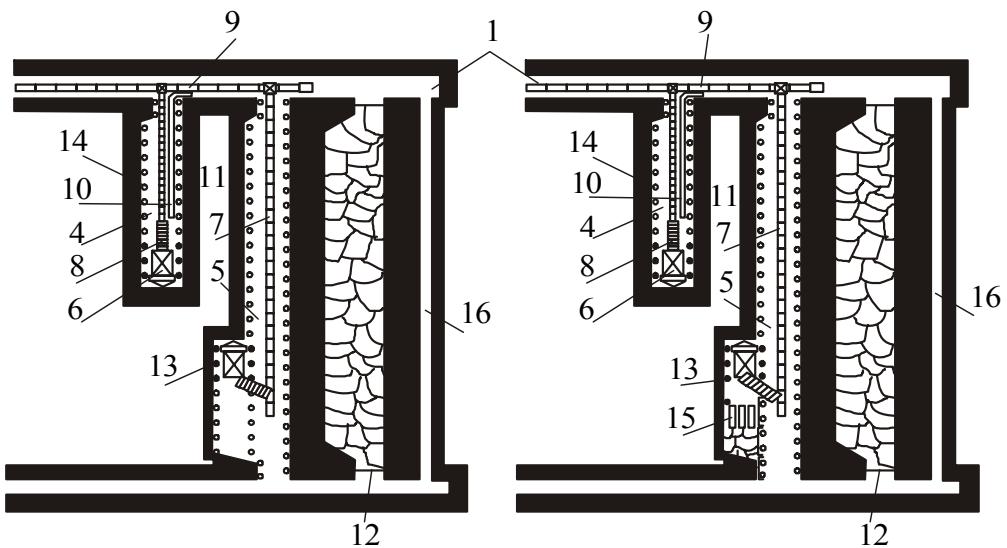


Рис. 2. Отработка запасов угольного пласта камерами при их расширении обратным ходом: а) с поддержанием выработанного пространства; б) с частичным погашением камеры за крепью; 1 - конвейерный штрек; 2 - вентиляционный штрек; 3 - отработанная камера; 4 - формируемая камера; 5 - камера с расширением; 6 - проходческий комбайн; 7 - ленточный конвейер; 8 - перегружатель; 9 - участковый конвейер; 10 - вентиляционный

став; 11 - междукамерные целики; 12 - перемычка; 13 - индивидуальные гидростойки; 14 - деревянные стойки; 15 - самодвижущаяся комплектная крепь; 16 - обходная выработка

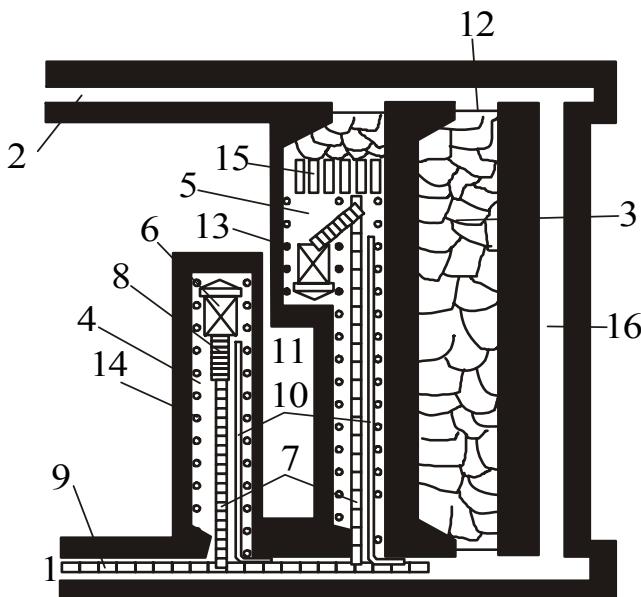


Рис. 3. Отработка запасов угольного пласта камерами с их расширением обратным ходом и полным погашением: 1 - конвейерный штrek; 2 - вентиляционный (монтажный) штrek; 3 - отработанная камера; 4 - формируемая камера; 5 - камера с расширением; 6 - проходческий комбайн; 7 - ленточный конвейер; 8 - перегружатель; 9 - участковый конвейер; 10 - вентиляционный став; 11 - междукамерные целики; 12 - перемычка; 13 - индивидуальные гидростойки; 14 - деревянные стойки; 15 - двойной комплект самодвижущейся крепи; 16 - обходная выработка ТБО. В последнем случае достигается наиболее полная экологическая безопасность

Установлено, что существующая схема вентиляции шахты не требует корректировки. С участием авторов разработаны технические требования к теплотехническому комплексу поверхности и предложены компоновочная схема и основной состав.

