

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Физико-технический факультет

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Часть I

ГИДРО- И ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

Учебно-методическое пособие

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

РАССМОТРЕНО И УТВЕРЖДЕНО методической комиссией физико-технического факультета

Протокол № 3 от 12 марта 2016 г.

Председатель МК ФТФ В.А. Скрипняк

Пособие составлено в соответствии с программой курса «Безопасность жизнедеятельности» для студентов физико-технического факультета направлений подготовки 24.03.03 «Баллистика и гидроаэродинамика», 16.03.01 «Техническая физика», 15.03.03 «Прикладная механика», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника». Рассмотрены вопросы, связанные с гидро- и топливно-энергетическими комплексами и их воздействием на жизнедеятельность человека.

СОСТАВИТЕЛЬ: Н.Н. Дьяченко

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Гидроэнергетика	6
1.1. Справочные данные крупнейших гидроэлектростанций России	11
1.2. Справочные данные потребления воды в жизнедеятельности человека	12
2. Угольно-топливная энергетика	14
2.1. Методы увеличения взрыво- и пожаробезопасности	20
2.2. Очистка сбросовых вод от частиц угольного шлама	22
2.3. Получение тепловой энергии	26
2.4. Очистка выбросов в атмосферу	27
2.5. Рекультивация района добычи и переработки угля	32
2.6. Статистика несчастных случаев на шахтах России	33
ЛИТЕРАТУРА	35

ВВЕДЕНИЕ

Благосостояние общества в первую очередь связано с энергообеспечением промышленного производства. За последние 140 лет население планеты возросло в 4 раза, а энергопотребление в 20 раз. К 2020 г. энергопотребление возрастет примерно на 70% по сравнению с 2005 г., а к 2050 г. на 300%. Сегодня в индустриально развитых странах проживает 16% населения планеты и на них приходится 55% энергопотребления. На оставшиеся 84% населения приходится 45% энергопотребления. Население США составляет приблизительно 5% от общего числа, но потребляет около 30% всех энергоресурсов планеты.

Мировые запасы нефти: Саудовская Аравия – 26%, Ирак – 11%, Иран – 9%, Россия – 5%, США – 2%.

Мировые запасы природного газа: Россия – 33%, страны Персидского залива – 33%.

Мировые запасы угля: США – 25%, Россия – 16%, Китай – 12%.

Здесь приведены данные 2005 г. разведанных запасов сырья.

Подавляющее число конфликтов, в том числе войн, велось не по идеологическим мотивам, а по экономическим. Война на Ближнем Востоке ведется не из-за различных «...измов», а только за нефть и газ.

Таблица потребления энергии по видам источников на сегодняшний день выглядит так:

Мировое потребление	Российское потребление
1. Уголь – 40%	1. Уголь – 16%
2. Газ – 14%	2. Газ – 43%
3. Нефть – 10%	3. Нефть – 8%
4. Гидро – 14%	4. Гидро – 17%
5. Атомная – 17%	5. Атомная – 16%
6. Ветровая – 1%	6. Ветровая – 0,03%
7. Солнечная – 1%	7. Солнечная – 0,001%
8. Геотермальная – < 1%	8. Геотермальная – <<1%

Из анализа таблицы видов энергопотребления следует вопрос, почему в общем балансе доля солнечной, геотермальной и ветровой энергии столь мала? Проанализируем эти источники энергии.

Солнечная энергия. Несмотря на огромный ресурс, плотность потока энергии ничтожно мала. Так для европейской части России этот поток составляет приблизительно $15 \cdot 10$ ватт/м², в тепловых котлах ТЭС $\approx 15 \cdot 10^4$ ватт/м², т.е. на 3 порядка выше. На сегодняшний день нет хороших материалов (или они очень дороги) для солнечных батарей. Для солнечной электростанции (мощностью 1 Гватт) в районе Воронежа потребуется площадь земли ≈ 70 км². Так как солнечная энергия поступает не круглосуточно, то необходимы накопители энергии, а их пока нет. Таким образом, на этой площади значительно выгоднее сегодня заниматься выращиванием овощей. Надо помнить, что Россия отнюдь не солнечная страна. Даже в Крыму солнечная электростанция мощностью 5 МВт в 1988 г. потребила энергии в 20 раз больше, чем выработала. Несмотря на сделанные замечания, необходимо отметить, что интерес к данному виду энергии с каждым годом увеличивается. Так в 2015 г. введена в эксплуатацию Кош-Агачская солнечная электростанция, но стоимость энергии от неё 5 рублей за Квт/час (гидростанция ≈ 3 коп. ·кВт/час). Суммарная мощность фотоэлектрических станций на планете составляет 187 ГВт. Для сравнения – суммарная мощность всех энергоустановок РФ – 140 ГВт (данные 2015 г.).

Энергия ветра. В 80-е годы в СССР были предприняты попытки реализовать проекты по использованию энергии ветра в народном хозяйстве. К решению были привлечены предприятия ВПК (военно-промышленного комплекса). Но оказалось, что получение энергии в больших объемах проблематично по многим причинам. Так спроектированная в ФРГ установка мощностью в 2–3 МВт требовала ветровое колесо диаметром 100 м. А в США уже построенную установку в 10 МВт пришлось сдать в металлолом, так как инфразвук, издаваемый ветровым колесом совпадал с альфаритмом головного мозга и жить в этом районе оказалось невозможно.

Хотя очевидно, что ветровые установки малой и средней мощности могут и должны использоваться. Опыт 80-х годов подчеркивает непродуманность постановки задачи и ее реализации.

Энергия геотермальных вод. Столь малое использование геотермальных вод в России в первую очередь объясняется малым количеством источников. Так как вода поступает с больших глубин, то она содержит большое количество оксидов, в том числе радиоактивных, редких и тяжелых элементов. Процессы дополнительного подогрева, опреснения, обеззараживания сводят к нулю рентабельность геотермальных установок.

Термоядерная энергетика. В 60–70-е годы человечество грезило созданием управляемого термоядерного синтеза – вечного источника энергии, как тогда писали, «рукотворного солнца». Но надо признать, что желаемое выдавали за действительное. Человечество не готово, видимо, сегодня получить управляемый термояд для промышленной энергетике. Хотя надо отметить, что в последние годы содружество стран – Россия, США, Китай, Франция пытаются реанимировать советский проект «ТАКАМАК».

Безусловно, с развитием науки, техники, технологий человечество усилит поиски нового вида источника энергии, продолжит осваивать энергию Солнца и термоядерного синтеза. Просто у него нет альтернативы, так как запасы углеводородов хотя и большие, но ограничены. С каждым годом добыча угля, нефти, газа ведется с больших глубин и удаляется от потребителя, тем самым увеличивая себестоимость. Рассмотрим широко используемые в настоящее время источники энергии.

1. ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

ГЭС традиционно считается наиболее экологически чистым источником энергии.

