

УДК 622.454:622.817.4

**Бокий Б.В.**, д-р техн. наук  
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.,

**Боровский А.В.**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

**Новиков Л.А.**, магистр

(ИГТМ НАН Украины)

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПРОВЕТРИВАНИЯ И СПОСОБОВ ДЕГАЗАЦИИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА**

**Бокій Б.В.**, д-р техн. наук

(ПАТ «Шахта ім. О.Ф. Засядька»)

**Бунько Т.В.**, д-р техн. наук, ст. наук. співр.,

**Боровський А.В.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,

**Новіков Л.А.**, магістр

(ІГТМ НАН України)

## **ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ПРОВІТРЮВАННЯ І СПОСОБІВ ДЕГАЗАЦІЇ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ**

**Bokiy B.V.**, D. Sc (Tech)

(PAS «A.F. Zasyadko mine»),

**Bunko T.V.**, D.Sc (Tech.), Senior Researcher,

**Borovski A.V.**, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,

**Novikov L.A.**, M.S. (Tech.)

(IGTM NAS of Ukraine)

## **SELECTION RATIONAL SCHEMES OF INSPECTION AND METHODS DEGASSING OF THE WORKED OUT SPACE**

**Аннотация.** На основании экспериментальных данных проведен анализ изменения концентрации метана в выработанном пространстве. Сделана оценка эффективности и осуществлен выбор рациональных схем проветривания и способов дегазации при их комбинированном использовании в данных горно-геологических условиях.

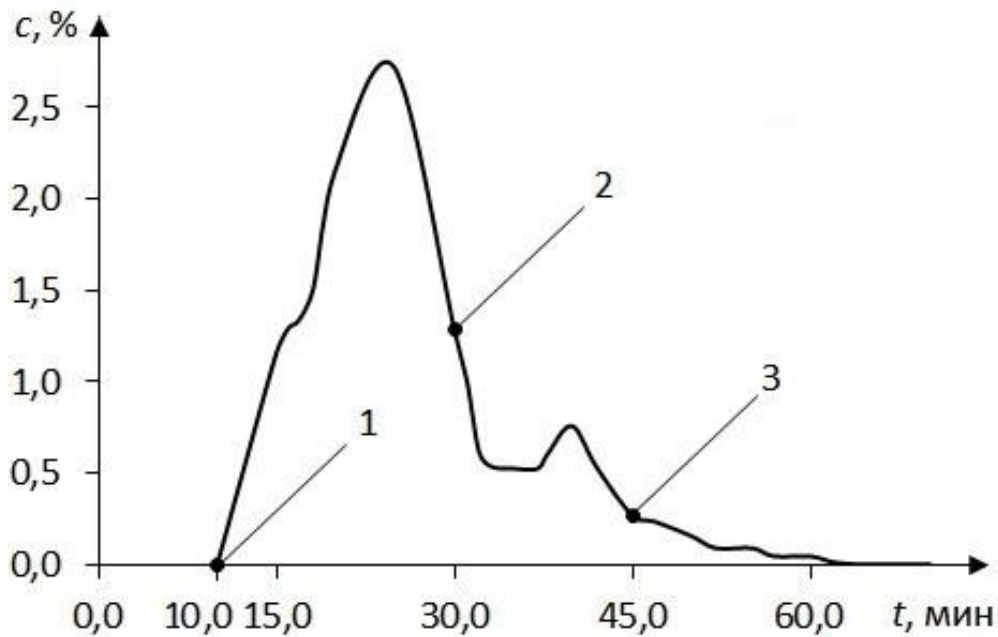
Рассмотрен характер протекания газодинамических процессов при остановке и возобновлении дегазации для различных промежутков времени с учетом изменения схемы проветривания выемочного участка. Получены эмпирические зависимости, описывающие характер изменения концентрации метана в вентиляционной струе.

**Ключевые слова:** выработанное пространство, вакуум-насосы, схема проветривания, дегазация, концентрация метана.

На шахте им. А.Ф. Засядько используются прогрессивные способы проветривания и дегазации, что позволяет управлять газодинамическими процессами на выемочных участках, снижая их газообильность. При этом учитываются горно-геологические условия, обуславливающие величину дебита метана поступающего в выработки выемочного участка.

Совместная работа систем вентиляции и дегазации необходима для повышения экологической безопасности горного предприятия, а также добычи и утилизации шахтного метана. Анализ эффективности работы указанных систем позволяет оценить целесообразность применения тех или иных схем проветривания и дегазации, а также выбрать наиболее рациональные их них [1-5].

