

УДК 351.861, 614.8.084

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОБЪЕКТЕ ДОБЫЧИ ГОРНЫХ ПОРОД

Е.В. Муравьева, В.Д. Дорофеева

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В статье проводится расчет необходимого количества пожарной техники, личного состава пожарных подразделений для локализации очагов пожара на складе взрывчатых материалов подземного комплекса Талицкого горно-обогатительный комплекс. В процессе работы разработаны и предложены мероприятия и технические решения, направленные на предотвращение возникновения и распространения пожара. Предлагаемые технические решения могут быть использованы на предприятии АО «Верхнекамская калийная компания».

Ключевые слова: опасные производственные объекты; безопасность путей эвакуации; взрывчатые вещества; критическое время пожара; план действий при пожаре, горно-обогатительный комплекс, опасный производственный объект, ликвидация пожара, эвакуация персонала, пожароспасательная техника, околоствольный двор.

Введение

Горные предприятия, ведущие подземные работы, являются потенциально опасными, аварии в них приобретают особый характер, так как при этом не только нарушается ритм работы предприятия, но и возникает угроза здоровью и жизни людей, занятых в это время на подземных работах.

Наиболее опасными подземными авариями являются:

- взрывы метанопылевоздушной смеси;
- подземные пожары;
- загазованность выработок различными вредными для жизни людей газами (CH_4 , CO , CO_2 , H_2S , SO_2 и др.);
- обрушения горных выработок.

Развитие пожара сопровождается возникновением ряда опасных факторов, представляющих серьезную угрозу здоровью и жизни людей. Так, ущерб здоровью людей могут нанести пламя, дым, разогретый воздух, инфракрасное излучение, токсичные газы, образующиеся при горении, взрывы, инициируемые пожаром, разрушающиеся конструкции зданий и сооружений. Кроме того, пожары причиняют огромный материальный ущерб, способны нанести вред окружающей природной среде. Особенно опасны пожары на горных предприятиях. Кроме того, подземные пожары могут возникать в недоступных местах (в выработанном пространстве), что значительно затрудняет их своевременное обнаружение и тушение. Из-за недоступности и отсутствия данных о местонахождении очага, для тушения пожаров, возникших в выработанном пространстве, зачастую применяют метод изоляции.

Борьба с пожарами на горных предприятиях, особенно в шахтах, предусматривает ряд мероприятий, включающих постоянный контроль за признаками пожара, профилактические мероприятия по предотвращению пожаров, определение местонахождения (локацию) обнаруженного очага в выработанном пространстве, его локализацию и тушение.

Расчет произведен в соответствии с методикой СП 11.13130 [1] с учетом Приказа МЧС РФ от 31 марта 2011 г. № 156013 «Порядок тушения пожаров подразделениями пожарной охраны» [2].

Пожарные подразделения по охране объектов организаций в обязательном порядке должны оснащаться пожарными машинами в случаях:

- если время прибытия необходимого для тушения пожара количества пожарных автомобилей территориальных подразделений Государственной противопожарной службы к месту вызова в городских поселениях и городских округах превышает 10 мин., а в сельских поселениях – более 20 мин.;

- расположения объектов организаций вне территории населенных пунктов;
- если производственные и пожарно-тактические характеристики объектов обуславливают применение специальных пожарных автомобилей (автолестницы, коленчатые подъемники, пеноподъемники и т.п.), а также специальных огнетушащих средств (воздушно-механическая пена, огнетушащие порошки, углекислота и т.д.)

Количество и тип пожарной техники определяется с учетом обеспечения требуемого уровня противопожарной защиты в зависимости от:

- особенностей развития возможного пожара на данных объектах;
- нормативных расходов огнетушащих веществ на пожаротушение;
- времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара.

Тушение пожара осуществляется силами личного состава проектируемого ВГСВ рудника горно-обогатительного комплекса.

В соответствии с СП 11.13130 [1] расчет производим для целей:

- № 1 (ликвидация пожара прежде, чем его площадь превысит площадь, которую может потушить один пожарный караул);
- № 2 (ликвидация пожара прежде, чем наступит предел огнестойкости несущих строительных конструкций).

