

ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

УДК 614.841.332

В.А. Уварова, В.Е. Уваров, А.И. Фомин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИМЕРОВ

В 2007 году в «НЦ ВостНИИ» был запатентован экспресс-метод оценки токсичности продуктов горения (далее - ТПГ) материалов [1]. На основе этого метода с включением разработок Новосибирского НГТУ был создан программный комплекс «Токсика-Q» на языке C++, ОС: Windows XP/Vista/7, который предназначен для расчета параметров газо- и дымообразования полимеров, оценки их пожарной и токсической опасности, моделирования процесса горения полимеров и расчета токсичных газовыделений для условий протяженной горной выработки. В состав программы входит: блок вычисления результатов измерений и блок отчета по результатам испытаний. Используемые в программном комплексе методы расчета математически обоснованы и проверены в стендовых лабораторных испытаниях при проведении процессов термодеструкции полимерных материалов. На рисунке 1 представлен интерфейс программного комплекса «Токсика-Q».

Испытания образцов полимерных материалов

проводят в лабораторных условиях. Они включают в себя термодеструкцию образца на лабораторных установках «Термодес» и «Дым», измерение начальной m_0 и конечной массы образца m_k , времени термодеструкции τ , объема V_0 газовоздушной смеси, образовавшейся в результате термодеструкции, а также концентрации газов и аэрозолей C_i и значений начальной T_0 и конечного T_{min} светопропускания. На основании этих данных вычисляют показатель gCO токсичности продуктов горения (далее - ТПГ) и коэффициент дымообразования D_m .

Математическая модель расчета концентраций токсичных газов, способных выделиться при горении шахтных полимерных материалов для условий размеров протяженной горной выработки была разработана с учетом параметров проветривания, геометрических горной выработки и количества полимерного материала на одном метре ее пространства.

Математические формулы основаны на иссле-

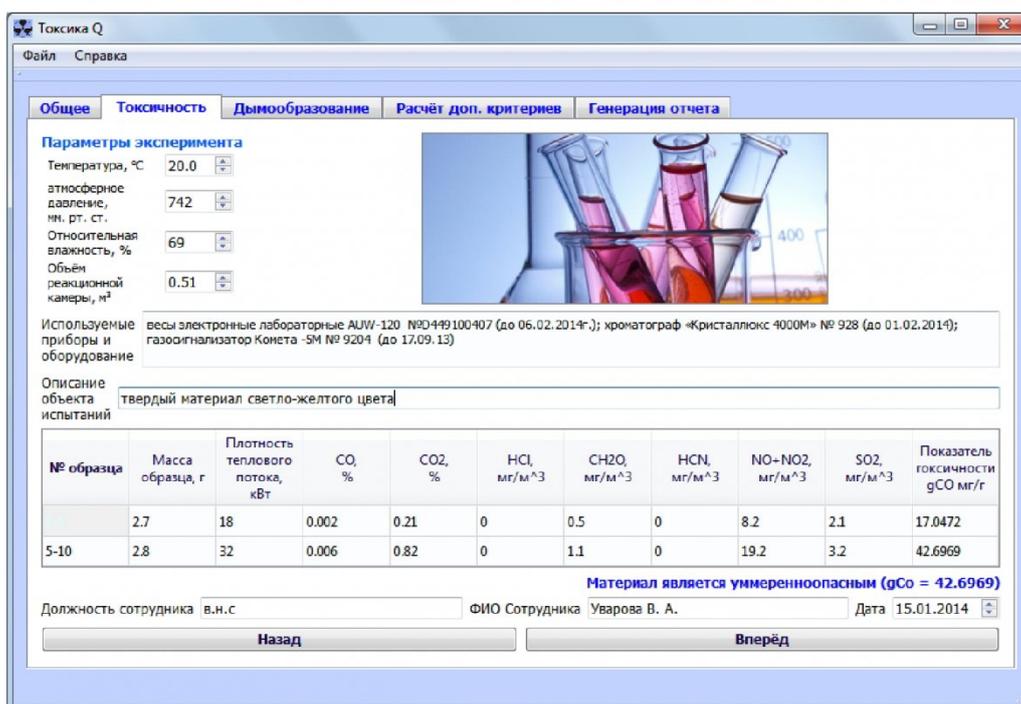


Рис. 1. Интерфейс программного комплекса «Токсика-Q»

