

ВЛИЯНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК НА ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Панков В.Ю.

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, Якутск

Ключевые слова: горная выработка, тепловой режим, дизельная техника, вентиляция, источник тепла, тепловой баланс, степень разногласия.

Аннотация. Целью работы было сравнение способов оценки влияния дизельной техники на тепловой режим горных выработок и получение новой расчетной формулы для определения приращения температуры от абсолютных источников тепла. Проведен краткий анализ работ по определению приращения температуры в выработках через коэффициент полезного действия дизельного двигателя. Получена новая зависимость для расчета абсолютного источника тепла на основе уравнения теплового баланса, учитывающего зависимость расхода воздуха в выработке от мощности и КПД используемой дизельной техники. Предложен новый параметр (коэффициент теплового усвоения), учитывающий степень теплового взаимодействия дизельных машин с рудничным воздухом. Проведено сравнение новой расчетной формулы с ранее использовавшейся для расчета приращения температуры воздуха в выработках при работе машин и механизмов с дизельным приводом. Показано, что ранее использовавшаяся расчетная формула является частным случаем новой зависимости, и не в полной мере отражает механизм теплового взаимодействия дизельной техники. Степень разногласия результатов расчета может достигать 100% и более в зависимости от КПД дизельного двигателя. Определена область изменения исходных данных, в которой степень разногласия расчетов по формулам не превышает величин (плюс-минус 10%), допустимых в инженерной практике.

INFLUENCE OF DIESEL INSTALLATIONS ON THE THERMAL REGIME OF MINE WORKINGS

Pankov V.Yu.

Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk

Keywords: mine working, thermal regime, diesel equipment, ventilation, heat source, heat balance, degree of discrepancy.

Abstract. The purpose of the work was to compare the methods for assessing the influence of diesel equipment on the thermal regime of mine workings and to obtain a new calculation formula for determining the temperature increment from absolute heat sources. A brief analysis of the work on determining the temperature increment in the workings through the efficiency of a diesel engine is carried out taking into account the dependence of air consumption in the generation on the power and efficiency of the diesel equipment used. A new parameter (coefficient of thermal assimilation) is proposed, which takes into account the degree of thermal interaction of diesel machines with mine air. A comparison of the new calculation formula with the one previously used to calculate the increment of air temperature in the workings during the operation of machines and mechanisms with a diesel drive is carried out. It is shown that the previously used calculation formula is a special case of a new dependence, and does not fully reflect the mechanism of thermal interaction of diesel equipment. The degree of discrepancy in the calculation results can reach 100% or more depending on the efficiency of the diesel engine. The area of change in the initial data is determined, in which the degree of discrepancy in the calculations according to the formulas does not exceed the values (plus or minus 10%) permissible in engineering practice.

Введение. При работе дизельных установок, например машин и механизмов с дизельным приводом, температура вентиляционного воздуха в горных выработках будет изменяться не только за счет теплообмена с горными породами, но и за счет тепловыделений от дизельных установок. Это приращение обычно рассматривается как приращение за счет действия абсолютных источников тепловыделения [1]. То есть считается, что влагосодержание воздуха в сооружении за счет работы дизельных установок не изменяется. По определению классика горной теплофизики А.Ф. Воропаева [2] абсолютные источники тепла это «*источники тепла, которые отдают тепло и нагревают воздух на одинаковую величину при одних и тех же количествах развивающегося тепла независимо от собственно*