Расчет для цели № 3 (ликвидация пожара прежде, чем опасные факторы пожара достигнут критических для людей значений) не производится, поскольку эта цель подлежит реализации при тушении пожаров в зданиях с массовым пребыванием людей, когда расчетное время эвакуации людей из здания больше необходимого времени эвакуации людей (то есть, когда опасность для жизни людей наступает до того, как они эвакуируются из здания), и их эвакуация не завершилась до прибытия пожарных подразделений, а также при ликвидации пожаров в помещениях, из которых эвакуация людей невозможна без причинения вреда их жизни (помещения с послеоперационными больными, подключенными к аппаратам искусственного поддержания жизнедеятельности организма, помещения с людьми в барокамерах и др.) или нецелесообразна по условиям технологического процесса.

Нормативы требуемого количества личного состава для работы с техническими средствами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Нормативы требуемого количества личного состава для работы с техническими средствами

Выполняемая работа	Требуемое количество людей	Норма времени на 1 чел., мин.
Работа:		
– со стволом Б с земли (пола) или лестницы	1	-
– со стволом Б на крыше здания	2	-
– со стволом А (диаметр насадка от 19 до 25 мм)	2-3	-
– со стволами А или Б в сильно задымлённом помещении	3-4 (звено ГДЗС)	-

Выполняемая работа	Требуемое количество людей	Норма времени на 1 чел., мин.
– с переносным лафетным стволом	3-4	-
– с ГПС-600 или воздушно-пенным стволом	2-1	-
Установка пеноподъемника	5-6	-
Разведка:		
– в задымленном помещении	3 (звено ГДЗС)	-
– в больших подвалах, тоннелях, бесфонарных зданиях и т.д.	6 (2 звена ГДЗС)	-
Прокладка одной рукавной линии диаметром 66 или 77 мм:		
– из скаток на расстояние 100 м	2	2-3
– из гармошки или катушки на расстояние 100 м	2	1,5
– из скаток на расстояние 240 м	3	4-6

Для расчета принимаем наиболее неблагоприятный сценарий возникновения пожара[4]: при проведении сварочных работ возгорается деревянная тара на складе взрывчатых материалов околоствольного двора ствола № 1 (Рис.1).

