

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.009

УДК 622.822

© В.В. Дырдин, С.А. Шепелева, 2019

В.В. ДЫРДИН

д-р техн. наук, профессор
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: vvd1941@mail.ru

**С.А. ШЕПЕЛЕВА**

канд. техн. наук
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: shepelevasa@kuzstu.ru



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗРУШЕННОМ УГЛЕ С ТЕЧЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

При подземной разработке угольных пластов и хранении угля на дневной поверхности существует опасность самовозгорания угля вследствие самонагревания. Характер образования очага самовоспламенения определяется свойствами угля, в частности, коэффициентом температуропроводности угля. Коэффициент температуропроводности угля зависит от его физико-химических свойств: плотности угольного вещества, степени метаморфизма, удельной теплоемкости и т. д. В статье представлено решение, позволяющее определить распределение температуры со временем в разрушенном угле в зависимости от расстояния до очага самонагревания и скорости изменения температуры в очаге.

Ключевые слова: САМОНАГРЕВАНИЕ УГЛЯ, САМОВОЗГОРАНИЕ УГЛЯ, ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТЬ КАМЕННОГО УГЛЯ, ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УГЛЯ.

Добыча угля подземным способом сопровождается потерями, которые при определённых условиях могут составлять 30 % и более. Естественно, разрыхленный уголь попадает в выработанное пространство, куда поступает часть свежего воздуха из лавы вследствие утечек, поэтому и нередко случаи самовозгорания угля в выработанном пространстве. В работе [1] рассматривается случай самовозгорания угля в разрушенном целике, находящемся в выработанном пространстве. В этой связи представляет научный и практический интерес вопрос установления начала процес-

са самовозгорания по температуре и определения расстояния от источника, на котором это возможно произвести.

Этот вопрос также важен и при хранении добытого угля на дневной поверхности шахты или ГРЭС. Хранение угля в штабелях должно осуществляться на открытых складских площадках, с ровным твердым покрытием, в сухом незатопляемом месте. Параметры угольных штабелей, в частности, высота, определяются склонностью угля к самовозгоранию и выветриванию, а также длительностью хранения. Например, для марок ПС,

ПЖ, К, Г максимально возможная высота штабелей не должна превышать 10 м. При закладке штабеля нельзя допускать образования пустот в угле, в которых может создаваться застой воздуха, а также скопления мелочи, опасных в отношении самосогревания штабеля. Для контроля температуры хранимого угля ее измеряют каждые 10–15 дней. При достижении значения температуры угля 45°C и выше уголь подвергают охлаждению.

Нормальной температурой угля в штабеле считается температура в диапазоне от 30 до 60°C. При укладке в штабеля измерение температуры должно производиться каждые пять дней. Если температура в каждую пятидневку начинает повышаться на 5°C или приближаться к критической (60°C), ее измерение должно производиться ежедневно. Угли, склонные к самонагреванию, способны достичь температуры самовоспламенения (400 °C) за 30 дней. Исходя из этого, были выбраны значения скорости самонагревания угля:

$$k_1 = 0,024 \text{ К/сут}; k_2 = 1 \text{ К/сут}; \\ k_3 = 34,56 \text{ К/сут}.$$

Для нахождения функции распределения температуры в разрушенном угле запишем уравнение теплопроводности для одномерного случая

$$a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\partial T}{\partial t} = 0$$

с начальным условием

$$T|_{\tau=0} = T_0.$$

Пусть в точке $x = 0$ в начальный момент времени начинает выделяться теплота вследствие процессов окисления угля, а изменение температуры происходит по закону

$$T|_{x=0} = kt.$$

Из физической постановки задачи следует, что на достаточно большом удалении от источника тепловой поток, который численно равен выделяемой энергии в единицу времени, будет пренебрежимо мал [2]. Решая данное уравнение с учетом начальных условий, получаем функцию

$$T = T_0 + \frac{\lambda k \sqrt{t}}{2\sqrt{\pi a}} e^{-\frac{x^2}{4at}},$$

где a – коэффициент температуропроводности каменного угля, который рассчитывается по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c_p \rho},$$

где λ – удельная теплопроводность массива, Вт/м·К; c_p – удельная теплоёмкость при постоянном давлении Дж/кг·К; ρ – плотность массива, кг/м³.