температуры воздуха». Обычно, для приращения температуры от дизельных установок, используются два основных способа учета образования дополнительного количества тепла: а) через КПД дизельных установок, например [3]; б) напрямую, через теплоту сгорания дизельного топлива, например [4]. Поскольку первый способ косвенно учитывает и теплоту сгорания дизельного топлива, можно считать его вполне приемлемым для инженерных расчетов. В литературе имеется разноречивые сведения о влиянии дизельных установок на тепловой режим горных выработок. Например, в статье [5] приведены результаты, согласно которым приращение температуры от работы дизельных установок могут превышать 20 градусов. Причем, чем больше суммарная мощность дизельных установок, тем больше нагревается воздух. Авторы, делая ссылку на свои расчеты и известную работу [6], утверждают, что: «Из полученных результатов следует, что локально в горных выработках работа машин с ДВС может приводить к значительному увеличению температуры воздуха и способствовать формированию некомфортных условий труда». В работах [7, 8] также утверждается, что с увеличением количества работающих в выработке дизельных машин температура в забое увеличивается пропорционально их мощности. То есть, по мнению авторов, между степенью увеличения мощности работающих установок (дизельных погрузочно-доставочных машин) и степенью увеличения температуры воздуха в призабойном пространстве существует прямая количественная зависимость. В работах [9, 10], наоборот, доказывается, что приращение от работы дизельной техники в рудниках криолитозоны величина приблизительно постоянная и от количества одновременно работающей техники не зависит. То есть, единого мнения среди специалистов, занимающихся прогнозом и регулированием теплового режим подземных сооружений, в этом вопросе нет. В то же время никто не отрицает факт, что собственно тепловыделения от абсолютных источников играют важную роль в формировании теплового режим рудников криолитозоны и оказывают существенное влияние, например, на устойчивость горных пород, которая зависит от температуры воздуха в выработках. В частности, в работе [1] показано что «...при переходе от отрицательного теплового режима в выработке к положительному неправильный учет действия абсолютных источников тепла может привести к изменению глубины оттаивания дисперсных пород почти на 30% (в 1,26 раза) Это может оказать существенное влияние на выбор параметров крепления горных выработок, пройденных в дисперсных мерзлых породах, который напрямую зависит от температурного режима горных пород». **Целью** настоящей работы было получение новой расчетной формулы для оценки влияния работы дизельных машин и механизмов на тепловой режим горных выработок.

Метод. Приращение температуры за счет работы дизельной установки (при рассмотрении ее как точечного абсолютного источника тепла) может быть записано в виде

$$\Delta T = P(T) \cdot N / (G C \rho); \quad (1)$$

$$P(T) = k(T) \cdot (1 - \eta) / \eta; \quad (2)$$

где $P(T)$ – долевой коэффициент тепловой мощности двигателя, д.е.; $k(T)$ – коэффициента усвоения теплопотерь двигателя, д.е.; η – КПД двигателя, д.е.; N – мощность двигателя, кВт; G – расход воздуха, м³/с; C – теплоемкость воздуха, Дж/кгК; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Введенный нами коэффициент тепловой мощности двигателя по своей физической сущности характеризует количество энергии (тепла) от сгорания топлива в дизельной установке, которое пошло непосредственно на нагрев воздуха по отношению к его установочной мощности. То есть, учитывает не все теплопотери, а только часть их. Причем, как часть от мощности двигателя. Таким образом, этот коэффициент, поскольку он зависит от КПД двигателя и второго коэффициента $k(T)$, названного нами коэффициентом теплообмена (усвоения теплопотерь) двигателя, характеризующего часть тепловых потерь, которые передаются в окружающую среду через систему охлаждения двигателя, выхлопными газами, конвективной и радиационной составляющими теплообмена установки с вентиляционным воздухом, может быть как меньше, так и больше единицы. Коэффициент $k(T)$, показывающий, какая доля энергии от сгорания топлива пошла непосредственно на

нагревание воздуха в выработке, определяется экспериментальным путем. Очевидно, что точно рассчитать часть энергии сгорания топлива, которая превращается в тепло, отдаваемое двигателем в окружающую среду затруднительно. Особенно учитывая неравномерное потребление энергии (расход топлива) во времени при выполнении различных технологических операций. Поэтому наиболее приемлемым в таких случаях является использование не детерминированных значений исходных данных, а вероятного диапазона их изменения в рассматриваемом процессе. Этот подход и был применен нами в дальнейших расчетах. В частности, термодинамический КПД изменялся в диапазоне от 0,4 до 0,7. В среднем же, все литературные источники, дают цифру тепловых потерь дизельных машин и механизмов, близкую 50% от общей энергии сгорания топлива. Список литературных источников по данной тематике достаточно обширен, как и конкретные данные по величине η , и может быть легко представлен любым вариантом искусственного интеллекта по запросу пользователя. Анализируя литературные данные, в оценочных расчетах можно принять диапазон изменения данного параметра от 0,3 до 0,6.