На рис. 1 представлены результаты измерений концентрации метана в вентиляционном ходке 7 уступа на горизонте 1235 м, расположенного вблизи выработанного пространства 16-й западной лавы по пласту  $m_3$



1 – отключение ВНС газоотсоса и скважин ( $t = 10$  мин); 2 – включение ВНС газоотсоса ( $t = 30$  мин); 3 – включение ВНС скважин ( $t = 45$  мин)

Рисунок 1 – Изменение концентрации метана в ходке 7 уступа в зависимости от задействованных средств дегазации

Функциональную зависимость на рис. 1 можно представить в виде:

$$c = \begin{cases} 2,9934 \cdot \ln(t) - 6,9781, & R^2 = 0,977, & 10 \leq t \leq 25; \\ 105,69 \cdot e^{-0,147t}, & R^2 = 0,99, & 25 < t \leq 30; \\ 10616 \cdot e^{-0,301t}, & R^2 = 0,96, & 30 < t \leq 33; \\ -0,0028 \cdot t + 0,6262, & R^2 = 0,72, & 33 < t \leq 37; \\ 0,0052 \cdot e^{0,1252t}, & R^2 = 0,99, & 37 < t \leq 40; \\ 2881 \cdot e^{-0,206t}, & R^2 = 0,99, & 40 < t \leq 45; \\ -0,614 \cdot \ln(t) + 2,5629, & R^2 = 0,90, & t > 45. \end{cases} \quad (1)$$

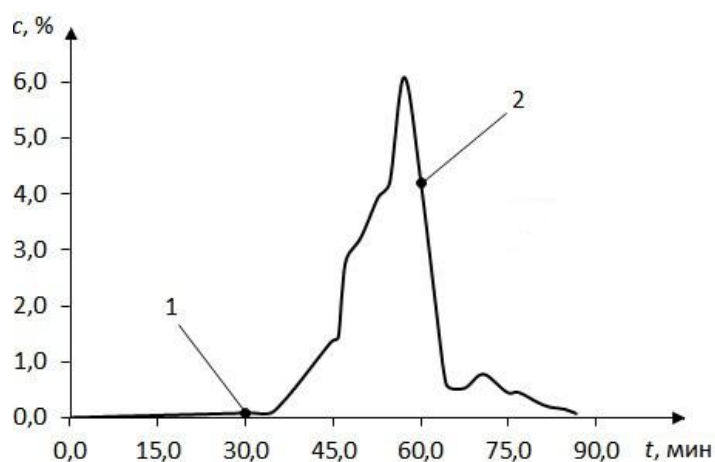
Из рис. 1 следует, что после отключения ВНС газоотсоса и скважин происходит увеличение концентрации метана в диапазоне от  $t = 10$  до  $t \approx 25$  мин. При

остановке ВНС (вакуум-насосов) метановоздушная смесь (МВС) свободно проникает из выработанного пространства 16 западной лавы в ходок 7 уклона за счёт общешахтной депрессии.

После включения ВНС газоотсоса концентрация метана продолжает снижаться и стабилизируется при  $t \approx 33 \div 37$  мин. Далее происходит ее кратковременное возрастание ( $t = 37 \div 40$  мин) и дальнейшее снижение ( $t > 40$  мин).

При включении ВНС скважин интенсивность снижения концентрации метана замедляется.

После перекрытия просвета между трубопроводами дегазации и контуром ходка чураковой перемычкой (при остановке ВНС) расход МВС, поступающий из выработанного пространства в ходок 7 уклона, стал равен  $250 \text{ м}^3/\text{мин}$  (до перекрытия  $Q = 900 \text{ м}^3/\text{мин}$ ), а суммарный дебит дегазации не превышал  $8,5 \text{ м}^3/\text{мин}$  (рис. 2)



1 – отключение ВНС газоотсоса ( $t = 30$  мин); 2 – включение ВНС газоотсоса и отключения ВНС скважин ( $t = 60$  мин)

Рисунок 2 – Изменение концентрации метана в ходке 7 уклона при расположении замерного пункта в 10 м от сопряжения ходка с коренным штреком гор. 1235 м

Функциональную зависимость на рис. 2 можно представить в виде:

$$c = \begin{cases} 0,0028 \cdot t, & R^2 = 0,99, & 0 \leq t \leq 30; \\ 0,0133 \cdot e^{0,0614t}, & R^2 = 0,99, & 30 < t \leq 35; \\ 0,0003 \cdot e^{0,176t}, & R^2 = 0,98, & 35 < t \leq 57; \\ 9696,3 \cdot e^{-0,129t}, & R^2 = 0,99, & 57 < t \leq 60; \\ -51,65 \cdot \ln(t) + 215,66, & R^2 = 0,99, & 60 < t \leq 65; \\ 0,0313 \cdot e^{0,045t}, & R^2 = 0,96, & 65 < t \leq 71; \\ 6293,3 \cdot e^{-0,127t}, & R^2 = 0,99, & t > 71. \end{cases} \quad (2)$$