Согласно справочным данным удельная теплопроводность каменных углей составляет величину порядка $\lambda = (0,1 - 2,2)$ Вт/м·К; плотность каменного угля $\rho = (1,25 - 1,4) \cdot 10^3$ кг/м³; удельная теплоёмкость при постоянном давлении $c_p = (0,9 - 1,5) \cdot 10^3$ Дж/кг·К. Тогда максимально возможное значение коэффициента температуропроводности каменного угля может быть равно $a_{max} = 195 \cdot 10^{-8}$ м²/с, а его минимальное значение составляет $a_{min} = 4,76 \cdot 10^{-8}$ м²/с.

Нами произведён расчёт распределения температуры в массиве угля в зависимости от координаты x для различных моментов времени при различных значениях коэффициента температуропроводности: максимальном, минимальном. Расчёт произведён при следующих условиях. Начальная температура T_0 взята равной 333 К, т. е. соответствующей условиям начала развития процесса самовозгорания каменного угля. Скорость роста температуры в источнике самонагревания, согласно уравнению теплового баланса, зависит от склонности угля к самонагреванию, поступления кислорода к источнику и выноса тепла потоком воздуха. В этой связи расчёт произведён для значений коэффициента, характеризующего скорость нагревания, отличающихся примерно на два порядка. На рис. 1–6 приведены кривые распределения температуры в массиве при следующих исходных параметрах: $a_{max} = 195 \cdot 10^{-8}$ м²/с и $k_1 = 0,024$ К/сут для $t = 10, 20, 30$ сут.

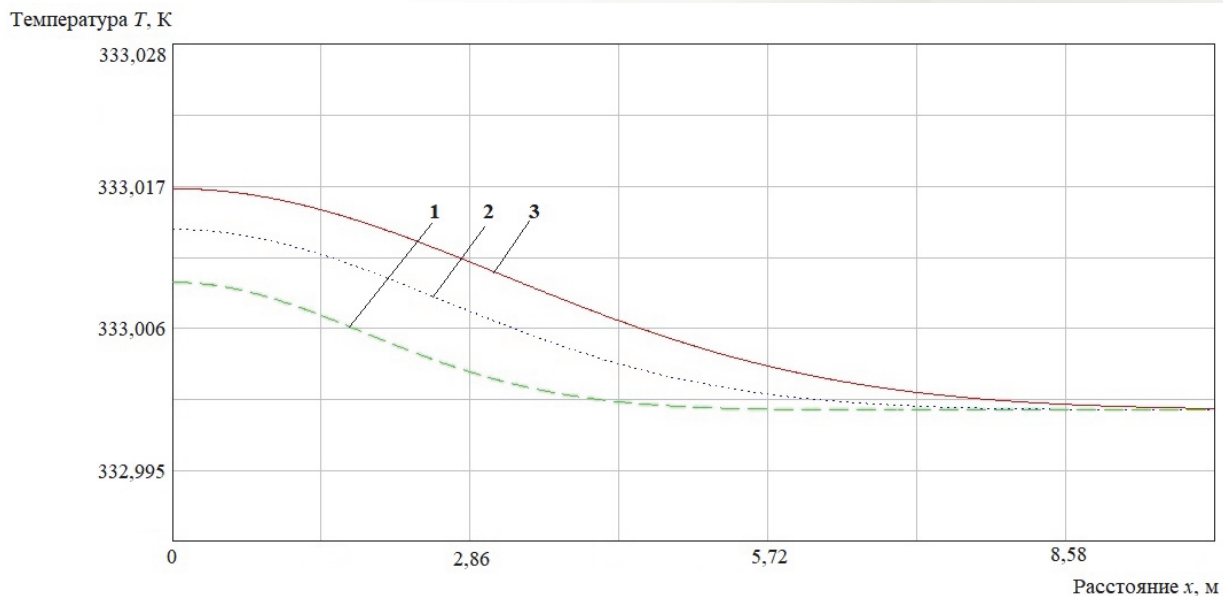


Рис. 1. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при исходных $\alpha_{max} = 195 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_1 = 0,024 \text{ К/сут}$: 1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток, 3 – $t = 30$ суток

