

УДК [622.831.322: 552.513].001.18

Минеев С.П., д-р техн. наук, проф.
(ИГТМ НАН Украины),
Шубин В.П., инженер
(ГУГТДО),
Кострица А.А., инженер
(ИГТМ НАН Украины),
Янжула А.С., инженер,
Кирьяков М.А., инженер,
Крипченко С.В., инженер
(ШУ «Покровское»)

**СОВРЕМЕННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗА
ВЫБРОСООПАСНОСТИ ПЕСЧАНИКОВ ПРИ ВЕДЕНИИ
ГОРНЫХ РАБОТ НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ УКРАИНЫ***

Минєєв С.П., д-р техн. наук, проф.,
(ІГТМ НАН України),
Шубін В.П., інженер
(ГУДПДО),
Костриця А.О., інженер
(ІГТМ НАН України),
Янжула О.С., інженер,
Кір'яков М.А., інженер,
Крипченко С.В., інженер
(ШУ «Покровське»)

**СУЧАСНА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУ
ВИКИДОНЕБЕЗПЕЧНОСТІ ПІЩАНИКІВ ПІД ЧАС ВЕДЕННЯ
ГІРНИЧИХ РОБІТ НА ВУГІЛЬНИХ ШАХТАХ УКРАЇНИ**

Mineev S.P., D. Sc. (Tech.), Professor,
(IGTM NAS of Ukraine),
Shubin V.P., M.S. (Tech.)
(MDLDR),
Kostritsa A.A., M.S. (Tech.)
(IGTM NAS of Ukraine),
Yanzhula A.S., M.S. (Tech.),
Kiryakov M.A., M.S. (Tech.),
Kripchenko S.V., M.S. (Tech.)
(Mine management "Pokrovskoye")

**MODERN METHODOLOGY OF OUTBURST SANDSTONE
FORECAST DURING MINING OPERATIONS AT COAL MINES OF
UKRAINE**

* © Минеев С.П., Шубин В.П., Кострица А.А., Янжула А.С., Кирьяков М.А., Крипченко С.В., 2017

Статья посвящена 50-летию со дня основания Института геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

Аннотация. Рассмотрена методология включающая в себя основные правила выполнения прогноза, оценки степени выбросоопасности, оценки эффективности применения мероприятий, предотвращающих выбросы песчаника и газа или уменьшающих их частоту и интенсивность при проведении горных выработок в угольных шахтах Украины.

Прогноз выбросоопасности песчаников осуществляют при выполнении геолого-разведочных работ и в процессе проведения горных выработок по этим песчаникам. На стадии геолого-разведочных работ прогноз выбросоопасности песчаников осуществляют на основании анализа проб, отбираемых из керна на участках пересечения песчаников скважинами, пробуренными с поверхности до глубин 600 м и более. Песчаники по анализу геолого-разведочных данных относят к невыбросоопасным до глубин 600 м их залегания, а также на глубинах 600 м и более, только на участках детальной разведки и доразведки угольных пластов определённых марок со значениями показателя отражательной способности витринита R° менее 0,75 % и содержания углерода C_0^0 менее 84 %.

Способы борьбы с выбросами или БВР в режиме сотрясательного взрывания (СВ) в горных выработках вводят при получении прогноза «Опасно» или при приближении их забоев к опасной зоне по песчанику с расстояния не менее 3 м по нормали и отменяют при отходе от этой зоны на такое же расстояние.

Основным показателем прогноза выбросоопасности песчаника, определённого на основании анализа кернового материала, полученного при бурении скважины в горной выработке, является разделение керна на диски и наличие кольцевых трещин, по интенсивности образования которых выделяют три степени выбросоопасности песчаников – высокую, среднюю и низкую. Однако в ряде случаев бурение керновых скважин не всегда возможно или достаточно трудоёмко. Поэтому применяются другие способы прогноза выбросоопасности. Учитывая изложенное следует считать, что одним важнейших элементов безопасного проведения выработок по выбросоопасным песчаникам является выполнение надёжного и достоверного прогноза выбросоопасности. Этому вопросу и посвящена данная статья.

При проведении горных выработок прогноз выбросоопасности осуществляют по делению керна разведочной скважины, по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ), по комплексному критерию В, вычисляемому по геолого-геофизическим данным, по параметрам акустического сигнала, регистрируемого в процессе воздействия горного оборудования на забой или при проведении акустических зондирований, а также по некоторым дополнительным особенностям в выполняемом прогнозе, вводимом при пересечении забоем выработки геологического нарушения. В статье кратко рассмотрены общие принципы каждого из указанных выше методов прогноза выбросоопасности песчаников.

Ключевые слова: прогноз, выбросоопасность песчаников, ведение горных работ, угольная шахта, выбросы породы и газа

Настоящая методология рассматривает основные правила выполнения прогноза, оценки степени выбросоопасности, оценки эффективности применения мероприятий, предотвращающих выбросы песчаника и газа или уменьшающих их частоту и интенсивность при проведении горных выработок в угольных шахтах Украины.

Для обеспечения безопасности при ведении горных работ по выбросоопасным песчаникам или вблизи них первоначально необходимо осуществлять прогноз выбросоопасности, а уже потом применять решение о выборе способов и средств для их предотвращения, а также для уменьшения частоты и интенсивности выбросов песчаника и газа.

Прогноз выбросоопасности песчаников осуществляют при выполнении геолого-разведочных работ, а также и в процессе проведения горных выработок

по этим песчаникам. Причём, на стадии геолого-разведочных работ прогноз выбросоопасности песчаников осуществляют на основании анализа проб, отбираемых из керна на участках пересечения песчаников скважинами, пробуренными с поверхности до глубин 600 м и более в соответствии с требованиями [1-7]. Как известно [2], песчаники по анализу геологоразведочных данных относят к невыбросоопасным до глубин 600 м их залегания, а также на глубинах 600 м и более, только на участках детальной разведки и доразведки угольных пластов определённых марок со значениями показателя отражательной способности витринита R° менее 0,75 % и содержания углерода C_0^0 менее 84 %.

В неопасных зонах, установленных прогнозом выбросоопасности песчаников в шахтных условиях, выработки проводят без применения противовыбросных мероприятий, а буровзрывные работы (БВР) выполняют в режиме, установленном для сверхкатегорийных по газу шахт.