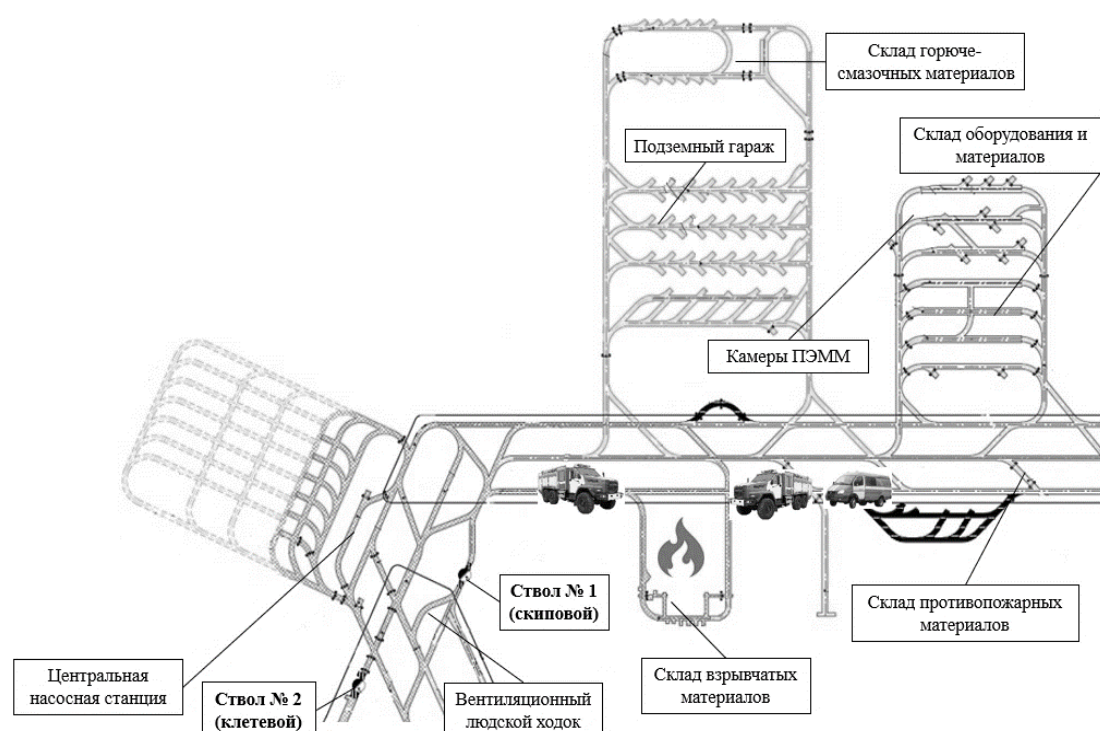


Рис. 1. План горно-обогатительного комплекса

Для обеспечения безопасности персонала эвакуация при пожаре осуществляется навстречу свежей струе воздуха. Выход из задымленных рабочих зон на свежую струю воздуха осуществляется пешим ходом в изолирующих самоспасателях. Дальнейшая эвакуация до стволов производится с помощью автотранспорта (с удаленных участков), либо пешим ходом. Предусматривается возможность проезда автотранспортной техники как по воздухоподающим, так и по вентиляционным выработкам (на случай реверсирования воздушной струи).

Для сбора и доставки к месту пожара (аварии) личного состава, пожарно-технического вооружения и оборудования, средств проводной и радиосвязи пожарное депо комплектуется штабным автомобилем АШ-7. Доставка горноспасателей осуществляется со стороны поступления свежей струи воздуха для их защиты от дыма и продуктов горения во время движения.

Для тушения пожара выезжает караул на двух АЦ, который подает два ствола первой помощи. Подача воды на решающем направлении осуществляется двумя стволами ОРТ-50 от разных автоцистерн (АЦ) через рукавные линии диаметром 51 мм. Для работы в непригодной для дыхания среде формируется два звена газодымозащитной службы (ГДЗС) состоящие из 3-х человек.

Вводим звеном ГДЗС один ствол ОРТ-50 на тушение и один ствол на защиту строительных конструкций. Защита личного состава осуществляется с учетом характеристик используемого ствола ОРТ-50. Распространение пожара в транспортном штреке околоствольного двора не рассматриваем, т.к. в проеме примыкания околоствольного двора к транспортному штреку установлена завеса, которая запускается во время пожара.

Для создания условий для безопасного движения горноспасателей и успешного спасения людей в руднике предусматривается устройство безопасных эвакуационных путей и выходов в соответствии с требованиями «Правил безопасности при ведении горных работ» [5].

Для безопасного следования к очагу пожара и нахождения горноспасателей в непосредственной близости от технологических трубопроводов гидравлической закладки, трубопроводы выполнены с соблюдением требований Руководства по безопасности «Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов». [6]

Расчет выполнения цели № 1

Цель № 1 выполняется, если выполняется условие:

$$l_1 \leq \frac{g_{cl}}{60} (T_2 - T_1), \quad (1)$$

где l_1 – фактическое расстояние по дорогам Талицкого рудника от пожарного депо до околоствольного двора по расчетной схеме, $l = 1,14$ км;

g_{cl} – скорость следования подразделения пожарной охраны на место пожара (оценивается для наиболее неблагоприятных влияющих на нее факторов: состояние дорог, особенности ландшафта, климатические особенности периода года и др.), $g_{cl} = 40$ км/ч.

$$T_2 = \sqrt{Q_{cm} / (\pi g_a^2 J_{mp})}, \quad (2)$$

где Q_{cm} – фактический расход огнетушащего вещества, который подразделение пожарной охраны подает в очаг пожара, л/с. Фактический расход огнетушащего вещества принимается в соответствии с техническими характеристиками пожарного оборудования. Один ствол «ОРТ-50» $Q_{cm} = 3$ л/с.