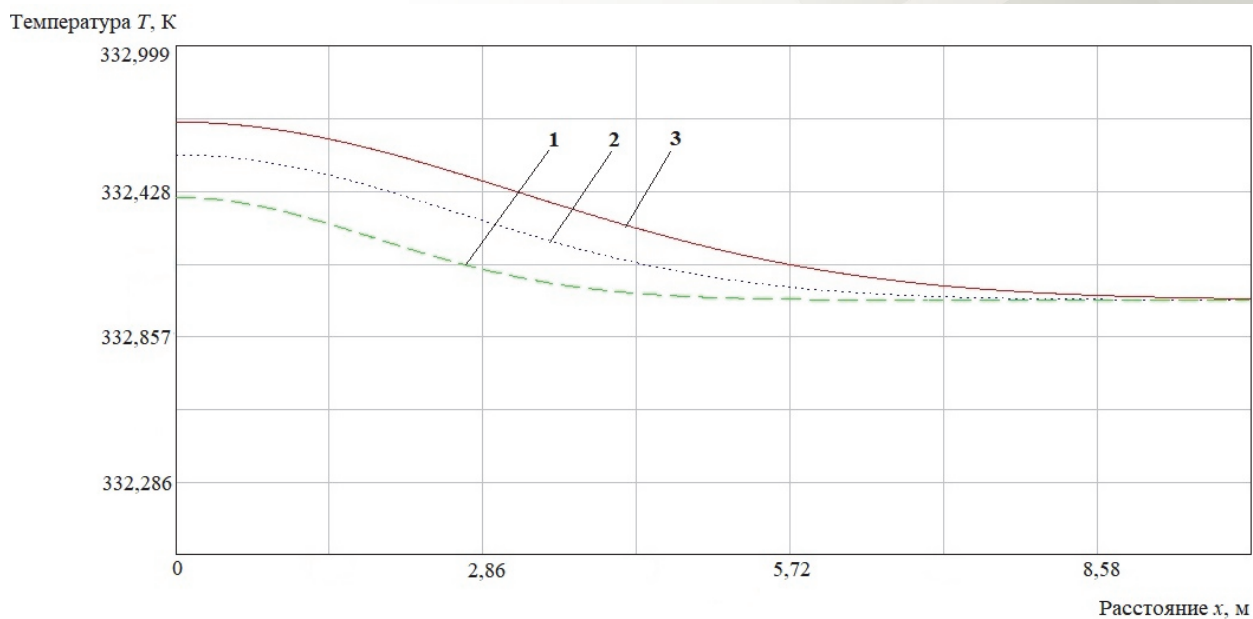


Рис. 2. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при следующих исходных параметрах: $\alpha_{max} = 195 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_2 = 1 \text{ К/сут}$: 1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток, 3 – $t = 30$ суток

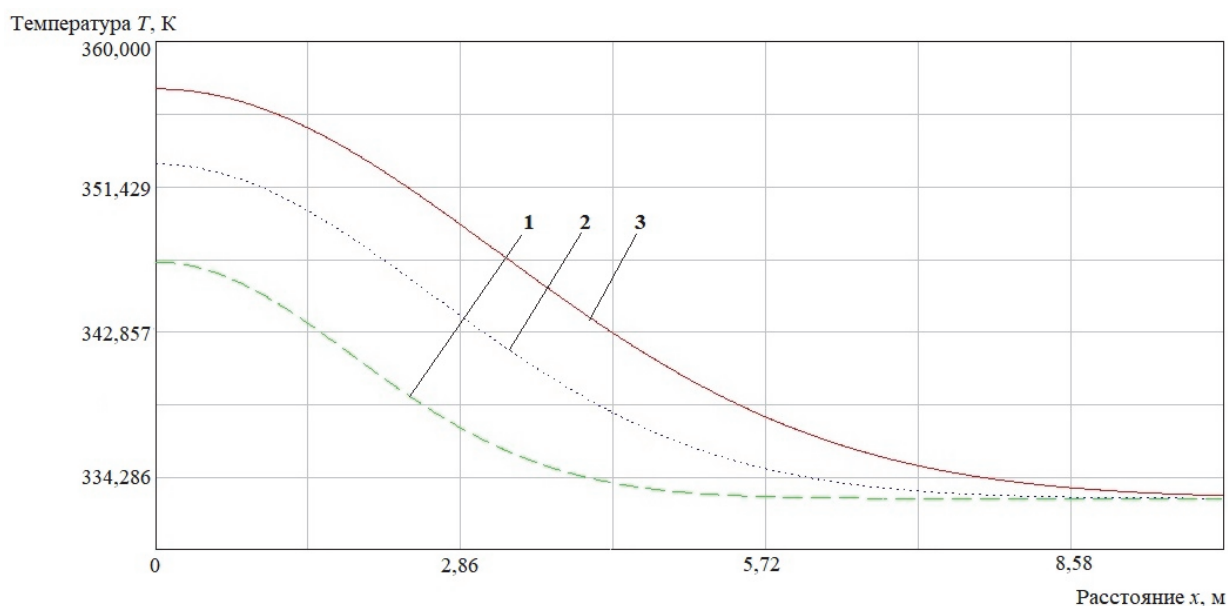


Рис. 3. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при исходных параметрах $\alpha_{max} = 195 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_3 = 34,56 \text{ К/сут}$: 1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток, 3 – $t = 30$ суток