Геотехнологические параметры определяются для схемы, при которой производится совместное сжигание отходов, размещенных в камерах (дополнительных полостях), и угля в междукамерных целиках. Ширина каждой из сооружаемых камер принимается равной 4 м, а длина определяется размерами угольных целиков по линии расположения камер и составляет до 50 м. При таком способе фронт горения угля и ТБО наиболее рационально ориентировать перпендикулярно длинной оси камер и межкамерных угольных целиков шириной 4 м. Такая ориентировка фронта горения гарантирует относительно стабильные поперечные размеры канала горения по всей его длине, а также наиболее полное выгорание угля и

пасность остатков ТБО, получаемых в результате их сжигания в смеси с бурым углем. В качестве базового объекта исследований были использованы шахты ОАО «Мосбассуголь».

Бурый уголь этих шахт является типичным для бурых углей Подмосковного угольного бассейна. Марка угля - Б2, состав угля на рабочую массу $\sim W_t = 33\%$, А = 23,5 %, S = 2,9 %, C = 29,1 %, Н = 2,2 %, N = 0,6 %, О = 8,7 %, низшая теплота сгорания угля на рабочую массу $Q = 10500$ кДж/кг, по данным исследований, проведенных в МГГУ, средняя теплота сгорания ТБО на рабочую массу составляет $Q_i = 6300$ кДж/кг. Состав ТБО на рабочую массу вариярен, поэтому их влажность, которая является одной из важнейших характеристик топлива при теплотехнических расчетах, примем равной влажности на рабочую массу угля, т.е. $W_{TBO} = W_t = 33\%$. Вероятность того, что W_{TBO} будут равны W_t угля, довольно большая, поскольку до процесса сжигания ТБО могут находиться в камерах до-

вольно длительное время (порядка 1 года) и, весьма вероятно, что между ними и углем в межкамерных целиках установится равновесное состояние как по температуре, так и по влажности.

Состав теплотехнического комплекса должен определяться заданной теплопроизводительностью, составом парогазовой смеси и ГДК. Все устройства и аппараты, входящие в комплекс, должны быть связаны между собой по всем параметрам и подчинены общей технологии утилизации физического тепла газов подземного сжигания угля и их очистки. В состав теплотехнического комплекса должны входить следующие основные устройства и аппараты: контрольно-регулирующая и управляемая аппаратура; обвязка скважины (ствола) исходящих газов; аппараты предварительной мокрой очистки газов и регулировки их температуры и производительности; система очистки газов от сернистых соединений; система котлов-utiлизаторов тепла; система пылеулавливания газов, выбрасываемых в атмосферу; вентилятор-дымосос; система трубопроводов парогазовой смеси; система циркуляции теплофикационной воды в виде насосов, трубопроводов, аппаратуры управления; система химической подготовки подпиточной воды и ее магнитной обработки; дымовая труба и газовые задвижки.

Учитывая данные расчетов, температура газа - теплоносителя может достигать 1000 °C, что требует защиты обсадных колонн скважин. Кроме того, следует учитывать требования, предъявляемые к оборудованию ($T_g \leq 600$ °C). Один из вариантов решения данного вопроса представлен на рис. 3. Использование данного устройства позволяет сохранить скважину и полезно использовать извлекаемое при этом тепло.

