

МОДЕЛИРОВАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ОГNETУШАЩЕГО ПОРОШКОВОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ БИКАРБОНАТА НАТРИЯ

Т.В. Удилов,

преподаватель кафедры
пожарно-технической экспертизы
ФГОУ ВПО ВСИ МВД России

В статье построены математические модели огнетушащего порошкового состава на основе бикарбоната натрия. Решена задача оптимизации разработанного огнетушащего порошкового состава и высокоэффективного соотношения массовых долей компонентов огнетушащего порошкового состава на основе бикарбоната натрия.

En artice Mathematical models of dry powder on the basis of sodium bicarbonate are constructed, the problem of optimization of structure of dry powder is solved and the effective structure of a dry powder on the basis of sodium bicarbonate is received.*

Огнетушащие порошковые составы (ОПС) являются одним из высокоэффективных средств пожаротушения. В отличие от других распространенных огнетушащих веществ и материалов при порошковом тушении наблюдается комплексное воздействие ОПС на процесс горения – происходит охлаждение зоны горения, разбавление реагирующих веществ, изоляция и ингибирование. В зависимости от химического состава компонентов ОПС каждый из механизмов прекращения горения проявляется в меньшей или большей степени. Таким образом, для создания высокоэффективного ОПС необходимо грамотно подбирать компоненты порошка и знать их оптимальное соотношение.

Целью данного исследования является построение модели линейно-квадратичной векторной регрессии, описывающей влияние массового содержания компонентов порошка на его огнетушащие и эксплуатационные свойства.

Анализ компонентов отечественных ОПС показал, что в качестве основного используются простые неорганические соли. Классификация химических веществ по ингибирующей способности [1], а также анализ рецептур ОПС [1-7] позволили выбрать в качестве сырья для производства огнетушащих составов бикарбонат натрия, хлорид натрия и гидросиликат

* Udilov T.V. Modeling of a multicomponent powder on the basis of sodium bicarbonate.

магния. Приготовление опытных образцов ОПС осуществлялось согласно методики, представленной в работе [8].

Таким образом, объектом исследования явились опытные образцы порошка на основе бикарбоната натрия, хлорида натрия и гидросиликата магния.

Моделирование рецептур ОПС на основе бикарбоната натрия проводилось согласно методике изложенной в литературе [8, 9] с использованием программного комплекса «ГРЕК» [8, 10]. Прямое применение разработанных аналитических методов [8] приводит к несложным, но громоздким выкладкам, поэтому все расчеты проводились в среде MATLAB [11].

Оценка влияния массовых долей компонентов порошка на его конечные свойства в серии натуральных экспериментов была описана следующими переменными:

Контролируемые (выходные) характеристики:

y_1 – массовое содержание влаги в огнетушащем порошке, %;

y_2 – склонность к влагопоглощению, %;

y_3 – текучесть порошка, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1}$;

y_4 – масса минимальной навески, требуемой для тушения пламени в экспериментальной установке (сравнительная огнетушащая способность), г;

y_5 – склонность к слеживанию, %.

Задающие (входные) воздействия:

u_1 – вариация гидросиликата магния в готовом порошке [10^{-1}];

u_2 – вариация хлорида натрия в готовом порошке [10^{-1}];

u_3 – вариация бикарбоната натрия в готовом порошке [10^{-1}].

При этом значения задающих воздействий лежат в следующих интервалах:

$$-0,5 \leq u_1 \leq 0,5$$

$$-1 \leq u_2 \leq 1$$

$$-1,5 \leq u_3 \leq 1,5$$

Выбор задающих воздействий осуществлялся по результатам предварительных лабораторных испытаний огнетушащих и эксплуатационных показателей опытных образцов ОПС. Выходные характеристики определялись в ходе проведения лабораторных исследований согласно методике ВНИИПО МЧС России [12].