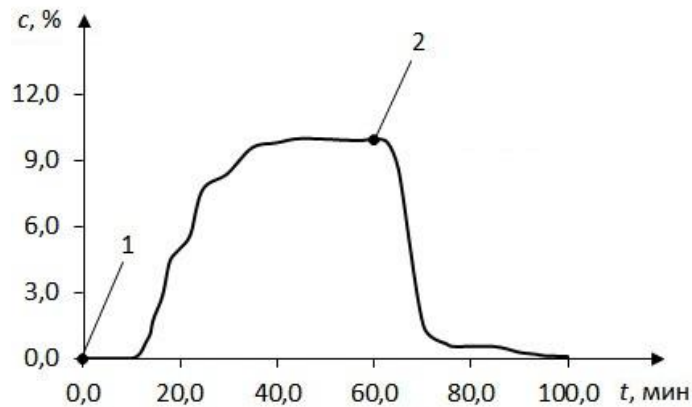
Из рис. 2 следует, что процесс увеличения концентрации метана начинается после остановки ВНС газоотсоса и заканчивается сразу же после его запуска.

Проветривание участка производилось по возвратноточной схеме. При

включённых ВНС из выработанного пространства поступала МВС в ходок 7 уклона через трубопровод газоотвода, а от перемычки к сопряжению со штреком гор. 1235 м имело место незначительное перемещение воздуха вдоль кровли ходка, причем вдоль почвы – в обратном направлении. В редких случаях наблюдалось слабое движение воздуха вниз от гор. 1235 м по всему сечению ходка. При этом, для предотвращения снижения концентрации метана в каптируемой МВС требовалось уменьшение расхода МВС в трубопроводе изолированного газоотвода.

После выключения ВНС газоотсоса схема проветривания изменялась на комбинированную с раздвоением исходящей из лавы струи воздуха. При этом через перемычку происходили утечки воздуха.

Для проведения дополнительных исследований притоков метана в выработанное пространство продолжительность остановки ВНС была увеличена до 60 мин (рис. 3)



1 – отключение ВНС ( $t=0$ ); 2 – включение ВНС ( $t=60$  мин)

Рисунок 3 – Изменение концентрации метана в ходке 7 уклона до и после остановки ВНС

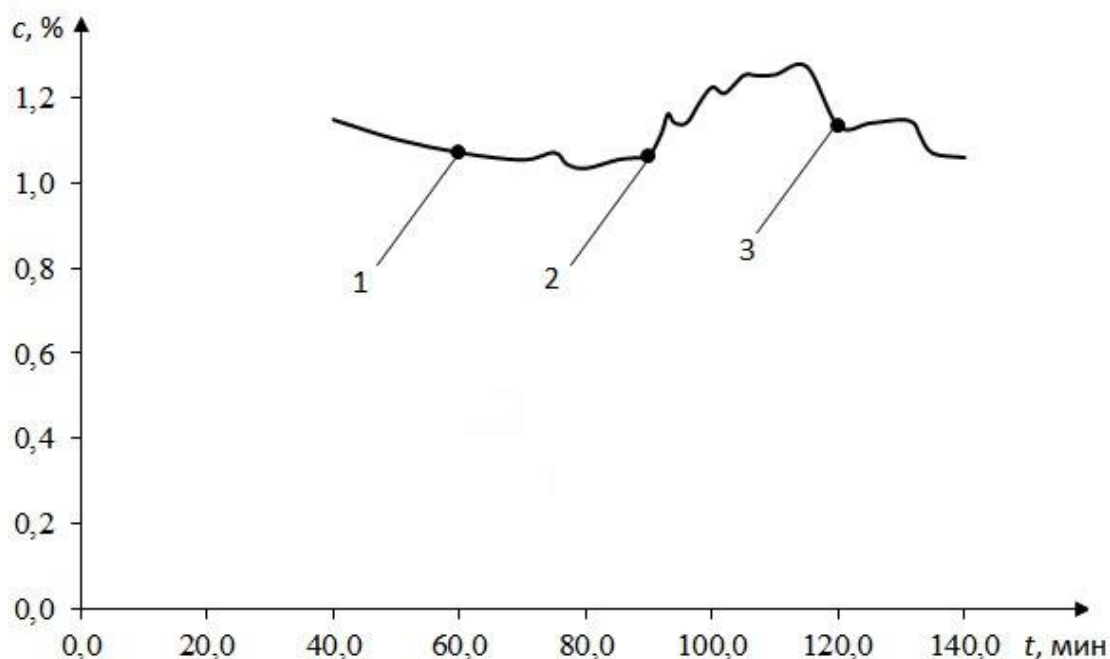
Функциональную зависимость на рис. 3 можно представить в виде:

$$c = \begin{cases} 0,01, & R^2 = 0,99, & 0 \leq t \leq 10; \\ 0,0001 \cdot e^{0,4731 \cdot t}, & R^2 = 0,98, & 10 \leq t \leq 25; \\ 4,4539 \cdot e^{0,0218 \cdot t}, & R^2 = 0,99, & 25 < t \leq 35; \\ 9,2156 \cdot e^{0,0013 \cdot t}, & R^2 = 0,81, & 35 < t \leq 60; \\ 724543 \cdot e^{-0,187 \cdot t}, & R^2 = 0,99, & 60 < t \leq 70; \\ 93399 \cdot e^{-0,157 \cdot t}, & R^2 = 0,96, & 70 < t \leq 77; \\ 339,86 \cdot e^{-0,082 \cdot t}, & R^2 = 0,92, & t > 77. \end{cases} \quad (3)$$

Из рис. 3 следует, что после отключения ВНС концентрация метана остается постоянной в диапазоне от 0 до 10 мин, после чего она возрастает вплоть до момента времени  $t = 45$  мин. При  $t \approx 45 \div 60$  мин концентрацию метана можно приближенно считать постоянной.

После включения ВНС происходит заметное снижение концентрации метана, которое замедляется при  $t \approx 70 \div 77$  мин и в диапазоне от 77 до 85 мин остается практически постоянным. При  $t > 77$  наблюдается незначительное снижение концентрации метана.

На рис. 4 представлены результаты изменений концентрации метана в исходящей струе, направляемой к центру



1 – отключение газоотсоса ( $t = 60$  мин); 2 – отключение ВНС скважин и включение ВНС газоотсоса ( $t = 90$  мин); 3 – включение ВНС скважин ( $t = 120$  мин)

Рисунок 4 – График изменения концентрации метана метана в исходящей струе, направляемой к центру до и после выключения ВНС

Функциональную зависимость на рис. 4 можно представить в виде:

$$c = \begin{cases} 1,32 \cdot e^{-0,003t}, & R^2 = 0,99, & 40 \leq t \leq 60; \\ 1,1922 \cdot e^{-0,002t}, & R^2 = 0,99, & 60 < t \leq 80; \\ 0,8284 \cdot e^{0,0028t}, & R^2 = 0,99, & 80 < t \leq 90; \\ 0,5749 \cdot e^{0,0071t}, & R^2 = 0,94, & 90 < t \leq 115; \\ 18,607 \cdot e^{-0,023t}, & R^2 = 0,99, & 115 < t \leq 120; \\ 1,7227 \cdot e^{-0,003t}, & R^2 = 0,99, & 120 < t \leq 140. \end{cases} \quad (4)$$

На рис. 4 средний расход воздуха в вентиляционном штреке:

- при отключении ВНС газоотсоса –  $970 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;
- при отключении ВНС скважин –  $930 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;
- при работающих ВНС –  $910 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Из рис. 4 следует, что после отключения ВНС газоотсоса заметного увеличения концентрации метана не произошло. Всплеск концентрации метана на-

блюдался при  $70 < t < 77$  мин.

После отключения ВНС скважин и включение ВНС газоотсоса наблюдалось скачкообразное увеличение концентрации метана в исходящей струе вплоть до  $t = 115$  мин. После чего величина концентрации начинала снижаться.

#### **Выводы:**

- при комбинированной схеме проветривания с раздвоением исходящей из лавы струи воздуха целесообразно устанавливать дополнительное аэродинамическое сопротивление, позволяющее снизить концентрацию метана в исходящей струе;

- в условиях столбовой системы разработки наиболее эффективно сочетание возвратной схемы проветривания с изолированным газоотводом метановоздушной смеси на фланг выемочного поля в сторону выработанного пространства;

