

Стукало В.А. к.т.н. (ДонНТУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМАМ ПРОВЕТРИВАНИЯ, ПЫЛЕГАЗОВОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ПОД РУКОВОДСТВОМ ПРОФЕССОРА МЕДВЕДЕВА Б.И. НА КАФЕДРЕ РУДНИЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В статье дан краткий обзор исследований по проблемам проветривания, пылегазового и теплового режимов угольных шахт, выполненных в Донецком политехническом институте (ныне ДонНТУ) преподавателями и научными сотрудниками под руководством и при участии проф. Б.И. Медведева и его учениками в последние годы.

В начале шестидесятых годов двадцатого века на пути развития добычи угля в восстановленных после войны шахтах Донбасса возникла необходимость совершенствования проветривания угольных шахт. Для этого коллективом кафедры рудничной вентиляции под руководством профессора В.И.Белова на многих шахтах Донбасса были проведены депрессионные съемки и разработаны конкретные мероприятия по улучшению проветривания. Для повышения точности измерений депрессии горных выработок доцентом Медведевым Б.И. был разработан и применен метод измерения депрессии двумя депримометрами. При этом оба замерщика производили замеры по своему депримометру в начале, начале и конце, и в конце выработки одновременно. Это позволяет значительно снизить погрешность измерения депрессии выработок, так как исключается влияние на результаты замеров колебаний давления воздуха в горных выработках во время съемки. Этот метод был использован депрессионными службами горноспасательных отрядов при проведении измерений депрессии микробарометрами и введен в соответствующий нормативный документ.

В кандидатской диссертации (1953г.) Медведев Б.И. исследовал влияние изменений температуры воздуха на вентиляцию глубокой шахты №17-17 бис. Эти исследования были весьма актуальны, так как Донбасс переходил к отработке угольных пластов на глубоких горизонтах. Установлено влияние глубины разработки и сжимаемости воздуха на величину депрессии естественной тяги, предложен более точный метод расчета депрессии стволов и более совершенный депримометр для измерения депрессии.

Когда газовый и пылевой факторы стали препятствовать интенсификации добычи угля, Медведевым Б.И. была выдвинута, обоснована идея предварительного увлажнения угольных пластов водным раствором поверхностно-активного вещества с использованием микрокапиллярных сил через скважины, пробуренные из участковых выработок, с целью снижения интенсивности метановыделения, пылеобразования и предупреждения внезапных выбросов угля и газа.

Сущность предварительного увлажнения угольных пластов водными растворами ПАВ с использованием капиллярных сил заключается в том, что под действием давления насоса, не превышающего гидростатическое давление пород, и капиллярных сил, возникающих в порах угля, нагнетаемый раствор проникает внутрь массива пласта, охватывает со всех сторон куски угля, отделенные трещинами, смачивает их поверхность и имеющуюся в трещинах природную пыль. При движении нагнетаемого раствора метан, заключенный в макропорах, субмакропорах и переходных порах, перемещается в микропоры и, вследствие повышения давления, адсорбируется поверхностью микропор. Одновременно адсорбция метана снижает давление газа, возможность его выделения из пласта в очистную и участковые выработки, а также возможность участия в разрушении массива угля в пласте, т.е. в развязывании внезапного выброса угля и метана.

Проведенными теоретическими, лабораторными и шахтными исследованиями на многих шахтах Донбасса преподавателями и научными сотрудниками кафедры под руководством проф. Б.И.Медведева доказана жизнеспособность идеи предварительного увлажнения угольных

пластов с использованием микрокапиллярных сил, получены для многих угольных пластов величины добавок ПАВ к воде, обеспечивающие максимум капиллярного давления, которое значительно превышает давление насоса. Кроме того, была разработана технология предварительного увлажнения пластов, его параметры, а также установлена эффективность. Доказано, что применение предварительного увлажнения угольных пластов с использованием микрокапиллярных сил позволяет снизить метановыделение из пластов в два раза, пылеобразование при отбойке на 90-95%, предотвратить внезапные выбросы угля и метана.

По материалам этих исследований подготовлено и защищено ряд диссертаций (Чуркин В.К., Морозов И.Ф., Тарасенко В.К., Чистюхин В.В., Артамонов В.Н.).