Способы борьбы с выбросами или БВР в режиме сотрясательного взрыва (СВ) в горных выработках вводят при получении прогноза «Опасно» или при приближении их забоев к опасной зоне по песчанику с расстояния не менее 3 м по нормали и отменяют при отходе от этой зоны на такое же расстояние.

Как правило, основным показателем прогноза выбросоопасности песчаника, определённого на основании анализа кернового материала, полученного при бурении скважины в горной выработке, является разделение керна на диски и наличие кольцевых трещин, по интенсивности образования которых выделяют три степени выбросоопасности песчаников – высокую, среднюю и низкую. Однако в ряде случаев бурение керновых скважин не всегда возможно или достаточно трудоёмко [5, 7, 8]. Поэтому применяются другие способы прогноза выбросоопасности.

Учитывая изложенное следует считать, что одним из важнейших элементов безопасного проведения выработок по выбросоопасным песчаникам является выполнение надёжного и достоверного прогноза выбросоопасности. Этому вопросу и посвящена данная статья.

При рассмотрении методологии прогноза выбросоопасности необходимо отметить, что прогноз выбросоопасности песчаников не проводят только в зонах их эффективной защиты при опережающей отработке угольных пластов.

При проведении горных выработок прогноз выбросоопасности осуществляют по делению керна разведочной скважины, по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ), по комплексному критерию В, вычисляемому по геолого-геофизическим данным, по параметрам акустического сигнала, регистрируемого в процессе воздействия горного оборудования на забой или при проведении акустических зондирований, а также по некоторым дополнительным особенностям в выполняемом прогнозе, вводимом при пересечении забоем выработки геологического нарушения. Далее кратко рассмотрим общие принципы каждого из указанных выше методов прогноза выбросоопасности песчаников.

1 Прогноз выбросоопасности песчаников по делению керна на диски

Выбросоопасность пород определяют на основании анализа кернового материала, полученного при бурении скважин диаметром от 59 мм до 76 мм. Длина скважин не ограничивается, но неснижаемое опережение их впереди забоя выработки должно быть не менее 2 м. Керновые скважины бурят в направлении продвижения выработки и располагают:

- по оси выработки, если выбросоопасный песчаник находится во всем сечении выработки;
- в выбросоопасном слое песчаника, если в сечении выработки находятся выбросоопасный и невыбросоопасный слой, или по каждому слою, если выбросоопасность их неизвестна.

Основным показателем прогноза выбросоопасности пород является разделение керна на диски и наличие кольцевых трещин. Характерной особенностью дисков и кольцевых трещин, образующихся при бурении керновых скважин в выбросоопасных песчаниках, является перпендикулярность их к оси скважин плоскостей, ограничивающих диски или кольцевые трещины. Степень выбросоопасности пород определяют по интенсивности деления кернов на диски и образования кольцевых трещин (рис. 1) [4, 5, 7]:

- при наличии от 30 до 40 и более выпукло-вогнутых дисков в 1,0 м керна – степень выбросоопасности высокая;
- при наличии в 1,0 м керна не более 30 дисков, перемежающихся участками керна длиной от 50 мм до 100 мм с характерными кольцевыми трещинами – степень выбросоопасности средняя;
- при выходе кернов длиной от 150 мм до 200 мм и более, опоясанных кольцевыми трещинами и перемежающихся единичными дисками, – степень опасности низкая;
- при отсутствии в керне дисков и кольцевых трещин песчаник относят к невыбросоопасным.

Перед бурением керновой скважины геолог шахты производит описание слоёв песчаника в сечении выработки, определяет слой (слои), по которому необходимо бурить

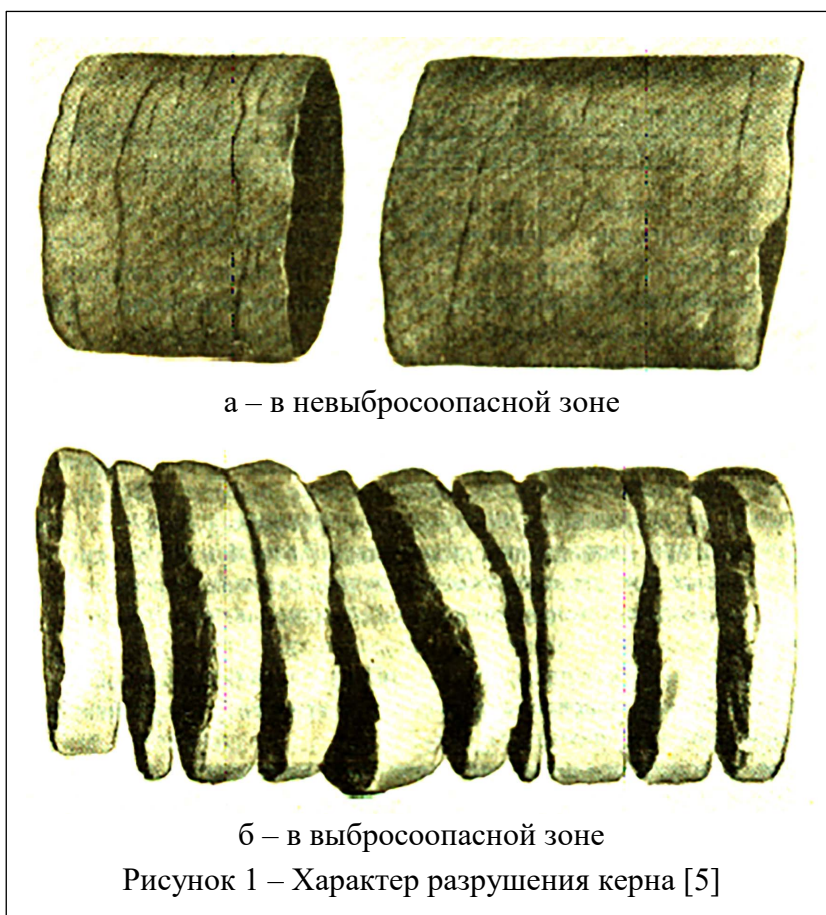


Рисунок 1 – Характер разрушения керна [5]

скважину. После бурения он описывает керновый материал по скважине, наносит на эскиз проведения выработки (планшет) расположение скважины с привязкой её к маркшейдерскому знаку и данные наблюдений заносит в рабочий журнал геолого-маркшейдерской службы шахты.