J_{mp} – требуемая интенсивность подачи огнетушащего вещества при тушении пожара, л/(м²·с). При тушении пожаров в зданиях II степени огнестойкости, требуемая интенсивность подачи воды $J_{mp} = 0,06$ л/м²·с. Согласно справочника для уменьшения поверхностного натяжения и увеличения смачивающей способности в воду добавляют

поверхностно-активные вещества (смачиватели). Оптимальная концентрация пенообразователя к воде должна составлять от 3,5 до 6,5 %, что позволит уменьшить расход воды от 35 до 50 %. Для расчета, с учетом применения смачивателя, принимаем интенсивность подачи воды $J_{\text{треб}} = 0,03 \text{ л/с м}^2$.

π – постоянная, 3,14;

$\mathcal{Q}_l$ – линейная скорость распространения пламени по горящему материалу, м/мин.

Линейная скорость распространения пламени $\mathcal{Q}_l = 0,5 \dots 1,0 \text{ м/мин}$.

Принимаем $\mathcal{Q}_l = 0,8 \text{ м/мин}$.

$$T_2 = \sqrt{Q_{\text{см}} / (\pi \mathcal{Q}_l^2 J_{\text{мр}})} = \sqrt{6 / (3,14 \cdot 0,8^2 \cdot 0,03)} = 9,97 \text{ мин.}$$

$$T_1 = \tau_{об} + \tau_c + \tau_{сб} + \tau_{бр}, \quad (3)$$

где $\tau_{об}$ – время от момента возникновения пожара до момента его обнаружения, мин. Так как на проектируемом объекте защиты предусмотрена установка автоматизированной пожарной сигнализации (АПС) и системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) с выводом в пожарную часть, то принимаем $\tau_{об} = 0 \text{ мин}$.

τ_c – время от момента обнаружения пожара до момента сообщения о нем в пожарную охрану, мин. По справочнику в зависимости от режима работы объекта и наличия автоматических средств обнаружения $\tau_c = 2 \dots 10 \text{ мин}$. Так как объект оснащен АПС и СОУЭ с выводом в пожарную часть, то принимаем $\tau_c = 2 \text{ мин}$.

$\tau_{сб}$ – время сбора личного состава по тревоге, мин;

$\tau_{бр}$ – время от момента прибытия на пожар до момента подачи огнетушащего средства из первого ствола в очаг пожара (время боевого развертывания), мин.

По нормативам время сбора и выезда караула по тревоге с посадкой в автомобиль на шасси автомобиля Урал за воротами гаража – не более 48 с (0,8 мин). Выполнение данного норматива принимаем с учетом коэффициентов k_6 и k_c (определение коэффициентов см. далее).

$$\tau_{сб} = 0,8 \cdot 1,3 \cdot 1,1 = 1,144 \text{ мин.}$$

Время боевого развертывания $\tau_{бр}$ рассчитывается по формуле

$$\tau_{бр} = \sum \tau_z, \quad (4)$$

где τ_z – время этапа БР.

$$\tau_z = \sum (\tau_\phi \cdot \kappa_\phi), \quad (5)$$

где τ_ϕ – нормативное время выполнения действия; κ_ϕ – соответствующие поправочные коэффициенты.

По нормативам на $\tau_{бр}$ влияют следующие факторы, которые учитывают поправочные коэффициенты:

- k_{t1} – коэффициент, учитывающий метеорологические условия. $k_{t1} = 1,1$ (при низких температурах более -20°C);

- k_6 – коэффициент, учитывающий влияние возраста, $k_6 = 1,3$ для возраста от 36 до 40 лет;

- k_c – коэффициент, учитывающий время суток, $k_c = 1,1$ в ночное время при уличном освещении;

• k_{dp} – коэффициент, учитывающий другие условия, $k_{dp}=1,5$ при работе в средстве индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) (кроме нормативов, выполнение которых предусмотрено в СИЗОД).

Отсюда, при боевом развертывании учитываются следующие поправочные коэффициенты:

при работе в здании в СИЗОД: $k_{\phi} = k_{d1} \cdot k_a \cdot k_c \cdot k_{dp} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,5 = 2,34$.

Расчет времени $t_{\phi p}$ приведен в таблице 2.