По мере увеличения глубины разработки новой важнейшей проблемой на пути шахтеров стала необходимость нормализации температурных условий в горных выработках.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что, начиная с определенной глубины разработки для поддержания температуры воздуха в конце лавы в допустимых пределах, придется ограничивать длину лавы или охлаждать поступающий в лаву воздух до температуры ниже допустимой Правилами безопасности. Были получены зависимости для определения предельно-допустимой длины лав по температурному фактору.

В связи с тем, что ограничение длины лав экономически невыгодно из-за снижения добычи и увеличения затрат на подготовку участков к работе по выемке угля, а изменение температуры воздуха по длине очистных забоев даже в допустимых пределах нельзя считать рациональным в санитарном отношении, был исследован и разработан способ регулирования тепловых условий в лавах глубоких шахт путем распределенной подачи охлажденного воздуха вдоль очистной выработки по гибкому перфорированному трубопроводу, проложенному по лаве. При таком способе регулирования по всей длине очистной выработки поддерживается, практически, постоянная допустимая Правилами безопасности температура воздуха, улучшаются санитарно-гигиенические условия. Кроме того, существенно уменьшаются необходимые затраты холода на поддержание нормальных температурных условий из-за снижения разности естественной температуры горных пород и воздуха в очистных выработках. Этот способ регулирования температурных условий был испытан в 19-й западной лаве шахты «Киевская» ПО «Шахтерскантрацит».

Для охлаждения воздуха, подаваемого в перфорированный гибкий вентиляционный трубопровод, проложенный по лаве, использовалась передвижная холодильная установка КПШ-3. При этом по всей длине лавы поддерживалась температура воздуха в пределах 24,8-25,2°C, хотя до применения этого способа температура воздуха в конце лавы превышала 28°C при расходе воздуха 370 м³/мин. Следует отметить, что применение этого способа регулирования тепловых условий в лавах, обрабатывающих тонкие пласты, связано с трудностями размещения воздухопроводов, поэтому при конструировании механизированных комплексов крепи необходимо предусматривать возможность размещения и подвески воздухопроводов для подачи охлажденного воздуха и передвижки их совместно с крепью.

Важным вопросом в выборе способа и параметров, обеспечивающих нормализацию тепловых условий является прогноз температуры воздуха в выработках глубоких шахт. Одним из главных параметров для прогноза тепловыделения от горных пород (основного источника нагрева воздуха в горных выработках) является коэффициент нестационарного теплообмена.

На кафедре были выполнены работы по экспериментальной проверке теоретического решения относительно коэффициента нестационарного теплообмена акад. О.А.Кремнева. Экспериментальные исследования коэффициента нестационарного теплообмена были выполнены на модели горной выработки при постоянной температуре воздуха и показали хорошее совпадение экспериментальных значений коэффициента нестационарного теплообмена с теоретическим решением относительно этого коэффициента.

Медведевым Б.И. был разработан способ определения градиента температуры породного массива у поверхности стенок модели по данным об ее изменении в различных точках массива во времени. Получив по этим замерам достаточно надежные эмпирические зависимости, можно

с большой точностью определить расчетом градиент температуры в различных точках массива пород в различные моменты времени, используя уравнение Фурье. По результатам этих исследований разработаны зависимости для достаточно точного определения градиентов температуры по экспериментальным данным при нормальных и высоких температурах (при пожарах), когда необходимо учитывать изменение теплофизических характеристик горных пород с изменением температуры.

Прогноз изменения температуры воздуха в цепи последовательно соединенных выработок в глубоких шахтах в настоящее время весьма сложен, трудоемок и сопровождается накоплением погрешностей, так как расчетная температура воздуха в конце предыдущей выработки принимается в качестве начальной для расчета температуры воздуха в конце последующей выработки.