Для стабилизации расхода воды и, следовательно, для стабилизации работы ГЭС необходимо иметь достаточно большой объем воды. С этой целью строятся водохранилища. Наиболее простой

способ строительства – это перегородить русло реки плотиной. Чем выше плотина, тем больше запасенная потенциальная энергия воды. Масса запасенной воды при такой конструкции плотины определяется массой плотины, ее прочностью и силой сцепления с ложем русла. Если масса воды превышает расчетную величину, то она разрушит плотину. Во избежание этого предусматриваются аварийные сбросы (на Саяно-Шушенской ГЭС во время аварии водосбросы не работали, их просто не построили). Если уровень воды превысит уровень плотины, то вода будет перетекать. При этом наряду со статическим давлением, появляется его динамическая составляющая. В начальный момент динамическое давление небольшое, но по мере размывания плотины расход воды увеличивается, давление нарастает стремительно. Для устранения размывания верхнюю часть тела плотины бетонируют и прокладывают технологические дороги. Плотина Саяно-Шушенской ГЭС построена по принципу пластинчатой пружины, выпуклость которой направлена в сторону водохранилища. Чем сильнее вода давит на плотину, тем сильнее (распрямляясь) плотина давит на боковые скальные стены (как альпинист, идущий в расщелине «на распоре»). За счет такой конструкции плотины при строительстве ГЭС были сэкономлены тысячи тонн бетона. Но остался открытым вопрос – как долго выдержат гигантское давление береговые скалы, в которые упирается плотина. Высокогорные водоемы, гидросооружения, построенные в горной местности, представляют объекты повышенной опасности, так как могут подвергаться воздействию со стороны сходом лавин, селей, землетрясений. Наряду со строгим регламентом эксплуатации, эти объекты должны быть снабжены надежными гидро-, метео- и геослужбами. Гидроэлектростанции, построенные на равнинной местности, при кажущейся безобидности оказывают медленное экологическое воздействие и зачастую резко отрицательное. Рассмотрим пример.

Обское водохранилище, построенное на равнинной части Западной Сибири, имеет площадь 1072 квадратных километров, глубину – несколько метров. Солнечные лучи прогревают воду, способствуя бурному размножению микроорганизмов, которые в хо-

лодных водах Алтая ранее не наблюдались. И этот «букет» водорослей и микроорганизмов через водосбросы Новосибирской ГЭС попадают в низовья Оби. Осетровые породы рыб (которыми еще недавно славилась Сибирь) за короткий срок не могут адаптироваться к новой, непривычной пище. И, как следствие, новые болезни и резкое сокращение рыбного поголовья. Кроме этого плотина отрезала места нерестилищ для осетра на 40%, для нельмы на 70%. Большая водная поверхность приводит к большому испарению. Большой объем воды это большой накопитель тепла, поэтому вода долгое время не замерзает в осенне-зимний период. Над водохранилищем как летом, так и осенью до глубокой зимы стоит туман. Капельки воды, соединяясь с выбросами промышленных предприятий, выпадают в виде щелочных и кислотных дождей. К этим перечисленным бедам надо добавить потери от затопления плодородных пригородных земель Новосибирской области.

Особо надо отметить, что аварийный сброс воды или разрушение плотины могут послужить «спусковым крючком» для более разрушительных последствий. Так ниже по течению Енисея от Саяно-Шушенской ГЭС стоит город Красноярск с его почти миллионным населением, атомными и химическими предприятиями.

Пословица «беда не приходит одна» применима к природным и техногенным катастрофам. Так землетрясение в Тихом океане вызвало цунами, то в свою очередь разрушило электростанцию, питающую электроэнергией насосную АЭС. В итоге расплавленные реакторы и атомная катастрофа на АЭС Фукусима. Человечество получило второй Чернобыль. Остаётся добавить «человеческий фактор», усугубивший последствия этих бед.

Главное преимущество гидроэнергетики заключается в том, что она работает на возобновляемых ресурсах. Отсутствие потребности в топливе определяет низкую себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС. Несмотря на значительные удельные капиталовложения на получение 1Квт энергии, продолжительные сроки строительства, гидроэнергетике уделяется большое значение, особенно когда это связано с энергоёмким производством (выплавка алюминия, меди, стали, никеля и т.п.). Однако, даже с

учётом низкой себестоимости энергии, в общем балансе энергопотребления гидроэнергетика способна удовлетворить не более 6%. Это связано с ограничением дешёвых ресурсов и влиянием строительства и эксплуатации предприятий гидроэнергетики на окружающую среду. Так строительство ГЭС (включая водохранилища) сопровождается перемещением больших масс грунта, что вызывает разрушение почвы, выброс в атмосферу частиц грунта, загрязнением водосливов. Кроме этого в окружающую среду попадает строительный мусор и цемент, используемый при строительстве плотин и зданий промышленного производства. В процессе эксплуатации ГЭС нарушается водно-температурный баланс (повышенная влажность, туманы, незамерзающий водоём, подтопление близлежащих площадей). Большая масса воды нарушает не только гидрологию, но и геологию района. Весенне-паводковые воды не впитываются почвой, так как она насыщена водой водохранилищ, давление воды на ложе водохранилища способно вызвать оползни, а в горной местности землетрясение. Под действием строительства и эксплуатацией ГЭС формируется новая экосистема, как правило, враждебная жизнедеятельности человека.

В стороне стоит проблема (ее кроме писателей никто даже не обсуждает) о морально-этических потерях, когда под воду уходят следы нашей цивилизации, как например, в «долине мертвых» (Египет), вдоль реки Янцзы (Китай) или в районе Рыбинского водохранилища (Россия). К сожалению, этот перечень можно долго продолжать.

На сегодняшний день в России 55 тыс. гидротехнических сооружений. Среди них опасных 330, включая 168 плотин, 30 гидроузлов, 25 дамб. Общая площадь паводко-опасных районов составляет 400 тыс. кв. км, из которых ежегодно затопливается 50 тыс. кв. км. Затоплению подвержены территории 746 городов и тысячи населённых пунктов с населением 4,6 млн человек и более 7 млн га сельхозугодий (данные ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ в 2012–2020 гг.»).

В недавнее время многие промышленные и сельскохозяйственные комплексы имели свои водохранилища. В период паводка

объём воды часто превышает критическое значение, через аварийные шлюзы вода сбрасывается в реки, увеличивая подтопление. Дамбы и плотины служащие защитой населённых пунктов во время паводка могут не выдержать напора воды и разрушиться, посёлки и города в этом случае накрывает многометровая волна воды. По такому сценарию развивалась трагедия в 2012 году в г. Крымске, унёсшая жизни 168 граждан города. Пожалуй, главная причина столь большого аварийного количества гидросооружений (300 единиц) заключается в том, что потенциально опасные объекты были приватизированы, а затем остались бесхозными. Для обеспечения безопасности жизнедеятельности человека в подобных районах (а это Дальний восток, Восточная и Западная Сибирь; низовья Волги, Краснодарский край) необходимо научное обоснование строительства гидросооружений и долгосрочный прогноз развития ситуаций. Система оповещения населения об угрозе должна быть на современном уровне. Землетрясение в Тихом Океане и волна цунами были зафиксированы спутниковой системой слежения, но в течение шести часов движения волны до побережья Цейлона население оставалось в неведении о надвигающейся беде и в итоге 240 тысяч человек погибли только на Цейлоне. Установка сирен, оповещающих население о прорыве дамбы (установлены в Краснодарском крае после трагедии в г. Крымске) показывает отсутствие профессионализма и ответственности у исполнителей. Волна, высотой с дамбу (т.е. минимум 10 м) движется со скоростью более 100 км/час и невозможно успеть эвакуировать население за время после сигнала сирены.

Решая столь грандиозные задачи как строительство гидроэлектростанций, орошение полей, осушение болот, мы нарушаем природно-экологическое равновесие. **Без этого не обойтись.** Но надо помнить, что краткосрочная выгода сегодня может обернуться невосполнимыми потерями завтра. Как говорится: «семь раз отмерь – один раз отрежь».

В подтверждение справедливости данного замечания приведём результат деятельности человека на реке Волга. В годы первых пятилеток русло реки покрылось сетью гидросооружений.