2 Прогноз выбросоопасности песчаников по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ)

Для прогноза выбросоопасности пород по ЭПЭ отбирают пробы в виде части керна длиной не менее 200 мм из участка деления его на диски или наличия кольцевых трещин и из участка, где диски или кольцевые трещины отсутствуют [2, 4, 8]. Из каждой пробы изготавливают не менее трёх образцов для определения величины ЭПЭ и вычисляют средние значения для каждой пробы.

Выбросоопасность песчаника определяют по показателю $B_{ЭПЭ}$

$$B_{ЭПЭ} = \frac{(3 \cdot \rho_n \cdot g_n \cdot H)^2}{A_n \cdot E_1 \cdot \gamma_1} - \frac{\gamma_2}{\gamma_1},$$

где H – глубина залегания пород, м; g_n – ускорение свободного падения, м/с; ρ_n – объёмный вес вышележащих пород, г/м³; A_n – удельная поверхность разрушенного материала, м²; E_1 – модуль упругости песчаника на участке деления керна на диски или наличия кольцевых трещин, т/м²; γ_1 и γ_2 – средние значения ЭПЭ по пробам керна на участках наличия дисков или кольцевых трещин и отсутствия их соответственно, м·с².

Песчаник считают выбросоопасным, если показатель $B_{ЭПЭ} > 1$, и невыбросоопасным, если $B_{ЭПЭ} \leq 1$.

3 Прогноз выбросоопасности песчаников по геолого-геофизическим данным

Для прогноза выбросоопасности по геолого-геофизическим данным в забое выработки отбирают пробы из каждого однородного по структурно-текстурным признакам слоя песчаника мощностью более 1 м. Если песчаник однородный по всей мощности, то отбирают одну пробу. Из этих проб изготавливают образцы, по которым в лабораторных условиях определяют прогностические показатели выбросоопасности. Нормированные величины этих показателей, дифференцированные по рангам выбросоопасности, с помощью которых по фактически установленным величинам каждого показателя определяют соответствующий ранг выбросоопасности [2, 4, 8, 9].

Выбросоопасность песчаника (слоя) определяют по комплексному критерию B , который рассчитывается по сумме рангов всех показателей согласно формуле:

$$B = \frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7}{12} + \frac{B_6}{2},$$

где $B_1 \dots B_7$ – ранги прогностических показателей выбросоопасности.

При величине $B \leq 0,35$ песчаник относят к невыбросоопасным. Если B равно от 0,36 до 0,39 то необходимо дополнительное опробование в объёме,

предусмотренном нормативными требованиями. При $B \geq 0,4$ песчаник относят к выбросоопасным. Заключение о результатах прогноза выбросоопасности пород подписывают геолог шахты и руководитель службы прогноза, согласовывают с институтом – разработчиком способа прогноза и утверждают главным инженером шахты.

При проведении выработки в рассматриваемых условиях необходимо осуществлять постоянное бурение не менее 2-х разведочных скважин диаметром 42-46 мм, длиной не менее 7 м с неснижаемым опережением не менее 2 м для разведки непрогнозируемых геологических нарушений впереди забоя выработки и оценки степени их выбросоопасности по наличию предупредительных признаков в процессе бурения разведочных скважин.

При обнаружении бурением разведочных скважин геологического нарушения, в случае получения при подходе к геологическому нарушению, а также в его пределах текущим прогнозом опасной зоны или при наличии признаков выбросоопасности пласта в процессе бурения разведочных скважин или работы комбайном по забою при подходе и пересечении геологического нарушения, данное геологическое нарушение следует относить к активным по внезапным выбросам угля и газа, а подход с расстояния не менее 5 м к нему, пересечение и отход не менее 5 м от нарушения осуществлять буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания.

В случае отсутствия опасных по прогнозу зон, при подходе к нарушению и отсутствия признаков выбросоопасности пласта в процессе бурения разведочных скважин: вынос штыба и газа, зажатие бурового инструмента, данное геологическое нарушение можно отнести к пассивным по выбросам, и пересечение такого геологического нарушения необходимо осуществлять комбайновым способом с ведением одного из вышеуказанных прогнозов выбросоопасности пласта. При этом для повышения безопасности ведения горных работ скорость продвижения выработки комбайном при приближении к геологическому нарушению ограничивается требованиями, согласно [3].

Далее рассмотрим основные акустические способы прогноза выбросоопасности песчаников, используемые в качестве нормативных при ведении горных работ на угольных шахтах Украины.

4 Текущий прогноз выбросоопасности песчаников по параметрам акустического сигнала

Предварительно необходимо отметить, что ранее применялся в качестве нормативного весьма эффективный сейсмоакустический метод прогноза выбросоопасности песчаников при проведении выработок проходческими комбайнами, разработанный ИГТМ НАН Украины на базе аппаратуры ЗУА-4 и АК-1. Способ был основан на анализе, так называемого, отношения отношений высокочастотных и низкочастотных спектров сейсмоакустических сигналов их составляющих при разных состояниях песчаника [11]. Также необходимо отметить об акустическом способе прогноза выбросоопасности, который был достаточно серьезно обоснован НГУ, был промышленно опробован и показал свою эффек-

тивность. Способ был основан на анализе акустических сигналов, регистрируемых в углепородном массиве аппаратурой АК-1М и выдавал информацию в виде комплексного показателя выбросоопасности K [12]. Однако в последнее время в силу определённых причин не технического характера в нормативные документы был включён только прогноз выбросоопасности песчаников по параметрам акустического сигнала. Прогноз выбросоопасности по параметрам акустического сигнала осуществляют в каждом цикле подвигания забоя с помощью аппаратуры АПСС [13].

Источником акустического сигнала при текущем прогнозе выбросоопасности служат: при комбайновом проведении выработки – воздействие комбайна на забой в процессе выемки горной породы; при буровзрывном способе проведения выработки – воздействие на забой буровой установкой при бурении шпуров для выполнения взрывных работ.