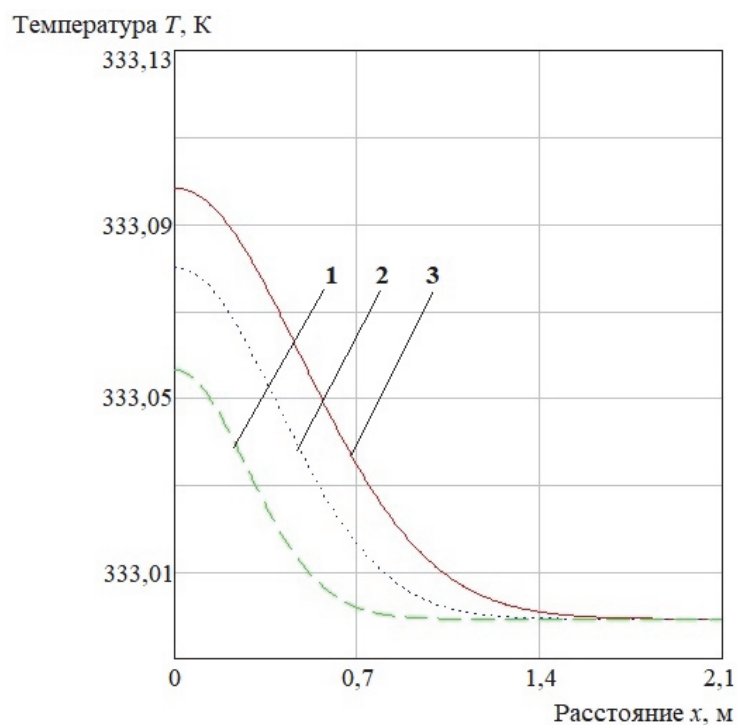


Рис. 4. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при исходных параметрах $\alpha_{max} = 4,76 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_1 = 0,024 \text{ К/сут}$: 1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток, 3 – $t = 30$ суток

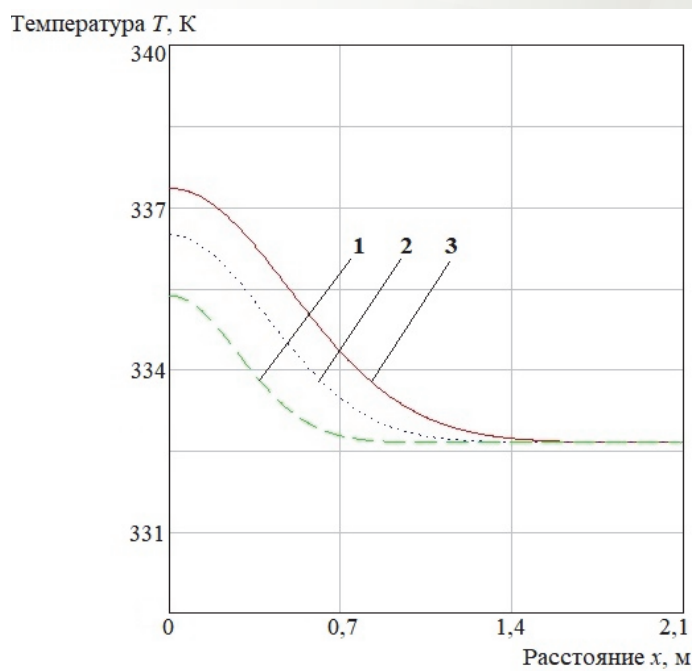


Рис. 5. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при исходных $\alpha_{\max} = 4,76 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_2 = 1 \text{ К/сут}$:
1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток, 3 – $t = 30$ суток