Коэффициент $P(T)$ получен из следующих соображений. Простое уравнение теплового баланса дает следующее соотношение

$$Q_t = (Q_0 - N) \cdot k(T) = (N / \eta - N) \cdot k(T) = k(T) \frac{1 - \eta}{\eta} N = P(T) \cdot N, \quad (3)$$

где Q_t – количество энергии (тепла), идущее на непроизводительные потери, кВт; Q_0 – количество энергии (тепла), полученное от сгорания топлива, кВт.

Из выражения (3) следует числитель в уравнении (1). Знаменатель в уравнении (1) может быть преобразован с учетом того, что дизельную установку нельзя рассматривать отдельно от взаимосвязи с расходом воздуха, из-за вредных газов, образующихся при ее работе и выбрасываемых в атмосферу. Согласно правилам безопасности поступление свежего воздуха на объект с работающей дизельной установкой по разжижению вредных выбросов до нормативных ПДК, определяется как величина массового расхода на единицу мощности дизельной установки G (м³/с):

$$G = \beta N, \quad (4)$$

где β (м³/(с·Вт)) – нормативная величина расхода воздуха на 1 Вт, (на 1 л.с.) мощности дизельной техники (обычно, 5,0 или 3,5 м³/мин на 1 л.с., что соответствует 0,1133 и 0,0861 м³/с на кВт в зависимости от наличия фильтра-поглотителя вредных газов в дизельной установке и используемого вида топлива).

С учетом (4) уравнение (1) преобразуется к виду

$$\Delta T = P(T) / (C\beta\rho) = k(T) \frac{1 - \eta}{\eta} / (C\beta\rho). \quad (5)$$

Результаты и обсуждение. Сравнивая выражение (5) с выражением, полученным в работе [3] (которые отличаются только числителем), можно сказать, что уравнение (5), является более общим и корректным, поскольку выражение, используемое в работе [3], может быть получено как частный случай уравнения (5) при выполнении равенства коэффициента усвоения теплотерм двигателя его коэффициенту полезного действия, т.е. $k(T) = \eta$. Для наглядности на рисунке 1 приведен график изменения параметра $P(T)$ в зависимости от КПД двигателя при различных значениях параметра $k(T)$.

Розовым цветом на рисунке выделена наиболее вероятная область изменения значений КПД двигателей и коэффициента усвоения теплотерм дизельной техники. Как видно из графиков, влияние КПД двигателя и коэффициента усвоения теплотерм (теплообмена) двигателя на величину параметра $P(T)$, определяющего степень приращения температуры в сооружении при работе дизельных установок, является значительным во всем диапазоне изменения исходных данных. Поэтому наиболее корректным в расчетах использовать не формулу, приведенную в работе [3], а зависимость, представленную уравнением (5). Степень разногласия результатов расчетов между двумя формулами, может быть оценена по формуле

$$e = (1 - k(T) / \eta) \cdot 100\%. \quad (6)$$

На рисунке 2 представлены результаты процентной степени разногласия расчетов по новой формуле и ранее предложенной формуле, приведенной в работе [3].

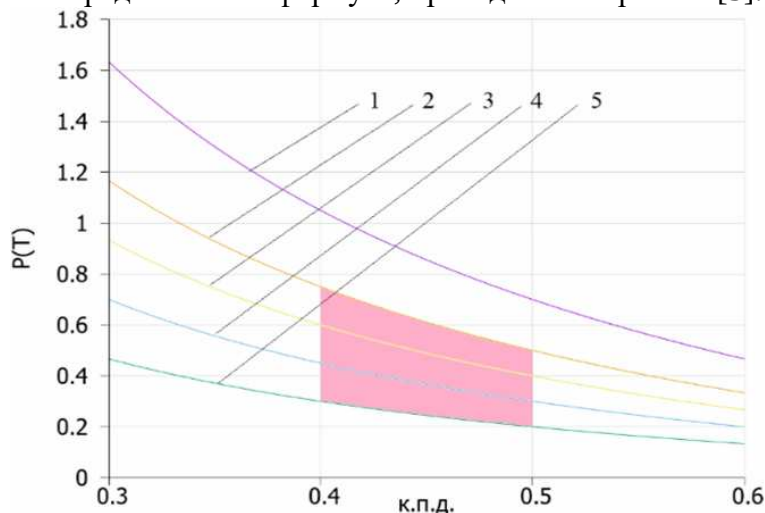


Рис. 1. Изменение коэффициента тепловой мощности двигателя $P(T)$ в зависимости от КПД (η) при различных значениях коэффициента усвоения теплотер $k(T)$: 1 – 0,7; 2 – 0,5; 3 – 0,4; 4 – 0,3; 5 – 0,2