К настоящему времени бассейн реки занимает треть европейской территории России, только дельта реки раскинулась на 68 тысяч гектар-это территория небольшого европейского государства. За 50 лет площадь водного зеркала увеличилась в 5 раз, а средняя глубина уменьшилась на 2,5 метра, достигнув во многих местах критического значения для судоходства. Как следствие, самые распространённые корабли флотилии остались не у дел. Капитаны снижают нагрузку, общий годовой недогруз достигает 70% (600 тыс. т). По сути, нарушена сквозная транспортная артерия России Север-Юг. А как известно, стоимость перевозки 1 т груза водным путём в 6 раз дешевле железнодорожного. Время пути судна от Нижнего Новгорода до Астрахани увеличилось почти в 10 раз. Некогда самое богатое рыбное хозяйство России находится на грани исчезновения (рыба не может преодолеть каскад плотин к местам нерестилищ плюс сточные сбросы предприятий). Каналы, построенные для нужд сельского хозяйства (а это порядка 5 тыс. км), практически не используются, так как орошение полей за последние 20 лет сократилось в 10 раз. Только на восстановление этих каналов требуется десятки миллиардов рублей. Ещё большие капиталовложения необходимы для восстановления судоходства на символе России – Волге!

1.1. Справочные данные крупнейших гидроэлектростанций России

Саяно-Шушенская ГЭС (1963–2000 гг.)

Электрическая мощность 6 400 МВт, годовая выработка 23 500 млн кВт/час. Себестоимость 1 кВт/часа 1,62 коп (2001 г.). Тип плотины-бетонная арочно-гравитационная. Высота плотины – 245 м. Длина плотины – 1 074 м. Плотины образуют Саяно-Шушенское водохранилище. Объём – 31,34 км³, длина 3 200 км, площадь 621 км².

Экология. Затоплено 35 600 га сельхозугодий (по другим данным 18 300 га). Перенесено 2 717 строений. Затоплено 3 млн м³ древесины.

17.08.2009 г. произошла авария, погибло 75 человек. Стоимость восстановительных работ составила 38 млрд руб. в ценах 2015 г.

Красноярская ГЭС (1956–1972 гг.)

Электрическая мощность 6 000 МВт, годовая выработка 20 400 млн кВт/час, себестоимость 1 кВт/часа 2,2 коп (2001 г.). Высота плотины 124 м длина плотины – 1 065 м. Водохранилище: объём 73,3 км³, площадь 2 000 км².

Экология. Затоплено 120 000 га сельхоз угодий, перенесено 13 750 строений.

Новосибирская ГЭС (1950–1961 гг.)

Электрическая мощность 455 МВт, годовая выработка 2 000 млн кВт/час, себестоимость 1 кВт/часа 2,75 коп (2001 г.). Высота плотины 28 м длина плотины 198,5 м. Водохранилище: объём 8,83 км³, площадь 1 072 км².

Экология. Затоплено 28 400 га сельхозугодий. Перенесено 8 225 строений.

Братская ГЭС (1954–1967 гг.)

Электрическая мощность 4 500 МВт, годовая выработка 22 600 млн кВт/час, тариф 1 кВт/часа 17 коп. (2001 г.). Высота плотины 147 м, длина плотины 924 м.

Экология. Затоплено более 100 деревень и 70 хозяйственно освоенных островов.

1.2. Справочные данные потребления воды в жизнедеятельности человека

Вода является самым распространённым минералом на Земле. Россия по возобновляемым ресурсам пресной воды находится на втором месте в мире после Бразилии и занимает первое место в мире по объёму воды на душу населения. Однако только 1% от этого гигантского объёма соответствует категории «питьевая вода» без предварительной обработки. Ежесуточное мировое по-

ребление воды 7–9 млрд м³. Вода является неотъемлемым компонентом практически всех технологических циклов промышленного и сельскохозяйственного производств. На производство 1 т промышленной продукции требуется количество воды:

Сталь – 20 м³.

Никель – 4 000 м³.

Бумага – 250 м³.

Х/б ткань – 250 м³.

Аммиак – 1 500 м³.

Синтетический каучук – 2 000 м³.

На выращивание 1 тонны с/х продукции требуется количество воды:

Пшеница – 1 000–1 500 м³.

Рис – 7 000 м³.

Хлопок – 10 000 м³.

Теплоэлектростанция в год расходует $3 \cdot 10^8$ м³ воды.

Основным источником загрязнения воды является производственная деятельность человека и в первую очередь добыча и переработка минерального сырья. Как примеры можно привести районы Тюменской, Кемеровской областей, Поволжья, Южного Урала. Большое количество воды уходит на коммунально-бытовые нужды. Так в Москве объём потребляемой воды на одного человека в сутки приближается к 1 м³, это самый высокий показатель в мире (на порядок выше, чем в Лондоне). Свой вклад в загрязнение водоёмов вносит транспорт. Продукты сгорания бензина, керосина, солянки содержат ртуть, свинец и их соединения. До 80% пресной воды используется в сельском хозяйстве. В сбросовых водах этого производства содержатся ядохимикаты, используемые в качестве удобрений, а также значительное количество органических соединений попадающих со стоками животноводческих ферм. Предприятия химической, атомной промышленности, коммунальных хозяйств, обогатительных фабрик горно-рудной промышленности, ТЭЦ сбрасывают воды, температура которых выше температуры окружающей среды. С повышением температуры усиливаются химические реакции элементов примесей, увеличи-

вается их токсичность и окисляемость. Температурное загрязнение нарушает биологическое равновесие гидросферы.

Для минимизации загрязнения гидросферы необходимо:

1) переводить производство на замкнутый цикл использования воды, как это делается в атомной промышленности;

2) все предприятия промышленного, сельскохозяйственного, коммунального производств необходимо обеспечить очистными сооружениями в соответствии с экологическими нормативами;

3) орошение полей необходимо перевести на современные технологии (Арабские Эмираты, Саудовская Аравия полностью обеспечивает своё население зерном за счёт использования капельного орошения);

4) восстановление и реконструкция всех видов гидросооружений.

Мировой рынок воды в 2012 г. оценивался в 1 трлн долл. Более 50% населения планеты испытывают острый дефицит пресной воды. И, как следствие, можно прогнозировать, что в ближайшее время (20–30 лет) конфликты между государствами будут возникать не только из-за углеводородов, но и, прежде всего, из-за пресной воды.

2. УГОЛЬНО-ТОПЛИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Согласно мировым и российским прогнозам на ближайшие 10–20 лет прирост энергопотребления будет обеспечиваться за счёт расширения использования углеводородного сырья и в первую очередь за счёт угля. Доля угля в энергобалансе России в 2013 г. составляла 25%, а к 2020 г. эта цифра достигнет 36%.

Добыча угля открытым способом. Данный вид добычи используется при залегании угля в верхних слоях земной коры. Работы производятся взрывным и гидродинамическим способом. Основной экологический вред окружающей среде заключается в выбросе в атмосферу значительного количества мелкодисперсной фракции твердых частиц угля и сопутствующей породы. Кроме

этого при взрывных работах выделяется значительное количество рудничного газа (метана, углекислого газа), растворенного в угольных пластах. Гидродобыча сопровождается сбросом твердых частиц в открытые водоемы (реки, озера), следовательно, карьеры угледобычи должны быть обеспечены как системой дегазации, так и водоочистными сооружениями.

Добыча угля закрытым способом. Высоко-энергетические сорта угля залегают на значительной глубине, поэтому применяется закрытый (шахтный) способ его добычи. В экономическом плане это более затратный способ и более опасный для шахтёров. При разработке угольных пластов выделяется значительное количество рудничного газа, который находится в растворенном состоянии. Так 1 кг угля может выделить до 200 л метана и 800 л углекислого газа (в газовой фазе при давлении 760 мм рт. ст.).

Уголь с растворенным в нем газом подобен сжатой пружине. Спонтанное нарушение равновесия, вызванное естественным воздействием на пласт (обвал, подвижка грунта и т.п.), либо техногенное воздействие (взрывные работы, бурение, выемка угля и т.п.) сопровождается выбросом значительной массы угля. При внезапном расширении газа (растворённый газ переходит в газообразный) пласт угля дробится на мелкие частицы (80 мкм и меньше).