Учитывая высокую трудоемкость тепловых расчетов и возможность накопления погрешностей Медведевым Б.И. был разработан способ замены расчета последовательной цепи горных выработок расчетом одной выработки, эквивалентной данной цепи в тепловом отношении. Сущность этого метода состоит в том, что каждая выработка заменяется ее моделью с учетом теории подобия. Во всех моделях выработок коэффициент нестационарного теплообмена, периметр сечения и теплоемкость пород принимаются одинаковыми. Подобие обеспечивается путем соответствующего выбора длины модели выработки. Таким образом, цепь последовательно соединенных выработок шахты заменяется соответствующей цепью моделей выработок шахты, представляющих как бы одну выработку с длиной, равной сумме длин моделей.

Разработанный метод «моделирующих выработок» позволил снизить суммарную погрешность при расчете температуры воздуха в цепи последовательно соединенных выработок глубоких шахт. Кроме того, этот метод позволил получить зависимости для определения потребного расхода воздуха для проветривания с учетом необходимости поддержания допустимой температуры воздуха в очистных забоях, определения предельной глубины работ для конкретных шахт без искусственного охлаждения воздуха, предельной длины цепи последовательно соединенных выработок, при которой температура воздуха достигает заданного значения. Путем увязки уравнений горной теплофизики и аэродинамики получены зависимости для учета теплообмена в горных выработках при решении вопроса о распределении воздуха в шахтных вентиляционных сетях.

Проведенные затем исследования показали весьма существенное влияние теплообменных процессов на проветривание шахт. Так при уменьшении расхода подаваемого в шахту воздуха результатом влияния теплообменных процессов может быть опрокидывание вентиляционной струи в отдельных выработках, даже если пожара в шахте нет.

Исследован вопрос влияния на вентиляцию размещения устройств для кондиционирования воздуха в шахтах. Установлено, что путем рационального их размещения можно улучшить состояние проветривания шахты и значительно снизить затраты на охлаждение воздуха.

Важным источником нагрева воздуха в глубоких шахтах является нестационарный теплообмен между транспортируемым ископаемым и воздухом в горных выработках. Автором статьи были выполнены теоретические и экспериментальные исследования тепловыделений при транспортировке ископаемого в глубоких шахтах. Установлено, что тепловыделение при конвейерной доставке при высоких нагрузках на очистные и подготовительные забои является одним из главных источников нагрева воздуха (30-50% от общего тепловыделения в выработке), а при электровозной откатке 10-20% общего тепловыделения в выработке.

Путем физического моделирования в лабораторных условиях были получены зависимости для определения коэффициента теплоотдачи от насыпок ископаемого на конвейере и в вагонетке, а также зависимости для определения относительной средней по объёму насыпок температуры измельченного угля в зависимости от расхода воздуха в выработке, размеров насыпки, времени охлаждения, теплофизических характеристик ископаемого. Теоретическим путем получены решения для определения относительной средней

по объёму насыпки температуры ископаемо при условиях, одинаковых с экспериментальными и получено хорошее совпадения с опытными данными. При теоретических исследованиях вагонетка с ископаемым заменялась эквивалентным шаром, а насыпка угля на конвейере телом, образующимся при пересечении двух неограниченных пластин. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика расчета тепловыделений при конвейерном и рельсовом транспорте и рекомендации по учету этого фактора при прогнозе температуры воздуха в горных выработках глубоких шахт. Это позволило уточнить результаты тепловых расчетов.

Выполнен ряд работ по упрощению и уточнению расчетов температуры воздуха в глубоких шахтах. Для лав с высокой нагрузкой и для подготовительных выработок даны рекомендации по определению среднеинтегральных значений коэффициента нестационарного теплообмена. Это позволило уточнить и упростить расчет этого параметра a , следовательно, и температуры воздуха в горных выработках.

В результате теоретических и экспериментальных исследований теплового режима шахт обоснована необходимость и предложены схемы обособленного проветривания конвейерных выработок в глубоких шахтах, что позволило снизить нагрев свежего воздуха, поступающего в очистные и подготовительные забои. Кроме того, разработан и обоснован ряд эффективных способов и средств снижения тепловыделений от транспортируемого ископаемого и уменьшения влияния этого источника на тепловлажностные параметры свежего воздуха в выработках глубоких шахт: покрытие транспортируемого ископаемого на конвейере слоем воздушно-механической пены; снижения интенсивности испарения влаги с поверхности насыпки ископаемого путем орошения насыпки водным раствором хлористого кальция и поверхностно-активного вещества; укрытие насыпки ископаемого на конвейере теплоизолирующим кожухом с отсосом из под кожуха и выдачей за пределы выемочного участка нагретого увлажненного воздуха и др. Проведенные на шахте им.Бажанова по «Макеевуголь» испытания покрытия ископаемого на конвейере слоем воздушно-механической пены и орошению насыпки угля на конвейере водным раствором хлористого кальция и смачивателя показали высокую эффективность этих способов и позволили снизить тепловыделение от транспортируемого ископаемого соответственно на 50-70% и 44-85%. По этим исследованиям подготовлена и защищена кандидатская диссертация (Стукало В.А.).