Для очистки газов от твердых частиц следует применять мокрые золоуловители следующих типов: центробежные скруббера (ЦС ВТИ) или мокротрубковые золоуловители (МП ВТИ), работающие в комплексе с оросительными устройствами производительностью 2,1-3,25 м³ воды в час. Для повышения степени очистки дымовых газов при установке центробежных скрубберов типа ЦС ВТИ перед скруббером рекомендуется применять аппараты типа МВ-УО ОРГОЭС или МПР-50, включающие трубы Вентури с системой орошения, обеспечивающие удельный расход воды в пределах 50-200 г/м³ газа. При этом эффективность пылеулавливания составляет 57-99 %.

Горно-геологическими факторами, определяющими значения физико-химических факторов, влияющих на устойчивость подземного горения угольного пласта, являются обводненность месторождения, тип угля и вмещающих пород, гипсометрия и глубина залегания угольного пласта, наличие карстовых нарушений.

Максимальный КПД теплообменника при устойчивом горении угольного пласта обеспечивается, если температура газообразных продуктов горения составляет 473-523 К, а расход 20000-50000 м³/ч. Для такого режима работы теплообменника необходимо прогреть угольный пласт на линии всасывающих скважин до температуры не менее 573 К. Устойчивое горение бурого угля происходит в фильтрационном канале и зависит от интенсивности фильтрационного потока воздуха, поступающего к огневому забою. Параметрами оптимизации газотеплогенератора являются расстояния между скважинами и рядами скважин; количество воздуха, подаваемого в нагнетательные сква-

жины; перепад давления, развивающийся источниками тяги.

Физико-химическими факторами, определяющими интенсивность физико-химических процессов горения угля являются проницаемость, трещиноватость и влажность угля и вмещающих пород; коэффициент диффузии кислорода; энергия активации, константа скорости окисления угля и тепловой эффект реакции кислорода с углем.