Выброс – не взрыв, но последняя его стадия похожа на взрыв. Это напоминает «взрыв» монометровой бомбы, в корпусе которой возникает дефект. Наибольшая вероятность выброса при вскрытии пласта или при бурении шурфа. Примеры из практики. При бурении шурфа диаметром 42 мм и длиной 3,5 м было выброшено 400 т «угольной муки», а при вскрытии пласта через отверстие в 5 м² вырвалось со сверхзвуковой скоростью 14 000 т угля и огромное количество метана. В состав рудничных газов входит двуокись углерода CO₂, растворимость которого в угле в 4 раза выше метана. Выбросы стимулируются не только техногенным воздействием на угольный пласт, но и природным (землетрясения, сдвиги пластов и т.п.). К профилактическим мерам относятся: снятие напряжения в пластах (в том числе микровзрывами, как это делается в сейсмо- и лавинно-опасных районах), проветривание. Количество

подаваемого воздуха в шахту для проветривания зачастую превосходит вес добываемого угля. В настоящее время широкое распространение получает предварительная дегазация угольного пласта. Этим достигается две цели: обеспечение безопасности подземных работ и повышение рентабельности шахты за счёт использования метана.

Для шахтеров основной источник опасности это метан. Смесь метана с воздухом в пределах 5–16% взрывоопасна. Для взрыва необходимо только локальное повышение температуры, вплоть до зажженной спички или искры, вызванной падением куска породы. Наиболее взрывоопасна смесь метана с воздухом и угольной пылью. Скорость распространения пламени зависит от газовыделения, концентрации пыли и размера частиц пыли. При скорости распространения пламени около 60 м/с давление на фронте ударной волны $0,2 \cdot 10^5$ Па. При меньших давлениях взрыв затухает. При увеличении скорости пламени увеличивается давление на фронте ударной волны, которое переводит слой осевшей пыли во взвешенное состояние, т.е. увеличивает концентрацию угольной пыли в смеси воздух-метан – частицы угля. При скорости пламени равной скорости звука взрыв угольной пыли переходит в детонацию при этом давлении на фронте ударной волны порядка $22,5 \cdot 10^5$ Па.

Основные компоненты рудничного газа:

Метан – до 100%.

Азот – до 5%.

Углекислый газ – до 5%.

Оксид углерода – 0,5–1,4%.

Водород – 1–4%.

Характеристика составляющих рудничного газа

Метан(CH_4) – плотность **0,524**. Теплотворная способность в среднем в 1,5 раза выше, чем у угля, поэтому метан нашёл широкое применение в металлургии (95% стали и 60% чугуна выплавляется с использованием метана). Температура самовоспламенения (670–750°C) зависит от процентного содержания в воздухе и

давления. Метано-воздушная смесь горит при 5–6% содержании метана и постоянного источника воспламенения, при 6–14% содержании метана смесь взрывается. Температура в продуктах взрыва метана в открытых объемах достигает 1 875°C, в закрытых объемах 2150–2650°C.

Азот (N₂) – плотность 0,97, газ в нормальных условиях безвреден, но при высоких температурах и давлениях окисляется, образуя ядовитые соединения.

Углекислый газ (CO₂) – плотность 1,53. При концентрации ≈5% – одышка, при концентрации ≈10% – обморочное состояние, смерть.

Оксид углерода (CO) – плотность 0,97. Предельно ядовит. При концентрации ≈1% смерть наступает после одного-двух вдохов, горит и взрывается при концентрации в воздухе в пределах 12,5–75%. Максимальная сила взрыва при концентрации 30%, температура воспламенения в этом случае 630–810°C. Основные источники оксида углерода, кроме составляющей рудничного газа, являются взрывные работы, пожары, взрывы метана, угольной пыли.

Водород (H₂) – плотность 0,069 (в 6 раз легче метана, не ядовит). При концентрации в воздухе 4–74% образует взрывчатую смесь. Предельно опасен, смесь 4% водорода и воздуха воспламеняется при температуре ≈150–200°C.

Гомологи метана (этан, пропан, бутан, пектан, этилен, ацетилен). В рудничном газе их мало, но они более опасны, чем метан, и их концентрация может достичь критических значений при горении угля.

В выше перечисленных газах плотность указана в отношении к плотности воздуха в нормальных условиях. Составляющие рудничного газа являются горючей составляющей смеси, окислителем является кислород.

Кислород (O₂) – относительная плотность 1,1. В составе атмосферного воздуха 20,95% кислорода. На рабочем месте шахтера в составе воздуха кислорода должно быть не менее 20%, при 17% – одышка, 12% – обморочное состояние, при 9% – смерть.

Кроме составляющих атмосферного и рудничного газов в шахте имеется большое количество воды в жидкой фазе. Источниками воды являются грунтовые воды и вода, используемая в технологическом цикле добычи угля. При пожарах вода превращается в пар, повышает давление воздуха в шахте, понижает концентрацию кислорода. При дыхании водяной пар поступает в лёгкие, там он остывает до 100°C и при переходе от газообразного состояния в жидкое выделяет тепло фазового перехода, шахтёр получает ожоги дыхательных путей и лёгких. При больших температурах молекула воды распадается, создавая дополнительные горючее и окислитель. В процессе горения рудничного газа, угольной пыли, транспортировочной ленты, изоляционного материала, смазочных масел и т.п. в атмосфере шахты появляются продукты их горения, которые являются токсичными наряду с рудничными газами.

Сероводород (H₂S). Допустимая доза 0,0071%, при концентрации 0,1% смерть наступает мгновенно.

Диоксид азота (NO₂). Допустимая доза 0,0026%. При концентрации 0,025% – отравление со смертельным исходом.

Диоксид серы (SO₂), допустимая доза 0,00036%.

Горная порода содержит значительное количество радиоактивных элементов (уран, торий), которые выделяют радиоактивный газ-радон. Процесс добычи угля усиливает выделение этого газа.

Указаны наиболее токсичные продукты горения.

Угольная пыль. Уголь наряду с рудничным газом является источником горючего материала в шахтах. Значительную опасность для шахтёров представляет угольная пыль в аэрозольном состоянии. В забое основной спектр частиц лежит в диапазоне 0–25 мкм. По мере движения в цикле добыча-обогащение-транспортировка частицы дробятся, уменьшая массовое содержание крупных фракций и увеличивая массовое содержание мелких фракций. Так фракция частиц, размер которых 0–1 мм увеличивается от 7% в забое до 23% на товарных складах шахты. В реальных условиях 1 т добытого угля содержит в среднем 1 кг витающей пыли, размер частиц которой 0,1–200 мкм. Химические реакции, как правило, проходят на поверхности. Дробление частиц приводит к увеличе-

нию их поверхности и как следствие, к увеличению кислорода на поверхности частиц. Смесь угольной пыли и воздуха взрывоопасна. Нижний предел взрываемости соответствует концентрации угольной пыли в воздухе 25 г/м^3 . Это относится к аэрозольным частицам угля при нормальных условиях по влажности и температуре смеси. Смесь угольной пыли воздуха и метана более взрывоопасна, так как за счёт метана уменьшается нижний предел взрываемости. Кроме этого наличие метана в смеси увеличивает её энергоёмкость. Процесс горения имеет взрывной характер, при больших температурах и давлениях переходящий в детонацию. Скорость распространения фронта горения в неподвижной среде незначительна ($\approx 0,3 \text{ м/с}$ для смеси метан-воздух) и определяется молекулярным механизмом теплопроводности. При взрывном характере горения механизм теплопроводности меняется и распространение фронта горения достигает сотен метров в секунду, рождая ударную волну. Затем процесс может перейти к детонационному характеру. Скорость детонационной волны $2\ 500 \text{ м/с}$, давление на фронте ударной волны достигает $2,2 \text{ МПа}$. Ударная волна переводит ранее осевшую пыль во взвешенное состояние, тем самым увеличивает массу горючего материала, образно говоря, «подбрасывает горючее в топку». Давление в ударной волне приводит к резкому увеличению температуры, значение которой превосходит температуру зажигания.