Проведены теоретические и экспериментальные исследования теплообменных процессов в горных выработках при возникновении пожаров. В результате этих исследований разработан способ расчета температуры в горных выработках при возникновении рудничных пожаров с учетом передачи тепла воздуху излучением и изменения теплофизических характеристик горных пород в зависимости от их температуры. При этом были получены зависимости для определения коэффициента нестационарного теплообмена с учетом характера изменения температуры воздуха в горных выработках при рудничных пожарах. При определении теплофизических характеристик в зависимости от температуры горных пород учитывалось, что температура горных пород по мере удаления от стенки выработки, в которой происходит пожар, снижается. При этом, чем больше градиент температуры, тем будет больше тепловой поток в данном сечении массива пород и, следовательно, большую роль играют теплофизические характеристики пород в общем теплообмене массива с движущимся по выработке воздушным потоком а также доказано, что теплофизические свойства пород должны определяться не по расстоянию от стенки выработки, а по градиенту температуры.

По материалам исследований в 1970г. Медведевым Б.И. защищена докторская диссертация, посвященная тепловым основам вентиляции глубоких шахт при нормальных и аварийных режимах проветривания.

На кафедре рудничной вентиляции был выполнен большой объём экспериментальных исследований по определению теплофизических характеристик пород в массиве при различных температурах (Тельной А.П.). Получены зависимости, позволяющие по данным о минералогическом составе пород и пористости определить для них коэффициенты теплопроводности и температуропроводности. На основе экспериментальных исследований

получены также зависимости для определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности дробленых углей и породы. По результатам этих исследований была защищена кандидатская диссертация (Тельной А.П.).

На основе исследований разработан метод оперативного расчета температуры воздуха в различных пунктах выработок, по которым движутся пожарные газы. Эта методика необходима при решении вопроса о возможности направления горноспасателей в ту или иную выработку для ведения работ по борьбе с пожарами. По материалам этих исследований защищена кандидатская диссертация (Почтаренко Н.С.).

Исследованиями установлено (Кондрацкий В.Л.), что высокая температура воздуха в глубоких шахтах бывает чаще всего в проходимых тупиковых выработках. Основной причиной этого является сравнительно небольшое количество воздуха, подаваемого по вентиляционным трубопроводам в призабойные пространства из-за больших утечек воздуха и аэродинамических сопротивлений особенно большой их протяженности.

В результате исследований предложены способы снижения утечек воздуха и его нагрева при перемещении по вентиляционным трубопроводам в призабойные пространства проходимых тупиковых выработок. Были разработаны и внедрены на шахтах комбинированные вентиляционные гибкие воздухопроводы, состоящие из наружной секционной и внутренней сплошной синтетических оболочек (а.с. № 411211 от 15.01.1974) причем последняя помещается в наружную оболочку из обычных вентиляционных труб по мере продвижения забоя выработки участками по 150-200м. Аэродинамическое сопротивление такого трубопровода в 2-3 раза, а утечки воздуха в 10 и более раз меньше, чем обычно применяемых гибких воздухопроводов. Применение таких комбинированных трубопроводов для подачи воздуха в тупиковые выработки позволило обеспечить достаточным количеством свежего воздуха протяженные (до 2000м) проходимые выработки, увеличить расход воздуха в забоях и частично снизить его температуру в проходимых выработках глубоких шахт. Эта разработка вышла в нормативный документ «Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт» и используется на шахтах. Для предотвращения порыва полиэтиленового рукава (внутренней оболочки) в воздухопроводе было разработано специальное пусковое устройство (а.с. №№769013, 962646, 962647, 964178, 1518537), которое может изготавливаться в шахтных мастерских. По этим исследованиям подготовлена и защищена кандидатская диссертация (Кондрацкий В.Л.).