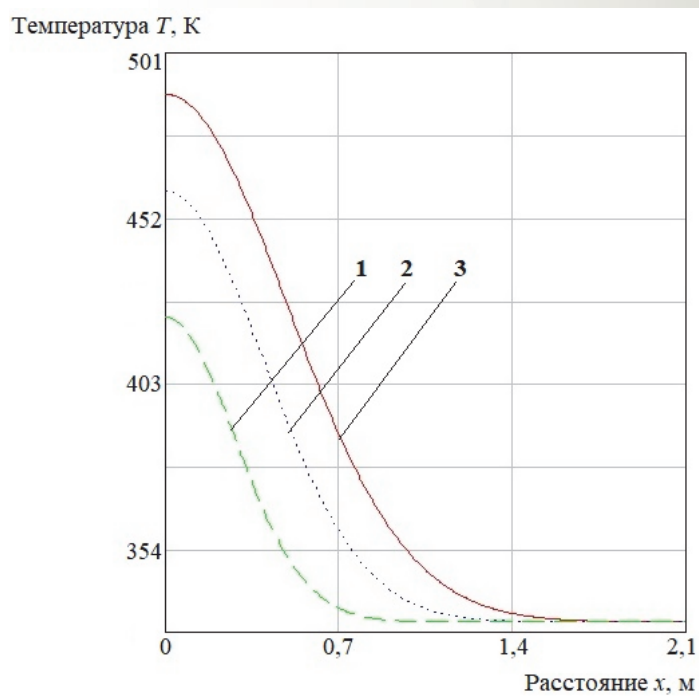


Рис. 6. Кривые распределения температуры в разрушенном угле при следующих исходных параметрах:
 $\alpha_{\max} = 4,76 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ и $k_3 = 34,56 \text{ К/сут}$: 1 – для момента времени $t = 10$ суток; 2 – $t = 20$ суток,
3 – $t = 30$ суток

Выводы

1. Как следует из полученных расчётов, скорость нарастания температуры в очаге самонагревания определяется физическими свойствами угля и его степенью уплотнения. При $\alpha_{max} = 4,76 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ будет наблюдаться локальное самовозгорание угля в очаге нагрева, а при $\alpha_{max} = 195 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$ тепло от источника будет распространяться вдоль пласта.

2. При максимальном коэффициенте температуропроводности через 10 суток тепло

распространится от источника на расстояние порядка 5 м, а через 30 суток – на расстояние чуть большее 10 м, а температура в очаге увеличится на 24 К.

3. При подземной разработке угольных пластов наиболее эффективны газоаналитические методы обнаружения очагов эндогенных пожаров и контроль их тушения. При открытом хранении угля необходимо устанавливать больше датчиков для контроля температуры угольного вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ли Хи Ун, Черданцев С.В., Попов В.Б., Шлапаков П.А., Ерастов А.Ю. Опыт применения шахтной электроразведки для обнаружения очага самонагревания угля на шахте «Ольжерасская–Новая» // ФТПРПИ. 2017. № 6. С. 183–189.
2. Смирнов В. И. Курс высшей математики. М.: Наука, 1974. Т. 2. 656 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.10.2.009

UDC 622.822

© V.V. Dirdin, S.A. Shepeleva, 2019

V.V. DIRDIN

Doctor of Engineering Sciences, Professor
KuzGTU, Kemerovo
e-mail: vvd1941@mail.ru

S.A. SHEPELEVA

Candidate of Engineering Sciences
KuzGTU, Kemerovo
e-mail: shepelevasa@kuzstu.ru

DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN DESTRUCTED COAL WITH A COURSE OF TIME

By underground mining of coal layers and storage of coal on a day surface there is a danger of self-ignition of coal owing to self-heating. The nature of formation of the center of spontaneous ignition is defined by properties of coal, in particular, coefficient of thermal diffusivity of coal. The coefficient of thermal diffusivity of coal depends on its physical and chemical properties: density of coal substance, extent of metamorphism, specific heat, etc. The decision allowing to define distribution of temperature over time in the destroyed coal depending on distance to the center of self-heating and speed of temperature change in the center is presented in article.

Keywords: COAL SELF-HEATING, COAL SELF-IGNITION, THERMAL DIFFUSIVITY OF COAL, COAL TEMPERATURE CHANGE.

REFERENCES

1. Li Hee Un, Cherdantsev S.V., Popov V.B., Shlapakov P.A., Erastov A.Yu. Experience of application of mine electroinvestigation for detection of the center of self-heating of coal in the «Olzherasskaya–Novaya» // FTPRPI. 2017. No. 6. P. 183–189. (In Russ.).
2. Smirnov V.I. Higher Mathematics Course. M.: Science, 1974. Vol. 2. 656 p. (In Russ.).