Порог безопасного избыточного давления во фронте ударной волны $0,006 \text{ МПа}$. При избыточном давлении $0,04 \text{ МПа}$ 100% вероятность смертельного поражения человека. Для сравнения, разрушение ламп дневного освещения происходит при давлении $\sim 0,005 \text{ МПа}$, бетонные перемычки разрушаются при $0,08 \text{ МПа}$. Степень поражения и разрушения зависит от положения тела шахтера по отношению к фронту ударной волны, геометрических параметров конструкций и времени воздействия ударной волны. Кроме силового воздействия при горении и взрыве угольная пыль имеет значительное негативное воздействие на организм шахтера попадая в легкие вместе с вдыхаемым воздухом. Угольная пыль вызывает целый ряд заболеваний дыхательных путей и лёгких

шахтёров, причём, негативное воздействие накапливается. Предельно допустимая концентрация пыли во вдыхаемом воздухе 10 мг/м³.

2.1. Методы увеличения взрыво- и пожаробезопасности

Дегазация угольных пластов. В угольном теле бурятся шурфы и с помощью насосов откачивается газ. Подобная технология широко используется на шахтах США, Англии, Германии. В этих странах без предварительной дегазации разработка пластов законодательно запрещена. В Бельгии с 1960 г. добыча угля ведётся только открытым способом. К этому способу добычи угля склоняются и вышеназванные государства. Поэтому в западных странах число взрывов на шахтах с годами уменьшается. В России (и это надо признать) методы дегазации разработаны слабо и, как следствие, число аварий с человеческими жертвами за пятилетний период, начиная с 1960 г., практически не изменяется.

Вентиляция шахт. Пожары, взрывы в шахтах являются следствием наличия в атмосфере шахты взрывоопасных газов и угольной пыли во взвешенном состоянии. Инициировать взрыв может горящая спичка, повреждение электропроводки шахтового оборудования, трение и возгорание транспортировочной ленты, ремонтные и взрывные работы и даже падение куска породы. Первоочередным противопожарным действием является вентиляция шахты. Расход воздуха для вентиляции определяется для каждого участка шахты индивидуально, так как зависит от многих параметров (газоносности пласта, количества вынимаемого угля, технологической схемы шахты и т.п.). Зачастую вес воздуха нагнетаемого вентиляторами в шахту превосходит вес вынимаемого из шахты угля. Вентиляция шахты является главным мероприятием обеспечивающим безопасную добычу угля в шахтах. Как показывает анализ аварий, ошибки в расчётах количества воздуха подаваемого в забой достигают 80%, на участок – 60%, в целом в шахту – 20%. Часто допускается ошибка, когда при пожаре подается увеличенный

расход воздуха в надежде, что это приведёт к выветриванию угарного газа. Но при этом к очагу пожара подаётся дополнительный кислород, находящийся в вентиляционной струе воздуха. Кроме этого усиленная вентиляция переводит часть ранее осевшей угольной пыли во взвешенное состояние, т.е. добавляется горючее вещество. Воздушные потоки в шахте обладают достаточно сложной пространственной схемой движения и только экспериментальным путём поставленную задачу не решить. В настоящее время разрабатываются и используются комплексы вычислительных программ для расчёта процесса вентиляции.

Пылеподавление. Первоисточником пыли является работающий угольный комбайн. Для подавления пыли используется оросительная система, к каждому резцу подводится водовод. Вода выполняет двойную функцию: гасит возможное образование искр при трении резца о породу и смачивает частицы пыли, которые слипаются и под действием гравитационной силы опадают в районе рабочего участка. Кроме системы внутреннего орошения, используются системы орошения с пылеотсосом. Для увеличения степени слипания частиц угольной пыли в воду добавляют поверхностно активные вещества (ПАВ). Широко используются различные типы пылеулавливателей, применение которых определяется концентрацией и размером частиц пыли. Среди них: пылеосадочные камеры (размер частиц >100 мкм, КПД $\sim 40\%$); циклоны (концентрация $\sim 0,4$ кг/м³, размер частиц >10 мкм, КПД $\sim 80\%$); рукавные фильтры (концентрация $\sim 0,02$ кг/м³, размер частиц >10 мкм, КПД $\sim 90\%$); пенные пылеулавливатели (концентрация $\sim 0,3$ кг/м³, размер частиц $>0,5$ мкм, КПД $\sim 95\%$). Сильно запылённые участки проходки изолируются от остального пространства водяными завесами (расход воды $\approx 0,1$ кг/с на 1 м³ запылённого помещения) и воздушно-водяными завесами (расход воды 0,07 кг/с и воздуха 0,04 м³ запылённого помещения). При очистке воздуха от пыли используется одно-, двух- и трёхступенчатая системы пылеулавливания.

Пожаротушение. Превентивными мероприятиями пожару являются дегазация угольного пласта и вентиляция шахты. В случае

возникшего пожара, для его тушения необходимо: понизить температуру в очаге пожара; понизить концентрацию кислорода; изолировать горящее вещество от поступления кислорода. Для тушения очага возгорания эффективным является орошение мелкодисперсным потоком воды. Испарение капель воды понижает температуру пламени, а водяной пар понижает концентрацию кислорода. Для понижения температуры используются порошковые огнетушители, рабочим телом в котором являются инертные вещества (гипс, мел и т.п.). Пенные огнетушители блокируют доступ кислорода и угольной пыли к очагу горения. Для понижения концентрации кислорода в шахтовой атмосфере используются инертные газы, вырабатываемые противопожарными газогенераторами.

Если горение перешло во взрывную фазу, то необходимо в первую очередь понизить энергию ударной волны. Наиболее распространённый способ понижения энергии – это расположение по пути вероятного распространения ударной волны легко разрушаемых ёмкостей с водой и порошком инертных веществ. Для индивидуальной защиты шахтёра используются различного типа респираторы и аппараты с запасом кислорода (самоспасатели). Разработкой методов безопасной добычи угля занимаются научно-производственные центры угольной промышленности (Донецк, Кузбасс, Воркута, институт им. А.А. Скочинского), к этим работам привлекаются вузы РФ и институты РАН.

2.2. Очистка сбросовых вод от частиц угольного шлама

В цикл добычи угля наряду с обеспечением безопасности производства входит решение экологических задач очистки сбросовых шахтных вод от взвешенных частиц угля и породы, а также обеззараживания воды.

На каждую тонну угля, добытого закрытым способом, приходится в среднем два кубометра сточных вод, которые содержат от одного до трех килограмм частиц твердой фазы. Перед сбросом шахтных вод в открытые водоемы вода очищается. Очистка от

грубодисперсной твердой фракции осуществляется традиционным путем – отстоем и фильтрацией.

В качестве примера приведем параметры очистных сооружений шахты им. Ленина гор. Междуреченска Кемеровской области. Объем отстойника 12000 м^3 , площадь поперечного сечения отстойника 72 м^2 . Процесс фильтрации протекает в контактных осветлителях. Количество осветлителей 18, площадь фильтрации одного осветлителя 30 м^2 , материал загрузки – кварцевый песок (диаметр зерна 1–2 мм). Расход воды $2000 \text{ м}^3/\text{час}$ (средний), концентрация частиц 1000 мг/л (средняя). Параметры очистных сооружений определялись производительностью шахты, нормами содержания твердых частиц в сбросовых водах, которые были установлены ГОСТом на конец шестидесятых, начало семидесятых годов (время проектирования и строительства очистных сооружений). Основная масса частиц твердой фракции, содержащаяся в шахтных водах, лежит в диапазоне от 5 до 500 мкм. Наибольшее массовое содержание приходится на частицы от 10 до 90 мкм (76%). Материальный баланс стадии отстаивания составляет 50%, фильтрации – 80%. Суммарный материальный баланс работы очистных сооружений – 90%, содержание частиц в сбросовых водах составляет 100 мг/л .