При проведении протяженных тупиковых выработок в глубоких шахтах и подаче свежего воздуха по обычному комбинированному воздухопроводу происходит быстрое его нагревание даже при применении искусственного охлаждения его после вентилятора местного проветривания. Для снижения нагрева свежего воздуха в трубопроводе после его охлаждения была разработана конструкция гибкого теплоизолированного воздухопровода (а.с. 387123, 1204744) и определены его параметры. Теплоизолированный гибкий воздухопровод состоит из двух концентрически расположенных оболочек с воздушным прослойком между ними. Принцип действия такой конструкции основан на использовании теплоизоляционных свойств воздуха в пространстве между внешней и внутренней оболочками трубопровода. Во время работы вентилятора местного проветривания обе оболочки раздуваются создавая тепловое сопротивление, снижающее передачу тепла от исходящего потока воздуха в выработку к свежему воздуху в воздухопроводе, что позволяет снизить нагрев свежего воздуха, направляемого в забой. Лабораторные и шахтные испытания показали, что коэффициент теплопередачи гибкого теплоизолированного трубопровода в 4-5 раз меньше, чем у известных зарубежных конструкций гибких теплоизолированных труб. Применение гибких теплоизолированных трубопроводов позволило исключить периодическое перемещение шахтного кондиционера по проходимой выработке и обеспечить снижение температуры свежего воздуха в забое выработки на 5-6 °С. По этим исследованиям защищена кандидатская диссертация (Лепихов В.А.).

Преподаватели и научные сотрудники кафедры продолжают исследования, начатые проф. Б.И.Медведевым, и исследуют новые проблемы в области аэрологии шахт. Так, когда возникла проблема подачи огнетушащих средств в очаг горения в выработках, был разработан,

изготовлен и внедрен самопрокладывающийся воздухопровод. По этому трубопроводу в очаг горения для его тушения подается огнетушащий порошок. Этот трубопровод используется горноспасателями. По материалам этих исследований защищена диссертация (Сухоруков В.П.).

С участием преподавателя кафедры доц. Почтаренко Н.С. разработана программа расчета шахтных вентиляционных систем на ПЭВМ «Ревод», позволяющая получить расчетом параметры воздухораспределения и депрессий по сети и решать ряд других вентиляционных вопросов. Эта программа широко используется депрессионными службами горноспасательных отрядов.

Существующая в ПБ классификация угольных шахт на категории по метану при обыкновенном его выделении не учитывает влияния расхода воздуха в выработках на степень возможности возникновения взрывчатой концентрации метана в выработках шахты, а также не учитывает газовой обстановки в проходимых выработках и возможность возникновения внезапных прорывов метана из почвы пластов в горные выработки. Взрывы метана бывают на шахтах различной категории по метану и зависит вероятность их возникновения не только от интенсивности метановыделения и наличия источника тепла, но и от расхода воздуха, т.е. от величины складывающейся концентрации метана в воздухе выработок и забоев шахты.

Автором статьи разработаны методы дифференцированной оценки степени опасности шахт по газовому, пылевому и тепловому факторам. Степень опасности газовых шахт по выделению метана предлагается дифференцировать наибольшим отношением среднегодовой концентрации метана в выработках шахты $C(\%)$ к максимально допустимой Правилами безопасности $C_{max}(\%)$: I категория C/C_{max} до 0,25; II – от 0,25 до 0,50; III – от 0,50 до 0,75; сверхкатегорийные – от 0,75 до 1,0. К следующей по опасности рекомендуется отнести шахты, опасные по суфлярным выделениям и внезапным порывам метана из почвы пластов, а к самой высокой категории – шахты, опасные по внезапным выбросам метана. Такая оценка шахт по выделению метана позволит устранить вышеуказанные недостатки применяемой ныне классификации и более объективно оценивать опасность шахт по метану.