Прогностическими параметрами служат коэффициент выбросоопасности K_g и частота максимума спектра акустического сигнала F_p . В способе коэффициент выбросоопасности K_g также вычисляют по отношению величин амплитуды высокочастотной (A_g) и амплитуды низкочастотной составляющих (A_n). Передачу акустического сигнала из забоя на поверхность осуществляют по свободной паре проводов с использованием аппаратуры типа АПСС. Геофон аппаратуры крепят в шпуре длиной не менее 0,7 м, диаметром 42-43 мм или устанавливают на элементах крепи, обеспечивая надёжный контакт с породой. Геофон устанавливают на расстоянии (5-50) м от забоя, обеспечивая его защиту от повреждения при ведении взрывных работ.

В процессе обработки акустического сигнала вычисляется его спектр, средние значения в интервалах обработки длительностью около 120 с и средний спектр по завершению цикла воздействия оборудования на забой. По этому спектру вычисляются прогностические параметры. Коэффициент выбросоопасности K_g и частота максимума спектра F_p .

В начале ведения текущего прогноза выбросоопасности песчаников в горной выработке принимают $A_n = 240$ Гц, $A_g = 300$ Гц, при этом критическое значение $K_g = 2,7$, а частоты максимума спектра $F_p = 1200$ Гц. После набора параметров в 30-ти циклах и более непрерывного проведения выработки необходимо выполнить корректировку критических значений, они вычисляются в программе «Анализ базы» программного комплекса PROGNOZ 4.0, разработанного МакНИИ [13]. Корректировка критических значений осуществляют не реже одного раза в три месяца или после подвигания забоя на 150 м и более.

Текущий прогноз выбросоопасности песчаников осуществляет программой обработки путём сравнения полученных в очередном цикле воздействия на забой горного оборудования прогностических параметров с их критическими значениями. Если значения прогностических параметров ниже критического уровня, то следует сообщение «Безопасная глубина выемки один цикл», прогноз распространяется на один цикл подвигания забоя. При этом буровзрывные работы можно вести в режиме, установленном для сверхкатегорийных по газу шахт. Если в двух циклах из 6-ти подвигания забоя значения K_g и F_p выше критического уровня для песчаников низкой и средней степени выбросоопасности,

а для песчаников высокой степени выбросоопасности – хотя бы одно из прогностических параметров превышает установленный критический уровень, то следует сообщение «Опасная ситуация». При этом проведение выработки необходимо запретить до проведения противовыбросных мероприятий или осуществлять проведение её БВР в режиме СВ.

При применении противовыбросных мероприятий или проведении выработки БВР в режиме СВ текущий прогноз выбросоопасности песчаника не отменяется. Прогноз «Опасная ситуация» сменяется на прогноз «Безопасная глубина выемки один цикл» после подвигания забоя на 6 м при сообщении «Опасно, зона запаса».

Отсутствие обработки акустического сигнала и прогноза выбросоопасности в текущем цикле подвигания забоя из-за неисправности линии передачи сигнала, аппаратуры или по иным причинам приравнивается к прогнозу «Опасная ситуация».

Оператор службы прогноза выполняет обработку акустического сигнала, вывод на печать результатов обработки, ретроспективный анализ прогностических параметров, прослушивание круглосуточной записи акустических сигналов осуществляет в соответствии с «Руководством по эксплуатации программного обеспечения PROGNOZ 4.0» [13]. Критические значения прогностических параметров фиксируют в специальном акте [4].

5 Прогноз выбросоопасности песчаников по результатам акустического зондирования в выработках, проводимых буровзрывным или комбайновым способом

Прогноз выбросоопасности осуществляется по результатам акустического зондирования в пройденной выработке и последующей экстраполяции результатов на дальнейшее её проведение.

По результатам акустического зондирования допускается изменять степень выбросоопасности песчаников на другую, в пределах проводимой полевой выработки в конкретных горно-геологических условиях, если ранее выполненный прогноз установлен в целом для толщи песчаника по геологоразведочным данным или иным способом прогноза. Экстраполяция результатов прогноза на участок планируемого проведения полевой выработки осуществляется: при высокой степени выбросоопасности, определённой по геологоразведочным данным и подтверждённой способом прогноза при проведении выработки – на величину не более 20 м от забоя выработки; при средней и низкой степени выбросоопасности песчаников – на величину не более 40 м от забоя выработки [4, 14].

Методика проведения акустического зондирования соответствует требованиям [3, 4]. При этом по всей длине выработки необходимо выдерживать одинаковые (рекомендуемое – 1,5 м) расстояния от геофона до точки нанесения ударов. Серия из 10-12 ударов наносится слева и справа от закреплённого геофона. Геофон крепится на обнажении песчаника в 2/3 части стенки от почвы выработки путём его расклинивания между элементами крепи и стенкой выработки, обес-

печивая надёжный контакт с породой. Интервал выполнения акустических зондирований должен быть не менее 50 м, а расстояние между пунктами наблюдений не более 5 м.

Акустические зондирования выполняют с использованием шахтного цифрового регистратора типа РШЦ, обеспечивающего запись акустического сигнала от геофона. Регистратор имеет частотный диапазон 20-3500 Гц, что позволяет осуществлять оценку состояния пород до расстояния 125 м от горной выработки.

Обработку записей акустических сигналов выполняют после выдачи регистратора на поверхность по программе МакНИИ ZOND в соответствии с требованием [4, 13]. Для прогноза выбросоопасности прогностическими параметрами служат: коэффициент выбросоопасности K_g и расстояние до верхней границы развития межслоевых деформаций (максимальные расстояния до ОМК).

Для вычисления коэффициента выбросоопасности задаются значения частот ограничивающих низкочастотную (сверху) и высокочастотную (снизу) составляющие. Первоначально эти значения устанавливаются, соответственно, 240 и 300 Гц, которые могут быть уточнены по мере накопления данных. Для корректировки граничных значений используют сводную таблицу данных, расположенную в этой программе «Zond» в решении задачи «Оценка выбросоопасности». Значения коэффициента выбросоопасности и максимальных расстояний до ослабленных межслоевых контактов на каждом пункте наблюдений, представлены в программе в виде графиков, наряду с другими параметрами и распределением ОМК, определённых в толще пород, окружающих выработку. Критические значения для коэффициента выбросоопасности равны 2,7, а для максимальных расстояний до ОМК – 3 м. Участок или интервал выработки относят к выбросоопасному, если подряд в трёх пунктах наблюдений значения K_g выше критического уровня, а максимальное расстояние менее критического уровня.