Отстойники шахты им. Ленина (как и большинство, применяемых в настоящее время в угольной промышленности), работающие в штатном режиме, позволяют осаждать частицы угля размером более 70 мкм. А так как частицы имеют пластинчатую структуру, то они легко перегораживают фильтрационные каналы песчаных фильтров. Слой песка и частиц угля за счет увеличения перепада давления при движении воды переходит в псевдосжиженное состояние, процесс фильтрации прекращается. Отсюда столь малая грязеёмкость шахтовых песчаных фильтров ($\sim 3,5 \text{ кг/м}^3$). Для улучшения работы фильтров в отстойниках необходимо осаждать частицы вплоть до размера 10 мкм. Этого можно добиться интенсификацией использования коагулянтов и увеличением площади отстоя. При применении коагулянта необходимо учитывать два минуса. Первое-коагулянт достаточно дорогое вещество, вто-

рое – смесь коагулянта с мелкой угольной фракцией обладает повышенной адгезией и легко образует блокирующий слой в пористой среде песка. Значительное (на порядки) увеличение площади отстоя, при таком же объеме, можно добиться за счет использования тонкослойного (жалюзийного) отстойника. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что только за счет использования жалюзийного отстойника грязёмкость увеличивается в 15 раз, время работы фильтра между операциями регенерации (очистки) песка увеличивается в разы. Кроме решения экологической задачи, значительно уменьшается себестоимость очистки шахтных вод от частиц твердой фракции. Наличие подвижных планок жалюзи дает возможность оптимизировать процесс очистки в зависимости от расхода очищаемой воды и параметров примеси. Очистка воды от мелкой фракции угля осуществляется методом флотации. Для этого через объем воды пропускается мелкодиспергируемые пузырьки воздуха. Обеззараживание сбросовых вод производится, как правило, её хлорированием. В настоящее время для этой цели находит широкое применение озонирование.

Флотационная очистка воды

После прохождения стадии отстаивания сбросовые воды содержат в основном (до 75%) тонко-дисперсный состав твердых частиц. Физико-химические характеристики поверхности частиц и воды в значительной степени определяют технологию очистки, так как на данном этапе определяющим является не гравитационные силы, а электрические. Поверхность частиц каменного угля имеет отрицательный заряд. Одноимённость заряда препятствует процессу коагуляции частиц и следовательно их гравитационному осаждению. Для нейтрализации этого явления (отталкивания частиц друг от друга) используются коагулянты с положительными зарядами. Наряду с электрической характеристикой поверхности частиц большое значение для процесса очистки воды имеет гидрофобность, характеризующаяся величиной краевого угла смачивания. Эффективность очистки воды от тонкодисперсной фракции частиц, имеющей большой угол смачивания достигает 75%, для антрацита до 45%.

Процесс флотации, наряду с очисткой воды, используется для извлечения из общего ансамбля примесей частиц угольной фракции. При соответствующих условиях флотацию можно использовать для разделения (седиментации) частиц, как по размеру, так и по химическому составу.

Наибольшее применение нашли аппараты, имеющие атмосферный воздух, так как химический состав газа не является определяющей характеристикой подъёмной силы пузырька. В сбросовых водах могут находиться и биологически активные вещества, для их обеззараживания используется газообразный хлор. В настоящее время для этой цели находит широкое применение озонирование сбросовых вод.

Грунтовые воды, которые входят в состав сбросовых вод, содержат значительное количество гидроокислов металлов. За счёт дополнительного окисления кислородом воздуха или озоном гидроокислы переходят в твёрдое состояние и за счёт поверхностно-активных веществ (ПАВ добавляют в воду при её осветлении) коагулируют, образуя хлопья. Использование флотации позволяет снизить содержание взвешенных веществ в воде и получить пенный продукт с концентрацией до 50 г/л. Такого уплотнения гидроокислотного осадка чисто гравитационным методом достичь невозможно.

В заключение необходимо отметить, что для выполнения современных нормативов ПДК по содержанию взвешенных частиц в сбросовых шахтных водах (~2 мг/л) применение только классических методов очистки нереально ввиду большого объема воды. Использование опыта зарубежных стран малоэффективно из-за суровых климатических условий России, особенно в районах Сибири и Крайнего Севера, где в основном сосредоточены угледобывающие мощности. Альтернативой перечисленным способам улучшения работы очистных сооружений является привлечение современных моделей течения многофазных сред, проектирование на их основе гидросооружений с целью увеличения степени осаждения твердых частиц и грязеёмкости стандартного фильтрующего материала. Кроме этого необходимо отметить, что задачи

отстаивания и фильтрования в теоретическом плане решаются методами механики сплошных сред. Процесс отстаивания в этом случае достаточно хорошо моделируется и в сочетании с экспериментальными исследованиями даёт реальный результат. Процесс же фильтрования проходит на уровне отдельных частиц и требует иного математического описания. Для моделирования среды состоящей из отдельных частиц (к ней относятся насыпные фильтры) был разработан метод дискретных элементов. Но для его использования требуются значительные вычислительные ресурсы.

2.3. Получение тепловой энергии

Блок ТЭЦ мощностью 1 млн КВт потребляет в год 3–4 млн т угля. При сгорании в отвал выдается 400 тыс. т твердых отходов, в которых содержатся порядка 150 т бария, 45 т мышьяка, 35 т ванадия, 10 т ртути, 5 т урана 238. Перечислены только чрезвычайно опасные вещества. ТЭЦ работает как мощная обогатительная фабрика далеко не безобидного продукта. Радиоактивность золы составляет 500–9 000 Бк/кг. Если активность превышает 7 000 Бк/кг, то зола приравнивается к радиоактивным отходам. При этом сжигается до 10 млн т атмосферного кислорода и выбрасывается в атмосферу 12 млн т углекислого газа, который является одним из источников парникового эффекта. Кроме этого в атмосферу выбрасывается до 1 млн т воды в виде пара и до 7 тыс. т золы, которая содержит значительное число радионуклидов. Радиационный фон в районе ТЭЦ выше, чем в районе АЭС и значительно выше фонового. При этом шлак широко используется в строительстве. Для работы одного блока ТЭЦ мощностью 1мл КВт в течение года, под золошлаковые отвалы отводится площадь приблизительно 60 га. При обогащении угля используется вода, перед сбросом в водоемы требуется ее очистка.

Добыча и сжигание угля наносит огромный вред окружающей среде, поэтому наряду с водо- и воздухоочисткой должна осуществляться рекультивация районов как добычи, так и использо-

вания угля. Рекультивация является обязательной завершающей стадией угольно-топливного цикла.

2.4. Очистка выбросов в атмосферу

В процессе добычи, обогащения, транспортировки и сжигания угля в атмосферу выбрасывается свыше 40 ингредиентов вредных веществ. Как пример, ТЭЦ мощностью 1 000 МВт, работающая на угле, который содержит 3,5% серы, выбрасывает в атмосферу 140 000 т сернистого ангидрида в год. Соединяясь с атмосферной водой он образует 280 000 т серной кислоты. Нормирование выбросов вредных веществ осуществляется в соответствии с ГОСТом, для каждого источника устанавливается ПДК (предельно допустимая концентрация) и ПДВ (предельно-допустимые выбросы).