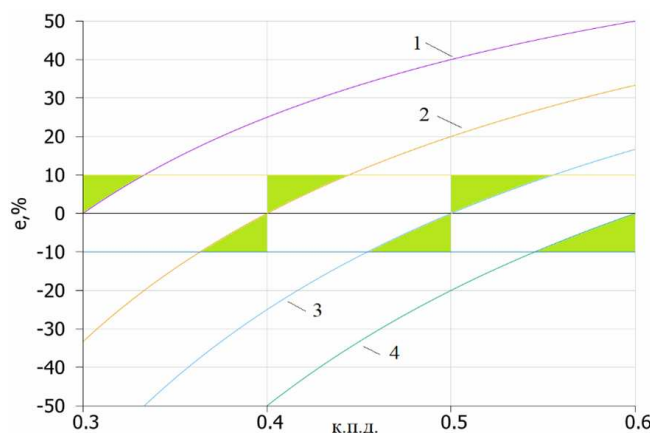


Рис. 2. Степень разногласия результатов расчетов приращения температуры от дизеля в зависимости от КПД (η) при различных значениях коэффициента усвоения теплотер $k(T)$: 1 – 0,3; 2 – 0,4; 3 – 0,5; 4 – 0,6

Зеленым цветом на рисунке выделена область, в которой разногласие результатов расчета не превышает допустимой в инженерной практике расчетов. Как видно из графиков на рисунке, эта область достаточна мала. И для повышения надежности результатов прогноза теплового режима в горных выработках целесообразно использовать новую расчетную формулу.

Закключение. Выполнена краткая оценка влияния работы дизельных установок на тепловой режим подземных горных выработок. Получена новая формула для расчета приращения температуры в выработках при работе дизельной техники, которая наиболее полно учитывает тепловой баланс дизельных двигателей применительно к подземным условиям. Установлено, что рассматривать дизельные установки как абсолютные источники тепла можно лишь в совокупности с пропорциональным изменением расхода воздуха в зависимости от мощности источника, как предусмотрено правилами безопасности ведения горных работ. Предложен новый параметр (коэффициент теплового усвоения), учитывающий степень теплового взаимодействия дизельных машин с рудничным воздухом. Проведено сравнение новой расчетной формулы с ранее использовавшейся для расчета приращения температуры воздуха в выработках при работе машин и механизмов с дизельным приводом. Показано, что ранее использовавшаяся расчетная формула является частным случаем новой зависимости, и не в полной мере отражает механизм теплового взаимодействия дизельной техники. Степень разногласия результатов расчета может достигать 100% и более в зависимости от КПД дизельного двигателя. Определена область изменения исходных данных,

в которой степень разногласия расчетов по формулам не превышает величин, допустимых в инженерной практике.

Благодарность. Автор выражает благодарность профессору А.Ф. Галкину за идею, консультации по теме и методическую помощь при подготовке статьи.