Если такая ситуация зафиксирована на расстоянии до 30 м от забоя выработки, то дальнейшее проведение выработки необходимо осуществлять БВР в режиме СВ. Если такая ситуация зафиксирована на расстоянии более 30 м от забоя, то необходимо перейти на прогноз выбросоопасности, применяемый для высокой степени выбросоопасности песчаника. Отмена этого режима может быть при отсутствии опасной ситуации на протяжении следующих 50 м проведения выработки. Причём прогноз «Опасная ситуация» по результатам акустического зондирования может быть отменен по результатам применения прогноза выбросоопасности пород по делению кернов на диски. При отсутствии выбросоопасной ситуации допускается выработку проводить буровзрывным способом в режиме для сверхкатегорийных по газу шахт.

С точки зрения надёжности рассмотренных способов прогноза выбросоопасности песчаника имеется ряд технологических ситуаций при которых нет однозначных нормативных решений. Так, к примеру, достаточно часто встречаются условия, когда необходимо проводить выработку по слою выбросоопасного песчаника или вблизи него, при этом в сечении выработки залегает ещё и угольный пласт, причём, который к тому же нередко является угрожаемым или даже опасным по выбросам угля и газа.

Для решения данного вопроса в настоящее время ИГТМ НАН Украины совместно со специалистами ряда шахт выполняются шахтные экспериментальные работы, направленные на обоснование возможности и разработке параметров мероприятий по безопасному проведению выработок смешанным забоем по выбросоопасному песчанику и угольному пласту [14-16]. В результате которых планируется разработать способ прогноза и предотвращения выбросов как песчаника, так и угля.

В качестве примера апробации некоторых из приведенных способов прогноза выбросоопасности приведём разработанные ИГТМ НАН Украины рекомендации по безопасному проведению уклона № 1 пласта m_4^2 2 ступени и 5 северного конвейерного штрека уклона № 1 пласта m_4^2 для условий ГП «УК «Краснолиманская» и проведение 4-го северного конвейерного штрека блока 10 в условиях ШУ «Покровское». Осложняющим фактором является проведение выработок вблизи выбросоопасного песчаника, в том числе и с его присечкой в сечении выработки, в который залегает ещё угольный пласт.

По поводу безопасного проведения выработок вблизи выбросоопасных песчаников, следует отметить, что в настоящее время на шахтах Донбасса при проведении пластовых подготовительных выработок вблизи выбросоопасных песчаников успешно применяется локальная их разгрузка образованием разгрузочной щели (полости) путём опережающей выемки угольного пласта комбайном или отбойным молотком (при буровзрывном способе проведения выработки). При этом, обеспечивая опережение угольного забоя относительно породного на величину не менее 0,5 м и оставляя предохранительный породный слой между щелью (полостью) и песчаником, а также соблюдая определённую очерёдность выемки угля и породы в пределах проектного контура выработки, присечку вмещающих пласт пород, в том числе и выбросоопасных песчаников, в пределах сечения выработок можно осуществлять комбайновым способом, либо буровзрывным способом в режиме, установленном для сверхкатегорийных по газу шахт. Способ локальной разгрузки выбросоопасных песчаников путём образования разгрузочной щели включён в отраслевой стандарт [4].

Кроме того, следует учитывать накопленный на ГП «УК «Краснолиманская» и ШУ «Покровское» опыт проведения подготовительных выработок комбайновым способом по угольному пласту вблизи выбросоопасных песчаников, в том числе с их присечкой в пределах сечения выработок, не осложнялось внезапными выбросами породы и газа и их предупредительными признаками.

Учитывая накопленный шахтами опыт проведения подготовительных выработок вблизи выбросоопасных песчаников без проявления газодинамических явлений ИГТМ НАН Украины рекомендовал проведение выработок в подобных условиях ГП «УК «Краснолиманская» и ШУ «Покровское» осуществлять комбайном избирательного действия при условии выполнения следующих требований:

- выработки проводить с применением двух видов текущего прогноза выбросоопасности пласта, например по параметрам акустического сигнала с применением аппаратуры АПСС-1 и по прочности угольного пласта в соответствии [4];

- в неопасных по прогнозам зонах, рекомендуется применять способ предотвращения внезапных выбросов песчаника и газа путём образования разгрузочной щели (полости) в угольном пласте, которая создаётся посредством опережающей выемки угольного пласта исполнительным органом комбайна в пределах сечения выработки;
- при выявлении опасной зоны одним из видов прогноза или при обнаружении предупредительных признаков газодинамических явлений, которые не приурочены к зонам геологических нарушений, необходимо выполнять противовыбросные мероприятия, например гидрорыхление угольного пласта с контролем его эффективности по динамике начальной скорости газовыделения из шпуров [2].

В случае невозможности применить гидрорыхление или в случае его неэффективности, проведение выработок осуществлять одним забоем по углю и вмещающим породам буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрыва согласно рекомендациям, изложенным в работах [5, 14]. При этом, проходческий комбайн должен быть оборудован датчиком газовой защиты типа ТМРК (термокаталитическое метан-реле комбайновое), выработки должны быть обеспечены расчётным количеством воздуха, а работающие обеспечены сигнализаторами метана, совмещёнными с головными светильниками.

Проведение указанных выработок на шахте «Краснолиманская» осуществлялась с ведением текущего прогноза выбосоопасности угольного пласта по начальной скорости газовыделения из шпуров с помощью прибора ПГ-2м и герметизатора ЗГ-1 и по параметрам акустического сигнала с применением аппаратуры АПСС-1. Мероприятия выполнялись в 5-й северном конвейерном штреке уклона №1 пласта m^2_4 при входе забоя в зону влияния геологического нарушения (Центральный надвиг) с ПК 143+13,5 до ПК 146+8,0, а при проведении конвейерного хода № 2 5-й северной коренной лавы уклона №1 пласта m^2_4 с ПК 0+0 до ПК 8+ 4,5, т.е. до выхода забоя в невыбросоопасную часть пласта (выше изогибсы 450 м). Поскольку опасных зон при выполнении текущего прогноза и предупредительных признаков газодинамического явления не было, то противовыбросные мероприятия на угольном пласте в забое не применялись.