В настоящее время нет дифференциации шахт, опасных по взрывам угольной пыли и шахт, с неблагоприятными температурными условиями, что затрудняет направление средств на более опасные шахты по этим факторам.

Предлагается разделить все опасные по взрывам угольной пыли шахты на пять групп по степени возможности взрыва взвешенной в воздухе угольной пыли в зависимости от величины наибольшего отношения среднегодовой запыленности воздуха угольной пылью в выработках и забоях шахты $C_p(\text{г/м}^3)$ к нижнему пределу взрываемости угольной пыли на пластах, разрабатываемых данной шахтой $\delta_{взв}(\text{г/м}^3)$ (Пвзв): I – Пвзв до 0,25; II – от 0,25 до 0,50; III – от 0,50 до 0,75; IV – от 0,75 до 1,0; V – 1,0 и более.

Шахты с температурами воздуха в горных выработках, превышающими допустимые ПБ, предлагается разделить на четыре группы по опасности температурных условий. Критерием отнесения шахт к соответствующей группе предлагается принимать наибольшее отношение среднегодовой температуры воздуха в действующих выработках с температурой, превышающей допустимую Правилами безопасности и присутствием горняков $t(^{\circ}\text{C})$ к предельно допустимому значению температуры воздуха в соответствующей выработке $t_{доп}(^{\circ}\text{C})$. В зависимости от этого соотношения температур (показатель Π_t) шахты предлагается относить к соответствующим группам следующим образом: I – при $\Pi_t=1,01-1,1$; II - $\Pi_t=1,11-1,2$; III - $\Pi_t=1,21-1,30$, IV - $\Pi_t=1,31$ и более. Дифференциацию шахт по опасности температурных условий в каждой группе можно осуществлять по сумме показателей Π_t на конкретной шахте в сравнении с аналогичной величиной для других шахт данной группы. Та из шахт данной группы будет более опасной по тепловым условиям, которая имеет большее значение $\Sigma\Pi_{ti}$. Если к данной группе относится несколько шахт с одинаковым значением $\Sigma\Pi_{ti}$, то более опасной будет та шахта, в которой среднегодовое количество горняков, работающих в выработках с повышенной температурой воздуха будет больше.

Наряду с показателем $\Sigma\Pi_t$ при оценке степени опасности шахты по тепловому фактору необходимо учитывать также количество человеко-смен, отработанных горняками в течение

года в выработках с температурой воздуха, превышающей допустимую Правилами безопасности и приходящихся на тысячу тонн добычи. Это можно оценить показателем $\Pi_{г-с}$ (человеко-смен на 1000т добычи), определяемым по выражению:

$$\Pi_{г-с} = \frac{n_m \sum N_{г-с.i}}{A_g}$$

где n_m - число месяцев в году, в которых работы в горных выработках выполнялись при температуре воздуха, превышающей допустимую Правилами безопасности;

$N_{г-с.i}$ - число человеко-смен, отработанных горняками данной глубокой шахты в i -м месяце прошедшего года в горных выработках с температурой воздуха, превышающей допустимую Правилами безопасности, чел-смен/мес.;

A_g годовая добыча шахты, т/год.

Чем больше показатель $\Pi_{г-с}$, тем опаснее данная шахта среди других шахт производственного объединения(холдинга, бассейна, отрасли) в соответствующей группе трудности шахт по тепловому фактору.

Показатели Π_t , $\sum \Pi_i$ и $\Pi_{г-с}$ позволяют более достоверно оценить степень трудности шахт по тепловому фактору путем сравнения величины этих показателей, выявить наиболее опасные из них в объединении, бассейна, отрасли. Их использование позволит также своевременно разработать и внедрить комплекс мероприятия по нормализации температурных условий на рабочих местах.

Предлагаемая дифференциация шахт, опасных по взрывам угольной пыли и неблагоприятным температурным условиям позволит направлять материальные средства в первую очередь на наиболее опасные шахты по пылевому и тепловому факторам.

Большинство научных исследований, проведенных за прошедшие послевоенные годы на кафедре рудничной вентиляции, выполнялись по координационным планам отрасли, заказам производственных объединений по добыче угля, отдельных шахт и получили высокую оценку производственников и ученых на многочисленных конференциях, где докладывались их результаты.