Выбросы в атмосферу носят как естественный, так и антропогенный характер. Зачастую количество антропогенных выбросов соизмеримо или больше естественных. Наибольший вред наносят выбросы веществ промышленного производства, которые отсутствуют в атмосфере в естественном виде. К ним относятся: оксид углерода, полихлорвиниловые вещества, фреоны, свинец, никель, цинк, мышьяк, кобальт, уран и другие элементы металлов. Причем количество этих выбросов составляет тысячи тонн в год. Существенное загрязняющее воздействие на атмосферу оказывает сжигание угля на ТЭЦ и особенно на малых коммунально-бытовых котельных. Выбросы в атмосферу разрушают озоновый слой, который является щитом всего живого на Земле от ультрафиолетового излучения. Выбросы твердой части (пыль) отражают солнечное тепло, тем самым нарушают тепловой баланс Земли. Инертные газы и оксиды углерода и газообразный метан в верхних слоях атмосферы способствуют созданию парникового эффекта. Выбросы изменяют физические характеристики атмосферы (прозрачность, влажность, температуру, электро- и теплопроводность), это влияет на все виды связи и аэрокосмические полеты. Взаимосвязи природные и техногенные чрезвычайно сложны и их последствия (это

надо признать) на сегодняшний день практически невозможно предугадать.

Рассмотрим более подробно воздействие некоторых веществ, выбрасываемых в атмосферу, на окружающую среду.

Оксид углерода (угарный газ) наибольшая (по массе) примесь атмосферы. Он образуется при неполном сгорании углеводородов. В биосфере не происходит глобального накопления оксида углерода, так как он поглощается почвенными микроорганизмами, которые используют его в своем биологическом цикле. В верхних слоях атмосферы оксид углерода способствует созданию парникового эффекта. Этот газ весьма агрессивен, он легко соединяется с гемоглобином крови человека, приводит к физиологическим изменениям организма и даже смерти. Степень воздействия газа на человека определяется его концентрацией в воздухе и временем воздействия.

Диоксид серы (сернистый ангидрид). Сера содержится в угле. Основные выбросы диоксида серы обусловлены сжиганием угля на ТЭС. Диоксид серы угнетает животный и растительный мир, ускоряет процесс коррозии, тем самым разрушает механизмы и строения. В атмосфере диоксид серы окисляется, окисление происходит при фотохимических и каталитических реакциях. Конечный продукт окисления в соединении с атмосферной водой образует раствор серной кислоты в дождевой воде, которая подкисляет почву, еще сильнее ускоряя процесс коррозии, вызывает заболевания дыхательных путей человека и животных. Как говорится: «нет худа без добра». Низкосортные угли содержат большое количество серы и при сгорании угля частицы отражают свет от солнца обратно в космос, снижая парниковый эффект.

Диоксид азота соединяясь с углеводородами образуют фотохимические окислители (озон, перекись водорода), эти вещества воздействуют на дыхательную и центральную нервную системы человека и животных. Эти окислители являются основными составляющими смогов промышленных районов городов. Диоксид азота, взаимодействуя с атмосферной водой, превращается в азот-

ную кислоту и другие нитраты. Выпадая вместе с дождем и снегом в почву, он увеличивает ее урожайность.

Бензапирен содержится в угольной смоле и выделяется в топках, работающих без доступа воздуха при температуре 400–800°C. Бензапирен один из наиболее сильных канцерогенов. Считается, что угольная промышленность ответственна за 20% гибели людей от рака легких. Как и в случае газообразных веществ, в атмосферу попадает большое количество аэрозолей антропогенного характера, как правило, это частицы пыли и сажи. Основной вклад по выбросам пыли вносит открытый способ добычи угля (взрывы и транспортировка) и обогащение, сушка, брикетирование угля. В атмосферу земли ежегодно поступает около 1 км³ пылевидных частиц искусственного происхождения (для сравнения, все реки земли за год переносят около 15 км³ частиц твердой породы).

При горении угля в атмосферу поступает сажа (продукт горения углерода) и микрочастицы веществ находящиеся в угле. Это практически вся таблица Менделеева, включая тяжелые, редкоземельные и радиоактивные элементы. Порядка 5 млн т этих веществ постоянно находится во взвешенном состоянии в атмосфере. Частицы сажи поглощают солнечную и земную радиацию, тем самым сильно влияют на термический режим биосферы. Сажа, выпавшая на снег и ледники, ускоряет их процесс таяния, а попавшая в организм человека и животных вызывает заболевания органов дыхания. Согласно оценкам американского Агентства по охране окружающей среды, общий ущерб от загрязнения атмосферы США составил 16 млрд долл. за 1995 г. Вполне вероятно, хотя это научно не доказано, что промышленные выбросы в атмосферу в значительной степени влияют на формирование климата в отдельных промышленно развитых районах, а со временем это влияние может перерасти в глобальную проблему для всего человечества.

Остановимся кратко на методах и средствах очистки промышленных выбросов в атмосферу от частиц твердой фракции. Наиболее распространенный и дешевый метод очистки это метод гравитационного осаждения.

Пылеосадительные камеры. Осаждение идет за счет сил тяжести, чем меньше частица, тем больше время пребывания в камере. Реально осаждаются частицы более 70–100 мкм. Камеры громоздкие, производительность очень низкая.

Инерционные пылеуловители. Поток частиц, взвешенных в газе, подвергается изменению направления движения, инерционные силы стремятся выбросить частицу из потока. На этом принципе работает широкий спектр пылеочистительных аппаратов: циклоны, вихревые камеры, роторные пылеуловители и т.п. Степень очистки зависит в основном от размера (массы) частицы и скорости вращения потока. Теоретически подобный механизм очистки может достигать 100%, но технические и экономические возможности позволяют на сегодняшний день очищать газовый поток от твердых частиц размером 5–10 мкм.

Фильтрация (фильтрование) наиболее широко применяемый метод очистки, как газа, так и жидкости от частиц широкого спектра размеров. Очистка проходит за счет гравитационного осаждения частиц примеси в фильтрационных каналах и за счет сил адгезии между частицей и материалом фильтра. Фильтры, как правило, классифицируются по материалу, из которого изготовлены: тканевые, картонные, волокнистые материалы, насыпные (различные сыпучие материалы), пористая резина, отдельные породы древесины и специально изготовленная пористая керамика. Степень фильтрования зависит от размера фильтрационного канала и от фильтруемой частицы. Так, песчаный насыпной фильтр задерживает частицы размером 5–10 мкм, а серебряная фольга задерживает молекулу кислорода, но пропускает молекулу водорода. На углеобогатительных фабриках для очистки запыленных газов используются в основном тканевые фильтры. Универсальными аппаратами для очистки газов от твердых и жидких частиц являются электрофильтры. Степень очистки на таких фильтрах приближается к 100%. Недостатком этих фильтров является большая энергоемкость, значительная стоимость при их изготовлении и эксплуатации. Эффективность отфильтровывания частиц с малой и высокой электропроводностью падает. Принцип действия электро-

фильтров основан на ионизации запыленного газа в неоднородном электрическом поле, заряженные частицы под действием сил Кулона оседают на электродах противоположного знака.

Мокрые пылеуловители. Угольная пыль взрывоопасна, при увеличении концентрации частиц угля в воздухе, и особенно в присутствии метана, эта смесь способна самовоспламениться. Для взрывобезопасной очистки запыленный газ пропускают через мелкодиспергируемый поток жидкости. Частицы угля, приликая к капелькам жидкости, оседают под действием сил гравитации. Для уменьшения расхода жидкости используют замкнутые системы орошения.

В угольной промышленности для очистки запыленного воздуха используют многоступенчатые схемы пылеулавливания, выбор которых зависит от размера частиц и их концентрации. Не последнюю роль (а зачастую определяющую) в выборе метода очистки играют экономические соображения.