Кроме того, при проведении выработок осуществлялось постоянное бурение двух разведочных скважин по ходу забоя выработок диаметром 42 м длиной 7 м с неснижаемым опережением 2 м. При этом непрогнозируемых геологических нарушений выявлено не было и забоями выработок они не вскрывались.

При проведении этих выработок на шахте «Краснолиманская» применялся способ предотвращения внезапных выбросов песчаника и газа, включающий в себя образование разгрузочной щели (полости) в угольном пласте посредством опережающей выемки выбросоопасного угольного пласта m^2_4 исполнительным органом комбайна в пределах сечения выработки на глубину, равную величине подвигания забоя за один цикл походки комбайном и с учётом неснижаемого опережения щели не менее 0,5 м. Способом предусматривалось выемку пород над и под щелью начинать со средней части забоя, а затем производить выемку в боках и своде выработке, причём предохранительный слой между щелью и песчаником должен быть не менее 0,5 м.

Проведение 4-го северного конвейерного штрека блока 10 по выбросоопасному угольному пласту d₄ в условиях ШУ «Покровское» осуществлялась проходческим комбайном КСП-43 с последующим креплением металлической аркой КШПУ-20,3, устанавливаемой с частотой 1,5 рамы на 1 метр. Ведение текущего прогноза выбросоопасности угольного пласта выполнялось по начальной скорости газовыделения из шпуров с помощью прибора и по параметрам акустического сигнала с применением аппаратуры АПСС-1. Мероприятия выполнялись под наблюдением ИГТМ в 4-м северном конвейерном штреке по мере его проведения с ПК 94+6,5 до ПК 210+6,0. Технологическая схема проведения выработки комбайном приведена на рис. 2.

На пикете ПК 194+8,5 забоем выработки было встречено непрогнозируемое тектоническое нарушение типа сброс пласта с амплитудой смещения угля 1,7 м. Учитывая рекомендации ИГТМ НАН Украины дальнейшее проведение выработки осуществлялось буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания. При выходе забоя выработки из зоны тектонического нарушения и выполнения 5-ти циклов разведочных наблюдений, которые выполнялись от ПК 194+8,5 до ПК 195+6,0, проведение выработки стали выполнять по прежней схеме с осуществлением прогноза выбросоопасности пласта по начальной скорости газовыделения из шпуров. Показания начальной скорости газовыделения при выполнении прогноза менялись в следующих пределах, соответственно, в трёх интервалах измерений: 0,00-0,51 л/мин; 0,00-1,19 л/мин и 0,00-1,48 л/мин.

Выводы. Существующие способы прогноза выбросоопасности песчаников включены в нормативные документы и достаточно эффективны.

Осложняющим фактором является случай, когда необходимо проводить выработку по слою выбросоопасного песчаника или вблизи него, при этом в сечении выработки залегает ещё и угольный пласт, причём, который к тому же нередко является угрожаемым или даже опасным по выбросам угля и газа.

В настоящее время ИГТМ НАН Украины выполняет шахтные экспериментальные работы, направленные на обоснование возможности и разработке параметров мероприятий по безопасному проведению выработок смешанным забоем по выбросоопасному песчанику и угольному пласту. В результате будет разработан способ прогноза и предотвращения выбросов как песчаника, так и угля в смешанном забое выработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НПАОП 10.0-1.10.10. Правила безпеки у вугільних шахтах. – Київ: Основа, 2010. – 430 с.
2. СОУ 10.1.00174088.011-2005: Правила ведення горних работ на пластах, склонних к газодинамическим явлениям. – Киев: Минуглепром Украины, 2005. – 220 с.
3. СОУ 10.1.00174088.017-2009: Правила пересечения горными выработками зон геологических нарушений на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа. – Киев: Минуглепром Украины, 2009. – 40 с.
4. СОУ-П 05.1.00174088.033:2012: Прогноз и предотвращение выбросов песчаников на глубоких шахтах. – Киев: Минэнергоугля Украины, 2012. – 29 с.
5. Минеев, С.П. Прогноз и способы борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах Украины / С.П. Минеев. – Днепропетровск: Восточный издательский дом, 2016. – 258 с.
6. Временное руководство по прогнозу выбросоопасности угольных пластов и вмещающих пород по данным геофизических исследований геологоразведочных скважин в Донецком бассейне. – М.: МУП СССР, Мингео СССР, 1989. – 48 с.
7. Потураев, В.Н. Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа / В.Н. Потураев, А.Н. Зорин,

В.Н. Забигаило [и др.]. - Киев: Наук. думка, 1986. – 160 с.

8. Баранов, В.А. Структурные преобразования песчаников Донбасса и прогноз их выбросоопасности: Автореферат дис. ... на соискание научной степени доктора геологических наук / НАН Украины, Институт геотехнической механики. – Днепропетровск. – 2000. – 35 с.

9. Безручко, К.А. Опыт применения метода локального прогноза выбросоопасности песчаников на шахтах Донбасса / К.А. Безручко // Уголь Украины, 2015. – №12. – С. 42-44.

10. Зорин, А.Н. Управление состоянием горного массива / А.Н. Зорин, В.Г. Колесников, С.П. Минеев, А.А. Прусова, Е.Д. Ковтун. – Киев: Наук. думка, 1986. – 212 с.

11. Минеев, С.П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах / С.П. Минеев, А.А. Рубинский, О.В. Витушко, А.Г. Радченко. – Донецк: Східний видавничий дім, 2010. – 604 с.

12. Король, В.И. Акустический способ прогноза газодинамических явлений в угольных шахт / В.И. Король, А.В. Скобенко. – Днепропетровск: НГУ, 2013. – 182 с.

13. Руководство по применению на шахтах Донбасса акустических способов контроля состояния призабойной части выбросоопасного пласта. – Макеевка: МакНИИ, 1996. – 58 с.