Нормативное значение времени $t_{\phi p}$ принято на основе нормативов для боевого развертывания от АЦ без установки ее на гидрант и подачей одного ствола «ОРТ-50» на решающем направлении. К расчету принимаем наибольшее время выполнения действий расчетом из трех исполнителей по прокладке двух рукавов диаметром 51 мм. Действия второго расчета из трех исполнителей по прокладке двух рукавов принимаем как выполняемое одновременно с первым расчетом.

Таблица 2. Расчет времени от момента прибытия на пожар до момента подачи огнетушащего средства

Вид действий	k_{ϕ}	τ_{ϕ} , с	$\tau_{э}$, с	$\tau_{э}$, мин
1. Получение задания на боевое развертывание	-	-	60,0	1,00
2. Боевая проверка СИЗОДиЗ и экстренное включение в СИЗОДиЗ	-	-	90,0	1,50
3. Прокладка рукавной линии на три рукава диаметром 51 мм расчетом из трех исполнителей при работе в СИЗОД с пуском воды	2,34	25,0	58,5	0,975
Итого, $\tau_{\phi p}$	-	-	-	3,475

$$T_1 = 0 + 2 + 1,144 + 3,475 = 6,619 \text{ мин.}$$

$$l_1 = 1,14 \text{ км} \leq \frac{\vartheta_{сл}}{60} (T_2 - T_1) = \frac{40}{60} (9,97 - 6,619) = 2,21 \text{ км.}$$

Условие соблюдается, следовательно, цель № 1 выполняется.

Расчет выполнения цели № 2

Цель № 2 выполняется, если выполняется условие:

$$l_2 \leq \begin{cases} \frac{\vartheta_{сл}}{60} \left[\sqrt{T_3} \left(\tau_{но} + \frac{T_3}{4} - T_0 \right) - \left(T_1 + \frac{T_3}{2} \right) \right], & \text{если } S_{пoж} / S_{пол} < 1, \\ \frac{\vartheta_{сл}}{60} [\tau_{но} - (T_1 + T_m)], & \text{если } S_{пoж} / S_{пол} \geq 1, \end{cases}.$$

Площадь камеры хранения взрывчатых материалов составляет $S_{пол}=8,5 \text{ м}^2$.

$$S_{нож} = \pi \left[g_{л} \left(T_1 + \frac{60x l_1}{g_{сл}} \right) \right]^2 = 3,14 \left[0,8(6,619 + \frac{60x 1,14}{40}) \right]^2 = 139,41 м^2.$$

$$S_{нож} / S_{пол} = 139,41 / 8,5 = 16,40 > 1,$$

тогда выполнение цели № 2 проверяется неравенством:

$$l_2 \leq \left\{ \frac{g_{сл}}{60} \left[\tau_{но} - (T_1 + T_m) \right] \right\} = \frac{40}{60} \left[45 - (6,619 + 5,14) \right] = 21,94 км$$

$\tau_{но} = 45$ мин (согласно таблицы 21 Федерального закона № 123-ФЗ [3] для здания II степени огнестойкости);

$$T_T = \frac{5 + 0,5 S_{ном}}{60x J_{тр}} = \frac{5 + 0,5x 8,5}{60 \times 0,03} = 5,14 мин.$$

$$l_2 = 21,94 км > 1,14 км.$$

Условие соблюдается, следовательно, цель № 2 выполняется.

Под руководством главного инженера рудника на каждое полугодие должен составляться план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах.

План мероприятий в целом предусматривает:

- возможные сценарии возникновения и развития аварий на объекте;
- достаточное количество сил и средств, используемых для локализации и ликвидации последствий аварий на объекте, соответствие имеющихся на объекте сил и средств задачам ликвидации последствий аварий, а также необходимость привлечения профессиональных аварийно-спасательных формирований;
- организацию взаимодействия сил и средств;
- состав и дислокацию сил и средств;
- порядок обеспечения постоянной готовности сил и средств к локализации и ликвидации последствий аварий на объекте с указанием организаций, которые несут ответственность за поддержание этих сил и средств в установленной степени готовности;
- организацию управления, связи и оповещения при аварии на объекте;
- систему взаимного обмена информацией между организациями – участниками локализации и ликвидации последствий аварий на объекте;
- первоочередные действия при получении сигнала об аварии на объекте;
- действия производственного персонала и аварийно-спасательных служб (формирований) по локализации и ликвидации аварийных ситуаций;
- мероприятия, направленные на обеспечение безопасности населения;
- организацию материально-технического, инженерного и финансового обеспечения операций по локализации и ликвидации аварий на объекте.