- при прямоточной схеме проветривания применение изолированного газоотвода неэффективно.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Совершенствование вентиляции и дегазации угольных шахт / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, Б.В. Бокий [и др.]. – Днепропетровск, 2005. – С. 55-58.
2. Вопросы обеспечения экологической безопасности при функционировании высокопроизводительных угольных шахт / А.Ф. Булат, Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 125. – С. 4-14.
3. Извлечение шахтного метана и защита окружающей среды (обзор) / С.В. Кузера, И.Д. Дроздник, Ю.С. Кафтан [и др.] // Уголь Украины.- 2005. - №6. – С. 13-15.
4. Новиков, Л.А. Газодинамика обводненных участков дегазационного трубопровода и методы расчета их параметров / Л.А. Новиков // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 235-244.
5. Совершенствование метода расчета концентраций метана по сети горных выработок, включающих рассредоточенные источники метановыделения / Т.В. Бунько, И.Е. Кокоулин, А.Ш. Жалилов, А.Б. Бокий // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 31-42.

#### REFERENCES

1. Bulat, A.F., Zvyagilskiy, E.L., Bokiyy, B.V. [and others] (2005), *Sovershenstvovanie ventilyatsii i degazatsii ugolnykh shaht* [Improving the coal mine ventilation and degasification], Dnipropetrovs'k, Ukraine, p. 216.
2. Bulat, A.F., Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye. [and others] (2015), «Questions of providing of ecological safety at functioning of high-performance coal mines», *Geo-Technical Mechanics*, no. 125, pp. 4-14.
3. Kuzera, C.V., Drozdnyk, I.D., Kaftan, Yu.S. [and others] (2005), «Extraction of mine methane and defence of environment (review)», *Coal of Ukraine*, no.6, pp. 13-15.
4. Novikov, L.A. (2015), «Gas-dynamics of the water invasion areas of decontamination pipeline and methods of calculation of its parameters», *Geo-Technical Mechanics*, no. 120, pp. 235-244.
5. Bunko, T.V., Kokoulin, I.Ye., Zhalilov, A. Sh. and Bokiyy, A.B. (2015), «Perfection of method calculation concentrations of methane on the network of the mine making including the dispersed sources of methane emission», *Geo-Technical Mechanics*, no. 120, pp. 31-42.

---

#### Об авторах

**Бокий Борис Всеволодович**, доктор технических наук, заместитель генерального директора, Публичное акционерное общество «Шахта им. А.Ф. Засядько» (ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»), Донецк, Украина

**Бунько Татьяна Викторовна**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт

геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Боровский Анатолий Владимирович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина

**Новиков Леонид Андреевич**, магистр, младший научный сотрудник в отделе проблем разработки месторождений на больших глубинах, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [lnov71@yandex.ru](mailto:lnov71@yandex.ru)

#### About the authors

**Bokiy Boris Vsevolodovich**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Senior Researcher, Deputy Director General, Public Joint Stock Company "A.F. Zasyadko Mine" (PJSC "A.F. Zasyadko Mine"), Donetsk, Ukraine

**Bunko Tatyana Viktorovna**, Doctor of Technical Sciences (D.Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [bunko2007@mail.ru](mailto:bunko2007@mail.ru)

**Borovskiy Anatoliy Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Mineral Mining at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine

**Novikov Leonid Andreevich**, Master of Science, Junior Researcher in Department of Mineral Mining at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [lnov710@gmail.com](mailto:lnov710@gmail.com)

**Анотація.** На підставі експериментальних даних проведений аналіз зміни концентрації метану у виробленому просторі. Зроблена оцінка ефективності та здійснений вибір раціональних схем провітрювання і способів дегазації при їхнім комбінованому використанні в даних гірничо-геологічних умовах. Розглянутий характер протікання газодинамічних процесів при зупинці та поновленні дегазації для різних проміжків часу з урахуванням зміни схеми провітрювання виїмкової ділянки. Отримані емпіричні залежності, що описують характер зміни концентрації метану у вентиляційному струмені.

**Ключові слова:** вироблений простір, вакуум-насоси, схема провітрювання, дегазація, концентрація метану.

**Abstract.** Based on the experimental data, an analysis of the change in the methane concentration in the worked-out space was carried out. The effectiveness evaluation was carried out and the choice of rational ventilation schemes and methods of degassing was used for their combined use in these mining and geological conditions. The nature of gasdynamic processes during the stopping and renewal of degassing for various time intervals is considered taking into account the change in the ventilation scheme of the excavation site. Empirical dependencies describing the change in methane concentration in a vent stream are obtained.

**Keywords:** worked-out space, vacuum pumps, ventilation scheme, degassing, methane concentration

*Статья поступила в редакцию 14.04. 2017*

*Рекомендовано к публикации д-ром техн. наук С.П. Минеевым*