14. Минеев, С.П. Проведение выработок проходческими комбайнами по выбросоопасным угольным пластам и породам / С.П. Минеев, А.А. Рубинский. – Днепропетровск: Дніпро, 2006. – 384 с.

15. А.С. № 1390372, СССР. МКИ Е 21F 5/00. Способ проведения горной выработки вблизи выбросоопасного массива / А.А. Прусова, С.П. Минеев, В.И. Зберовский, С.Я. Машир. – Заявл. 29.05.86, Опубл. 23.04.88. – БИ 15. – 6 с.

16. А.С. № 1108216, СССР. МКИ Е 21F 5/00. Способ проведения горной выработки вблизи выбросоопасного массива / А.Н. Зорин, А.А. Прусова. – Заявл. 21.04.83, Опубл. 15.08.84, ДСП. – 4 с.

REFERENCES

1. Ministry of Coal Industry (2010), *NPAOP 10.0-1.10.10. Pravyla bezpeky u vugilnykh shakhtakh* [RLALP 10.0-1.10.10. Rules of carelessness at coal mines], Osнова, Kiev, Ukraine.

2. Ministry of Coal Industry (2005), *SOU 10.1.00174088.011-2005: Pravila vedeniya gornykh robot na plastakh, sklonnykh k gazodinamicheskim yavleniyam* [SOU 10.1.00174088.011-2005: Rules for conducting mining operations on reservoirs prone to gas dynamic phenomena], Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

3. Ministry of Coal Industry (2009), *SOU 10.1.00174088.017-2009: Pravila peresecheniya gornymi vyrabotkami zon geologicheskikh narusheniy na plastakh, sklonnykh k vnezapnym vybrosam uglya i gaza* [SOU 10.1.00174088.017-2009: Rules for the intersection of mining zones with geological disturbances in reservoirs prone to sudden releases of coal and gas], Ministry of Coal Industry, Kiev, Ukraine.

4. Ministry of Energy (2012), *SOU-P 05.1.00174088.033:2012: Prognoz i predotvrashcheniye vybrosov peschanikov na glubokikh shakhtakh* [SOU-P 05.1.00174088.033: 2012: Forecast and prevention of sandstone emissions in deep mines], Ministry of Energy, Kiev, Ukraine.

5. Mineev, S.P. (2016), *Prognoz i sposoby borby s gazodinamicheskimi yavleniyami na shakhtakh Ukrainy* [Forecast and ways to combat gas dynamic phenomena in the mines of Ukraine], Vostochnyy izdatel'skiy dom, Dnepropetrovsk, Ukraine.

6. Ministry of Geology (1989), *Vremennoye rukovodstvo po prognozu vybrosopasnosti ugolnykh plastov i vmeshchayushchikh porod po dannym geofizicheskikh issledovaniy geologorazvedochnykh skvazhin v Donetskoy basseynе* [Temporary guidance on the forecast of the ejection hazard of coal seams and host rocks according to geophysical exploration of geological exploration wells in the Donetsk basin], Ministry of Coal Industry, Moscow, USSR.

7. Poturayev, V.N., Zorin, A.N. (et al.) (1986), *Prognoz i predotvrashcheniye vybrosov porod i gaza* [Forecast and prevention of emissions of rocks and gas], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

8. Baranov, V.A. (2000), “Structural transformations of sandstones of Donbass and the forecast of their outburst”, Abstract of D. Sc. dissertation, National Academy of Sciences, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics, Dnepropetrovsk, Ukraine.

9. Bezruchko, K.A. (2015), “Experience in applying the method of local forecasting of sandstone emissions in the mines of Donbass”, *Ugol' Ukrainy*, no. 12, pp. 42-44.

10. Zorin, A.N., Kolesnikov, V.G. (et al.) (1989), *Upravleniye sostoyaniyem gornogo massiva* [Management of the state of the mountain massif], Naukova dumka, Kiev, USSR.

11. Mineev, S.P., Rubinskiy, A.A. (et al.) (2010), *Gornyye raboty v slozhnykh usloviyakh na vybrosopasnykh plastakh* [Mining in difficult conditions on the outburst hazardous layers], Skhidniy vidavniy dim, Donetsk, Ukraine.

12. Korol', V.I. and Skobenko, A.V. (2013), *Akusticheskiy sposob prognoza gazodinamicheskikh yavleniy*

v ugolnykh shakht [Acoustic method of forecasting gas-dynamic phenomena in coal mines], NGU, Dnepropetrovsk, Ukraine.

13. Ministry of Coal Industry (1996), *Rukovodstvo po primeneniyu na shakhtakh Donbassa akusticheskikh sposobov kontrolya sostoyaniya prizaboynoy chasti vybrosoopasnogo plasta* [Guidance on the use in the mines of Donbass acoustic methods of monitoring the state of the bottomhole part of the ejection-hazardous seam], Makeyevka Research Institute, Makeyevka, Ukraine.

14. Mineev, S.P. and Rubinskiy, A.A. (2006), *Provedeniye vyrabotok prokhodcheskimi kombaynami po vybrosoopasnym ugol'nyim plastam i porodam* [Carrying out excavations by tunneling combines on the ejection-hazardous coal seams and rocks], Dnipro, Dnepropetrovsk, Ukraine.

15. Prusova, A.A., Mineev, S.P., Zberovskiy, V.I., Mashir, S.Ya (1988), *Sposob provedeniya gornoy vyrabotki vblizi vybrosoopasnogo massiva* [Method of carrying out mining in the vicinity of the ejection-dangerous massif], SU, Pat. № 1390372.

16. Zorin, A.N. and Prusova, A.A. (1984), *Sposob provedeniya gornoy vyrabotki vblizi vybrosoopasnogo massiva* [Method of carrying out mining in the vicinity of the ejection-dangerous massif], SU, Pat. № 1108216.