В случае возникновения пожара на проектируемых объектах в плане мероприятий предусматривается следующее:

- мероприятия по выводу людей из рудника;
- мероприятия по ликвидации пожара;
- действия должностных лиц (специалистов) и рабочих;

- В плане мероприятий предусмотрено применение необходимых режимов проветривания и специальных мероприятий, исключающих попадание задымленного воздуха в свежую струю, направляемую к путям вывода людей.

Все рабочие рудника должны быть ознакомлены со способами оповещения о пожарах, путями выхода людей из пожароопасных и угрожаемых участков, а также со своими обязанностями и правилами личного поведения на случай возникновения пожара.

Ежегодно составляется и утверждается план-график осмотров, проверок и технического обслуживания средств противопожарной защиты рудника.

К организационно-техническим мероприятиям также относятся:

- ознакомление работников со способами оповещения об авариях (аварийной сигнализацией), путями выхода людей из аварийного и угрожаемых участков, а также со своими обязанностями и правилами личного поведения на случай возникновения аварии под расписку в «Журнале регистрации ознакомления рабочих с запасными выходами»;
- ознакомление вновь поступающих на рудник подземных рабочих с главным и запасными выходами на поверхность путем непосредственного прохода по выработкам в сопровождении лиц надзора; повторные ознакомления производятся каждые 6 месяцев;
- учет всех лиц, спустившихся в рудник и выехавших (вышедших) на поверхность.

Заключение

Таким образом, приведённые в статье расчёты, показывают, что несмотря на стандартные подходы к расчётам по обеспечению безопасности на опасных производственных объектах, каждый из них является строго индивидуальным. Следовательно, более строго необходимо учитывать специфику каждого опасного производственного объекта и производить расчёты с учётом конкретных параметров. Кроме этого, при составлении Планов действий необходимо опираться не только на расчётное время эвакуации, но и время, показанное сотрудниками на тренировках.

Список литературы

1. Российская Федерация. Свод правил. Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения: СП 11.13130.2009. (утв. Приказом МЧС РФ от 25.03.2009 № 181) / Российская Федерация. Свод правил. – Доступ из СПС КонсультантПлюс (дата обращения: 25.01.2023). - Текст: электронный.
2. Российская Федерация. Приказы. Об утверждении порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны: Приказ МЧС РФ от 31 марта 2011 г. № 156013 / Российская Федерация. Приказы. – Доступ из СПС Гарант (дата обращения: 25.01.2023). - Текст: электронный.
3. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ / Российская Федерация. Законы. – Доступ из СПС Гарант (дата обращения: 25.01.2023). - Текст: электронный.
4. T. Yu. Gumerov, L. N. Gorina, L. Z. Gabdukaeva. Assessment of risk associated with drinking water with respect to indicators of olfactory and reflex effect // "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)", vol. 687. – 2019. – P.27-33. (Издательство IOP Publishing Ltd.) DOI:10.1088/1757-899X/687/6/066027

SIMULATION OF AN EMERGENCY SITUATION AT A MINING FACILITY

E.V. Muraveva, V.D. Dorofeeva

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, st. K. Marx, Kazan, 420111, Russian Federation

Abstract. The article calculates the required number of fire equipment, personnel of fire departments for the localization of fire foci in the warehouse of explosive materials of the underground complex of the Talitsky mining and processing complex. In the process of work, measures and technical solutions aimed at preventing the occurrence and spread of fire have been developed and proposed. The proposed technical solutions can be used at the enterprise of JSC Verkhnekamsk Potash Company.

Keywords: mining and processing complex, hazardous production facility, fire elimination, evacuation of personnel, fire rescue equipment, near-barreled yard.

Статья представлена 12 декабря 2022г.