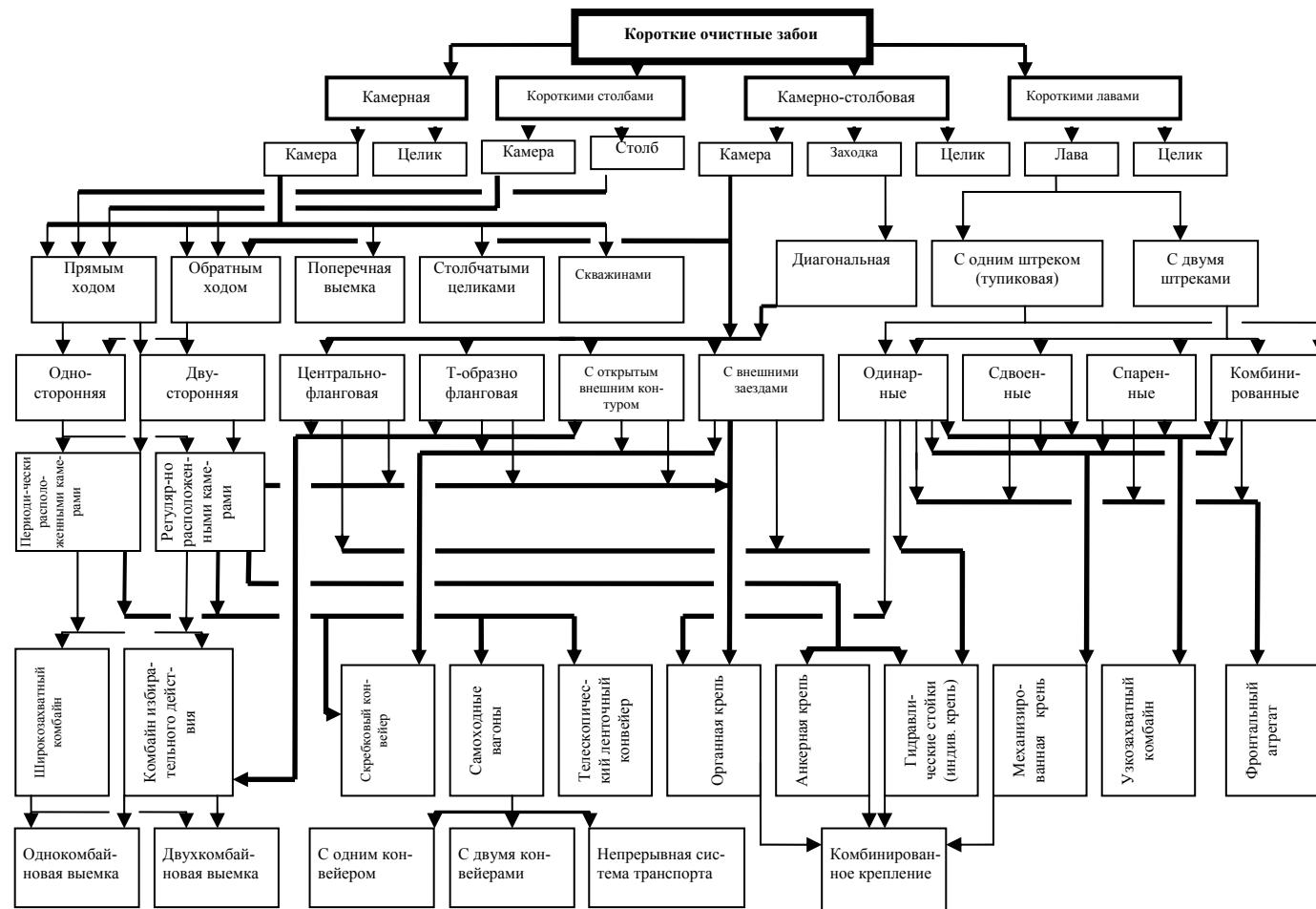


Рис. 4. Систематизация технологических схем разработки угольных пластов короткими очистными забоями

При фиксированном перепаде давления фильтрационный поток воздуха к огневому забою будет зависеть от проницаемости и трещиноватости угольного пласта, на которые существенное влияние оказывает влажность угля. Если плотность фильтрационного потока будет недостаточна, то процесс горения будет затухать. Горно-геологические условия Подмосковного бассейна позволяют эффективно использовать как технологию подземной газификации угля, так и технологию «Углегаз» на базе существующего оборудования.

Основные научные и практические результаты исследований заключаются в следующем.

1. Сформулированы теоретические положения, позволяющие обосновать геотехнологические принципы комплексного использования недр Подмосковного угольного бассейна, обеспечивающие использование низкокалорийного и высокозольного бурого угля, и практическую реализацию геотехнологических методов утилизации промышленных отходов в подземном пространстве при закрытии шахт.

2. Комплексное использование угольных месторождений обеспечивается адаптацией по геомеханическому фактору нетрадиционных для Подмосковного угольного бассейна систем разработок и выбором термодинамических параметров процесса подземного сжигания угля и промышленных и бытовых отходов на основе имитационного моделирования тепломассообменных процессов в системе «горная выработка – угольный пласт – вмещающие породы».

3. При ранжировании геотехнологических требований в современных

условиях доминирующим является обеспечение минимальной ресурсоемкости (без снижения уровня промышленной и экологической безопасности), при этом минимизация ресурсоемкости позволяет выделить группы технологических схем выемки ограниченных запасов угля в условиях форсированного сокращения производственных мощностей при ограниченных ресурсах, меняющихся требованиям к качеству угля и функциональному диапазону технологий.

4. Выявлены общие закономерности изменения показателей сжигания в подземных горных выработках смеси бурого угля и твердых бытовых отходов и обоснован эффективный режим горения, увязанный с технологическими возможностями (проведение камер, транспортные схемы и т.п.), установлено, что на 1 кг ТБО, сжигаемых в подземном пространстве, приходится 1,625 кг угля что при размещении в шахте от 10,5 до 36,5 т ТБО требуется подготовить для сжигания соответственно 17,2 и 59,3 тыс.т угля.

5. Доказано, что при заданных производительностях подземного пространства по размещению ТБО необходимая скорость горения смеси составит 0,881...3,038 кг/с, а температура газообразных продуктов горения на выходе из угольного канала составляет 400...700 К. При этом отклонения от идеального режима горения и связанные с ними добавления горючих газов в продукты подземного сжигания угля и ТБО практически не изменяют материальный баланс процесса и теплофизические свойства продуктов сжигания. ГИАБ

Коротко об авторах

Абрамкин Н.И. – Московский государственный горный университет.
Качурин Н.М. – ТулГУ.