Следующим вопросом природоохранных мероприятий необходимо рассмотреть методы очистки от газов, которые являются продуктом технологического процесса добычи и сжигания угля. До 90% всего объёма углекислого газа можно уловить из дымовых газов с помощью абсорбентов, но при этом себестоимость электроэнергии возрастёт на 60%. Улавливание «парникового» газа на ТЭЦ дороже чем очистка газов от золы, оксидов серы и азота, и очистки сбросовых вод вместе взятых. Поэтому приходится констатировать, что на сегодняшний день бассейны добычи, котельные и ТЭЦ угольной промышленности России газоулавливающими аппаратами не оборудованы, коэффициент улавливания газообразных веществ по отрасли составляет меньше 1%. Задача не в инновационном развитии, а во внедрении существующих методов и аппаратов, которые уже применяются за рубежом. Положительным примером могут служить попытки дегазации угольных пластов. Но это предпринимается не ради защиты атмосферы от метана, а в значительной степени по экономическим причинам и для обеспечения взрывобезопасности работ, о чем говорилось выше.

2.5. Рекультивация района добычи и переработки угля

Завершающим этапом работы угольно-топливного комплекса является рекультивация площадей занятых в процессе проведения этих работ. Рассмотрим проведение охранно-экологических мероприятий на примере Кузбасского угольного бассейна, в котором добывается до 35% угля России. Строительными проектами шахт в настоящее время предусматривается разработка верхних горизонтов, следовательно, рабочее поле добычи постоянно расширяется. Разработка нижних слоёв связана со значительным увеличением себестоимости добываемого угля и поэтому срок рентабельной работы шахты ограничен периодом 30–50 лет. Каждая тонна добытого угля сопровождается сбросом 2–3 м³ загрязнённой воды и порядка 2,5 м³ сопутствующей породы. В производственном обороте угольно-добывающей промышленности занято более 100 тыс. га, рекультивация проведена на 20% этих площадей, 40% площадей выведено полностью из землепользования (золо- и шлакохранилища, отвалы вскрышных пород). На территории Кузбасса горит около 30 терриконов. Рабочие посёлки шахтёров и некоторые города (Киселёвск, Прокопьевск, Анжеро-Судженск) расположены на шахтовых пустотах, что чревато авариями. Отработанные шахты заливают водой, это нарушает гидрологию района, осложняя использование его в сельском хозяйстве.

В результате добычи и переработки угля происходит:

- 1) загрязнение прилегающих территорий воздушного и водного бассейнов;
- 2) изменение гидрологических и геологических условий района;
- 3) загрязнение почв выбросами производства;
- 4) изменение флоры и фауны района;
- 5) изменение биологического круговорота.

Следствием этих факторов является резкое ухудшение санитарно-гигиенических условий жизни человека и уменьшение продолжительности жизни.

Полагают, что угольная энергетика ответственна примерно за 20% случаев гибели человека от рака легких. Экологи-

экономический ущерб, причинённый окружающей среде предприятиями угольной промышленности в 1990 г. (в ценах 1990 г.) составил 1,3 млрд руб., в том числе 65% от загрязнения атмосферы, 23% – от сброса сточных вод и 12% – от нарушения земель (данные Росстата). В настоящее время перед промышленностью ставится задача безотходного производства. Так в угольных шлаках процентное содержание редкоземельных элементов зачастую превосходит их содержание в ископаемых рудах. Современные технологии позволяют выделить эти элементы из шлаков, тем самым значительно увеличить рентабельность производства. Использование метана, выбрасываемого в атмосферу, в качестве горючего может повысить рентабельность шахт на 15%.

Себестоимость добычи 1 т угля составляет 0,9–1,2 тыс. рублей (в зависимости от района добычи), рыночная стоимость ~6 тыс. рублей (данные на 2013 г.).

2.6. Статистика несчастных случаев в шахтах России

Число шахт: 1991 г. – 238, 2010 г. – 120.

Добыча угля 1991 г. – 141 млн т; 2010 г. – 115 млн т.

Россия с 1991–2010 гг. – 193 взрыва, пострадало 1 509 чел., погибло – 752 чел.

Кузбасс с 1991–2010 гг. – 143 взрыва, пострадало 1 333 чел., погибло 534 чел.

Только за период 2010–2013 гг. на шахтах Кузбасса произошли крупные аварии, вызвавшие гибель горняков:

Шахта «Распадская» – 91 чел.;

Шахта «Зыряновская» – 67 чел.;

Шахта «Ульяновская» – 110 чел.;

Шахта «Юбилейная» – 38 чел.

В число погибших не входят горняки, которые умерли в течение месяца после аварии. Для сравнения, в Германии последняя крупная авария произошла в 1962 г.

От воздействия ударной волны погибло 25%, 75% – от отравления продуктами взрыва и недостатка кислорода.

Годовое количество взрывов на угольных шахтах начиная с 1906 по 2010 г. практически не меняется. Добыча угля закрытым способом за период с 2004 по 2010 г. находится на уровне ~100 млн т, но число смертельных случаев резко колеблется от года к году. Так в 2004 г. погибло 132 шахтёра, в 2007 г. 215 шахтёров, в 2009 г. 48 шахтёров. На каждый миллион тонн добытого угля непосредственно во время взрыва за последние 20 лет в России гибнет 1,1 шахтёр. Для сравнения, за этот же период средний показатель смертности: Польша – 0,3; Германия – 0,1. Сравнение проведено со странами, где уровень добычи угля практически такой же, как и в России. В 2004, 2007, 2010 гг. смертельный травматизм в Российских шахтах составил более 1 000% от показателей США, Австрии, Германии, Польши.

Шахты США, Англии, Германии снабжены беспроводной связью, вдоль забоя в 30-минутной доступности имеются пункты заправки кислородом дыхательных аппаратов.

Вышеприведённая статистика говорит о том, что усилия в России направлены в основном на ликвидацию аварий, а не на их профилактику, поэтому труд шахтёра в России по опасности стоит на первом месте (для сравнения, в США – на двенадцатом).

Причины высокого травматизма в шахтах России:

1. Практическое отсутствие дегазации угольных пластов.
2. Неудовлетворительно проработана схема вентиляции по всему комплексу вопросов противопожарной защиты.
3. При значительном увеличении добычи угля (новые мощные комбайны) сохраняются старые противопожарные технологии (вентиляция, пылеподавление).
4. Нарушение трудовой дисциплины и технологического регламента проводимых работ.
5. Отсутствие уголовной ответственности руководителей и владельцев предприятий за невыполнение требований техники безопасности и экологических нормативов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хван Т.А. Промышленная экология. Ростов Н/д : Феникс, 2003. 320 с.
2. Скочинский А.А., Комаров В.Б. Рудничная вентиляция. М. : Углетех издат, 1959. 532 с.
3. Дьяченко Н.Н., Пермяков О.Е., Тришкин Ю.В. Анализ работы очистных сооружений и экспериментальных данных // Отчёт НИР. № гос. регистрации 02.60002192. 1995. 61 с.
4. Закиров Д.Г., Кукушкин В.М. Проблемы охраны атмосферы на предприятиях угольной промышленности. М. : Изд-во ЦНИЭИУГОЛЬ, 1993. 96 с.
5. Нецепляев М.И., Любимов А.И. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. М. : Недра, 1992. 298 с.
6. Палеев Д.Ю., Васенин И.М., Шрагер Э.Р. и др. Ударные волны при взрывах в угольных шахтах М. : Горное дело, 2011. 311 с.
7. Архипов В.А., Усанина А.С. Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде. Томск : Издательский Дом ТГУ, 2014. 251 с.
8. Рыкун А.Ю., Южанинова К.М. Развитие Топливо-энергетического комплекса Западной Сибири: социальные и экологические последствия и перспективы. Томск : Изд-во ТГУ, 2010. 331 с.

Издание подготовлено в авторской редакции

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 1961 от «1» июля 2016 г. Тираж 50 экз.