дованиях [2] и предназначены для расчета массовых концентраций токсичных газов и твердого аэрозоля в условиях горной выработки длиной l , площадью поперечного сечения S , с количеством q полимерного материала на 1 м выработки и скорости проветривания V_v .

Разработанный программный комплекс реализует следующие расчетные параметры газовой выработки для условий протяженной горной выработки:

– среднюю скорость выгорания материала n , г/кг·с определяют по формуле:

$$n = (m_0 - m_k) / 1000 m_0 \tau, \quad (1)$$

где m_0 – исходная масса образца, г; m_k – конечная масса образца после деструкции, г; τ – время деструкции образца, с.

– расход материала на горение в условной горной выработке N , кг/с определяют по формуле:

$$N = l q n, \quad (2)$$

где l – длина участка условной горной выработки, м; q – масса материала на участке длиной 1 метр, кг/м; n – средняя скорость выгорания материала, г/кг·с.

– удельную массу i -го токсичного газа, образовавшегося при сгорании 1 кг материала, M_i , мг/г определяют по формуле:

$$M_i = C_i V_0 / m_0, \quad (3)$$

где C_i – концентрация i -го вещества, выделяющегося при горении образца материала, мг/м³; V_0 – объем газовой смеси, образовавшейся в результате испытания, м³; m_0 – исходная масса образца, г;

– среднюю по сечению выработки массовую концентрацию i -го токсичного газа, мг/м³ рассчитывают по формуле:

$$C_i = N G_i / Q_v, \quad (4)$$

где G_i – средняя по сечению выработки массовая концентрация i -го токсичного газа, мг/м³; N – расход материала на горение в условной горной выработке, кг/с; Q_v – расход воздуха в горной выработке, м³/с:

$$Q_v = S V_v, \quad (5)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, м²; V_v – скорость движения воздуха в горной выработке, м³/с.

Согласно экспресс-методу оценка токсичности продуктов горения материалов проводится путем измерения концентраций токсичных газов, выделяющихся в процессе термодеструкции образца, и определения на этой основе показателя ТПГ. Состав газовых и аэрозольных компонентов, определенный в результате термодеструкции образца, оценивают на однонаправленность действия и вычисляют удельные массы токсичных газов, имеющих эффект суммации. Эти удельные массы приводят к величине удельной массы оксида углерода (СО). Оксид углерода является компонентом, наиболее массово представленным в продуктах горения и обладающим выраженным токсическим действием. Вычисленное таким обра-

зом значение gCO принимают за показатель токсичности:

$$gCO = M_{CO} + M_1 \text{ ПДК}_{CO} / \text{ПДК}_1 + \dots + M_i \text{ ПДК}_{CO} / \text{ПДК}_i \quad (6)$$

где gCO – показатель токсичности продуктов горения, мг/г; M_{CO} , M_1, \dots, M_i – удельные массы СО и других токсичных газов, мг/г, вычисляют по формуле 1; ПДК_{CO} , $\text{ПДК}_1, \dots, \text{ПДК}_i$ – предельно допустимые концентрации СО и других вредных веществ для воздуха рабочей зоны, мг/м³ (определяются из ГН 2.2.5.1313-03, ГН 2.2.5.2100-06).

Оценка класса опасности материала по показателю ТПГ производится автоматически и реализуется в программе следующим образом. При значении показателя ТПГ gCO до 40 мг/г материалы относят к малоопасным, при значениях от 40 до 120 мг/г – умеренноопасным, при значениях от 120 до 360 мг/г – высокоопасным (ГОСТ 12.1.044-89).