Об авторах

Минеев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Днепр, Украина, sergminee@gmail.com

Шубин Владимир Петрович, инженер, начальник главного управления по вопросам труда в Донецкой области, Украина, 05dn@dsp.gov.ua

Кострица Андрей Алексеевич, инженер, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), Днепр, Украина

Янжула Алексей Сергеевич, инженер, главный инженер ШУ «Покровское», Покровск, Украина, office@pokrovskoe.com.ua

Кирьяков Михаил Анатольевич, инженер, начальник ШПСУ ШУ «Покровское», Покровск, Украина

Крипченко Сергей Владимирович, инженер, главный инженер ШПСУ ШУ «Покровское», Покровск, Украина

About the authors

Mineev Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of the department, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sergminee@gmail.com

Shubin Vladimir Petrovich, Head of the Main Department for Labor in Donetsk region, Ukraine, 05dn@dsp.gov.ua

Kostritsa Andrey Alekseevich, engineer, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine.

Yanzhula Aleksey Sergeevich, engineer, Chief Engineer of Mine Management "Pokrovskoye", Pokrovsk, Ukraine.

Kiryakov Mikhail Anatolievich, engineer, Head of Mine-penetrating Building Management, Pokrovsk, Ukraine.

Kripchenko Sergey Vladimirovich, engineer, Chief Engineer in Mine-penetrating Building Management of Mine Management "Pokrovskoye", Pokrovsk, Ukraine.

Анотація. Розглянуто методологію включає в себе основні правила виконання прогнозу, оцінки ступеня викидонебезпечності, оцінки ефективності застосування заходів, що запобігають викиди пісковика і газу або зменшують їх частоту і інтенсивність при проведенні гірничих виробок у вугільних шахтах України.

Прогноз викидонебезпечності пісковиків здійснюють при виконанні геолого-розвідувальних робіт і в процесі проведення гірничих виробок за цими піщаниках. На цій стадії робіт прогноз викидонебезпечності пісковиків здійснюють на підставі аналізу проб, що відбираються з керна на ділянках перетину пісковиків свердловинами, пробурених з поверхні до глибин 600 м і більше. Пісковики з аналізу геолого-розвідувальних даних відносять до невивбосооопасним до глибин 600 м їх залягання, а також на глибинах 600 м і більше, тільки на ділянках детальної розвідки і дорозвідки вугільних пластів певних марок зі значеннями показника відбивної здатності вітриніту R° менше 0,75 % і вмісту вуглецю C_0^0 менше 84 %.

Способи боротьби з викидами або БПР в режимі хитного підривання (СВ) в гірничих виробках вводять при отриманні прогнозу «Небезпечно» або при наближенні їх вибоїв до небезпечної зони по пісковіку з відстані не менше 3 м по нормалі і скасовують при відході від цієї зони на таке ж відстань. Основним показником прогнозу викидонебезпечності пісковіку, визначеного на підставі аналізу кернового матеріалу, отриманого при бурінні свердловини в гірничій виробці, є поділ керна на диски і наявність кільцевих тріщин, по інтенсивності утворення яких виділяють три ступеня викидонебезпечності пісковиків - високий, середній і низький. Однак в ряді випадків буріння кернових свердловин не завжди можливо або досить трудомістким. Тому застосовуються інші способи прогнозу викидонебезпечності. З огляду на викладене слід вважати, що одним найважливіших елементів безпечного проведення виробок по викидонебезпечних піщаниках є виконання надійного і достовірного прогнозу викидонебезпечності. Цьому питанню і присвячена ця стаття.

При проведенні гірничих виробок прогноз викидонебезпечності здійснюють з розподілу керна розвідувальної свердловини, по ефективної поверхневої енергії (ЕПЕ), по комплексному критерію В, обчислюваному по геолого-геофізичних даних, за параметрами акустичного сигналу, що реєструється в процесі впливу гірського устаткування на забій або при проведенні акустичних зондувань, а також за деякими додаткових особливостей в виконуваному прогнозі, вводиться при перетині забоєм вироблення геологічного порушення. У статті коротко розглянуті загальні принципи кожного з зазначених вище методів прогнозу викидонебезпечності пісковиків.

Ключові слова: прогноз, викидонебезпечність пісковиків, ведення гірських робіт, вугільна шахта, викиди породи і газу.

Abstract. The considered methodology includes basic rules of making forecast and assessment of outburst risk and effectiveness of the measures to prevent sandstone and gas outbursts or to reduce their frequency and intensity during the mining operations in the Ukrainian coal mines.

Normally, forecast of the sandstone outbursts is carried out during geological exploration and in the process of mining operations. At the stage of geological exploration, the forecast of the sandstone outburst is carried out basing on analysis of samples taken from the core in areas where boreholes, drilled from the surface to the depth up to 600 m and more, cross the sandstone. By analysis of exploration data, sandstones are considered as not prone-to-outburst at their occurrence at depths of 600 meters and at their occurrence at depth of 600 m and more, but only in areas of detailed exploration and additional exploration of the seams of certain coal grades, in of vitrinite reflectance R^o is less than 0.75 % and carbon content of C_0^0 is less than 84 %.

Methods for preventing outbursts by means of the shock blasting are used in the roadways when the forecast is "Danger" or when the faces approach the danger-by-sandstone zone at a distance not less than 3 m in normal and are not used when the faces are driven away from this zone at the same distance.

The key characteristic of the forecasted risk of the sandstone outbursts is division of the core (the core is taken while drilling the borehole in the roadway) into separate layers and presence of ring cracks. By intensity of their formation, three degrees of the sandstone outburst risk are distinguished - high, medium and low. However, in some cases, drilling of the core boreholes is not always possible or requires great labour-intensity. Therefore, other methods are applied for forecasting the outburst risk. Taking into consideration the above mentioned, it should be assumed that one of the most important conditions for safety face driving in the prone-to-outburst sandstones is a true and reliable forecast of outburst. This is the subject of this article.

In the process of the face driving, the forecast is made basing on the following characteristics: division of the core taken from the exploration borehole; effective surface energy; integrated criterion В, which is calculated by geological and geophysical data; parameters of the acoustic signal recorded when mining equipment impacts the face, or detected by acoustic sounding; and some other additional specific characteristics of forecast conducted when a face crosses the roadway with geological faults. In the article, general principles of each of the above methods of forecasting the sandstone outburst is briefly described.

Keywords: forecast of sandstone outburst, mining operations, coal mines, rock and gas outbursts

Стаття поступила в редакцію 11.05.2017

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. В.П. Франчуком