Список литературы

1. Галкин А.Ф., Панков В.Ю. Влияние способа учета абсолютных источников тепла на точность прогноза температуры в подземных сооружениях криолитозоны // Горные науки и технологии. – 2023. – Т. 8, №3. – С. 207-214. doi.org/10.17073/2500-0632-2023-04-105.
2. Воропаев А.Ф. Теория теплообмена рудничного воздуха и горных пород в глубоких шахтах. – М.: Недра; 1968. – 249 с.
3. Галкин А.Ф., Панков В.Ю., Фёдоров Я.В. Изменение температуры в камерах подземных сооружений при работе дизельных установок // Вопросы безопасности. – 2022. – №4. – С. 27-33. – DOI: 10.25136/2409-7543.2022.4.38938.
4. Смирнов Ю.М., Гендлер С.Г., Костылев П.П., Кулинич С.С. Исследование тепловыделений при работе дизельного оборудования // Физические процессы горного производства. Межвузовский сборник. – Л.: ЛГИ, 1976. – Вып. 3. – С. 77-80.
5. Казаков Б.П., Зайцев А.В. Исследование процессов формирования теплового режима глубоких рудников // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – №10. – С. 91-97.
6. Lambrechts J. de V. The Estimation of Ventilation Air Temperatures in Deep Mines // Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa. 1950, vol. 50, no. 8, pp. 184-198.
7. Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е., Тишков М.В., Прогноз теплового режима проектируемой россыпной шахты «Солур» // Наука и образование. – 2014. – №4. – С. 32-37.
8. Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е. Особенности формирования теплового режима россыпных шахт криолитозоны при ведении добычных работ с применением самоходной техники // Горный журнал. – 2015. – №4. – С. 29-32. – doi.org/10.17580/gzh.2015.04.06.
9. Galkin A.F., Pankov V.Yu. Formation of thermal regime in a permafrost area mine // XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2022, vol. 247, pp. 205-213. doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_21.
10. Галкин А.Ф., Дормидонтов А.В., Курта И.В., Короткова К.Б. Влияние дизельных машин на температурный режим горных выработок // Естественные и технические науки. – 2018. – №5(119). – С. 84-86.

References

1. Galkin A.F., Pankov V.Yu. Absolute heat sources as a method to check the accuracy of temperature prediction in underground structures within cryolithozone // Mining Science and Technology (Russia). 2023, vol. 8, no. 3, pp. 207-214. doi.org/10.17073/2500-0632-2023-04-105.
2. Voropaev A.F. Theory of heat transfer of mine air and rock rocks in deep mines. – M.: Nedra, 1968. – 249 p.
3. Galkin A.F., Pankov V.Yu., Fedorov Ya.V. Change of temperature in chambers of underground structures during the operation of diesel installations. 2022, no. 4, pp. 27-33. DOI: 10.25136/2409-7543.2022.4.38938.
4. Smirnov Yu.M., Gendler S.G., Kostylev P.P., Kulinich S.S. Study of heat dissipation during the operation of diesel equipment // Physical processes of mining. Interuniversity Collection. – L: LMI, 1976. – Iss. 3. – P. 77-80.
5. Kazakov B.P., Zaitsev A.V. Study of the Processes of Formation of the Thermal Regime of Deep Mines // Bulletin of PNRPU. Geology. Oil and Gas and Mining. 2014, no. 10, pp. 91-97.
6. Lambrechts J. de V. The Estimation of Ventilation Air Temperatures in Deep Mines // Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa. 1950, vol. 50, no. 8, pp. 184-198.
7. Kurilko A.S., Khokholov Yu.A., Soloviev D.E., Tishkov M.V., Forecast of the thermal regime of the projected placer mine "Solur" // Science and education. 2014, no. 4, pp. 32-37.
8. Kurilko A.S., Khokholov Yu.A., Soloviev D.E. Features of the formation of the thermal regime of placer mines in the cryolithozone during mining operations with the use of self-propelled equipment// Mining Journal. 2015, no. 4, pp. 29-32. doi.org/10.17580/gzh.2015.04.06.
9. Galkin A.F., Pankov V.Yu. Formation of thermal regime in a permafrost area mine // XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021". Lecture Notes in Networks and Systems. Springer, Cham, 2022, vol. 247, pp. 205-213. doi.org/10.1007/978-3-030-80946-1_21.
10. Galkin A.F., Dormidontov A.V., Kurta I.V., Korotkova K.B. Influence of diesel machines on the temperature regime of mining workings // Natural and technical sciences. 2018, no. 5(119), pp. 84-86.

Сведения об авторах:

Панков Владимир Юрьевич – кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и аэродромы»
pankov1956@inbox.ru

Information about authors:

Pankov Vladimir Yurievich – candidate of geological and mineral sciences, associate professor of the Department of construction of roads and airfields

Получена 10.06.2026