Кроме показателей, характеризующих токсичность, в программном продукте осуществлена возможность вычисления коэффициента дымообразования.

Коэффициент дымообразования – показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительной деструкции (тлении) определенного количества твердого вещества (материала) в условиях специальных испытаний (ГОСТ 12.1.044-89).

Сущность метода определения коэффициента дымообразования заключается в определении оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении известного количества испытуемого вещества или материала, распределенного в заданном объеме. Коэффициент дымообразования вычисляют по формуле:

$$D_m = (V / L) \ln (T_0 / T_{min}), \quad (7)$$

где V – вместимость камеры измерения, м³; L – длина пути луча света в задымленной среде, м; T_0 , T_{min} – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %; D_m – коэффициент дымообразования, м²/кг.

В программе реализован процесс автоматической классификации материалов по группам дымообразующей способности соответственно вычисленному значению коэффициента дымообразования. Материалы с коэффициентом дымообразования до 50 м²/кг включительно относят к группе материалов с малой дымообразующей способностью; с коэффициентом дымообразования св. 50 до 500 м²/кг включительно – с умеренной дымообразующей способностью; с коэффициентом дымообразования свыше 500 м²/кг – с высокой дымообразующей способностью.

В процессе разработки программного продукта были решены следующие задачи:

- разработан интерфейс программы, позволяющий осуществлять диалог с пользователем и удобный ввод исходных данных;

- реализована оценка пожарной и токсической безопасности веществ и материалов на основе разработанной модели, которая включает:
 - оценку класса опасности материалов по показателю токсичности продуктов горения;
 - оценку степени дымообразующей способности;
 - вычисление параметров токсичных газоделений при термодеструкции полимерных материалов в условиях, смоделированных для протяженной горной выработки;
- визуализирован вывод результатов вычислений в виде таблиц и отчета о результатах испытаний;
- организован экспорт результатов расчетов в среду MS Word;
- организовано хранение результатов вычислений в базе данных;
- осуществлена возможность оперативно вносить результаты измерений в электронный

протокол выполняемой работы.

Получено свидетельство о государственной регистрации программы, она внесена в Реестр программ для ЭВМ, регистрационный № 2014616116 от 11.06.2014 г.

Программный продукт «Токсика-Q» предназначен для автоматизации расчетов, предусмотренных разработанной моделью по расчету критериев и оценке параметров пожарной и токсической опасности полимерных материалов, проходящих экспертизу на допуск для использования на горнодобывающих предприятиях. Программа позволяет легко и быстро обрабатывать большие массивы данных, хранить результаты расчетов и представлять отчеты в удобном для пользователя виде. Применение на практике программного комплекса «Токсика-Q» позволяет повысить производительность труда при научных исследованиях и в процессе испытаний полимерных материалов в 10 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ оценки токсичности продуктов горения материалов: Пат. на изобретение № RU 2300098 С1 Рос. Федерация: МПК G01N25/22 (2006.01)/ А.А. Трубицын, Н.В. Трубицына, В.А. Уварова, Т.М. Грачева; ВостНИИ -№ 2005137275, 30 ноября 2005. // Изобретения. Полезные модели: Официальный бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. - 2007, 27 мая - № 15.

2. Отчет о НИР. Оценка экологической опасности по газовому и аэрозольному факторам при термическом разложении материалов, рекомендуемых к использованию в шахтах. 16.1032.001.02 ВостНИИ, Кемерово 1996.

Авторы статьи

Уварова
Варвара Александровна
канд.техн.наук, ведущий
науч. сотр. ОАО «НЦ ВостНИИ»
E-mail: uvarova.v.a@mail.ru.

Уваров
Вадим Евгеньевич
студент 5 курса ФПМИ
Новосибирского НГТУ.
E-mail: uvarov.vadim42@gmail.com.

Фомин
Анатолий Иосифович
докт. техн. наук, проф. каф. аэрологии,
охраны труда и природы
КузГТУ. E-mail:
aotp2012@yandex.ru