При помощи программного комплекса «ГРЕК» были получены уравнения, описывающие влияние массового содержания компонентов порошка на его огнетушащие и эксплуатационные свойства:

$$y_1(u) = 0,2478 + 0,1056u_1 - 0,0328u_2 - 0,0728u_3 - 0,0552 u_1^2 + 0,028 u_1u_2 + \\ + 0,0272u_1u_3 - 0,0052 u_2^2 - 0,0228u_2u_3 - 0,0043u_3^2;$$

$$y_2(u) = 1,1967 + 0,0656u_1 - 0,0711u_2 + 0,0056u_3 + 0,78u_1^2 - 0,39u_1u_2 - 0,39u_1u_3 + 0,11u_2^2 + 0,28u_2u_3 + 0,11u_3^2;$$

$$y_3(u) = 0,0571 + 0,0013u_1 - 0,0012u_2 - 0,0001u_3 - 0,0003u_1^2 + 0,0007u_1u_2 - 0,0004u_1u_3 - 0,0007u_2^2 + 0,0004u_3^2;$$

$$y_4(u) = 0,3144 + 0,0178u_1 - 0,0239u_2 + 0,0061u_3 + 0,0508u_1^2 - 0,03u_1u_2 - 0,0208u_1u_3 + 0,0108u_2^2 + 0,0192u_2u_3 + 0,0017u_3^2;$$

$$y_5(u) = 1,9256 - 0,9906u_1 + 1,0644u_2 - 0,0739u_3 + 5,3162u_1^2 - 3,2735u_1u_2 - 2,0427u_1u_3 + 1,7387u_2^2 + 1,5348u_2u_3 + 0,5078u_3^2.$$

Графическая иллюстрация изменений показателей ОПС $J_i(u)$, $i=1...5$ при заданном соотношении массовых долей компонентов в зависимости от масштабированных вариаций массовых долей гидросиликата магния и хлорида натрия приведена на рис. 1–5.

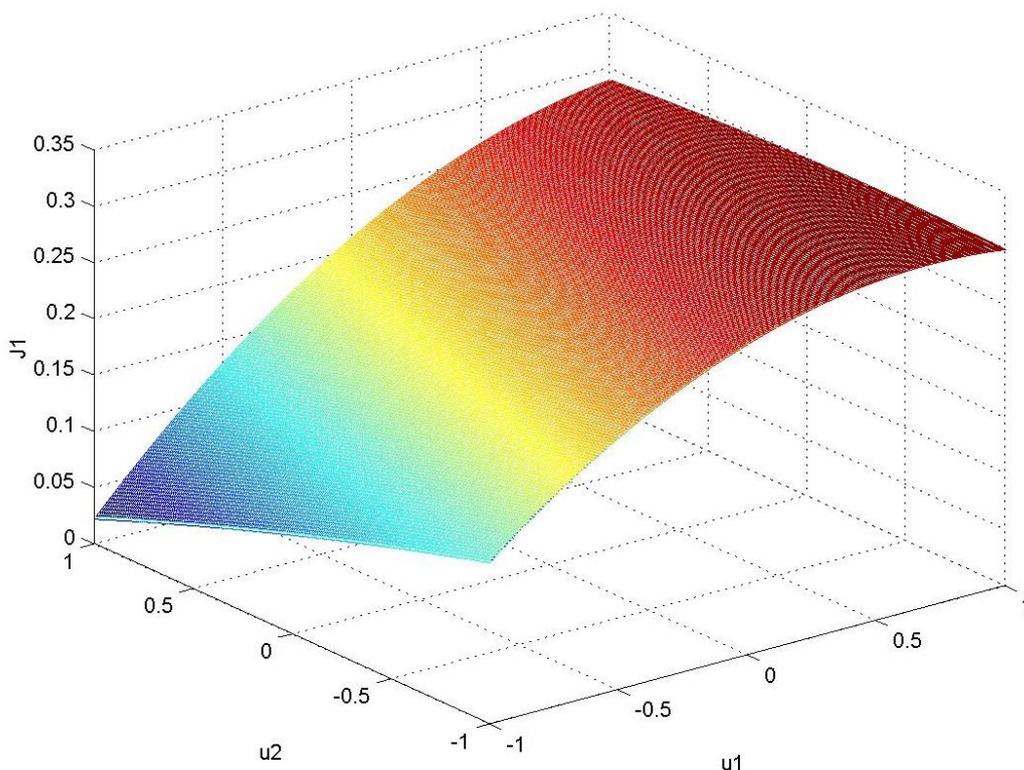


Рис. 1. Функциональный характер изменения массового содержания влаги в огнетушащем порошке в зависимости от массового содержания гидросиликата магния и хлорида натрия

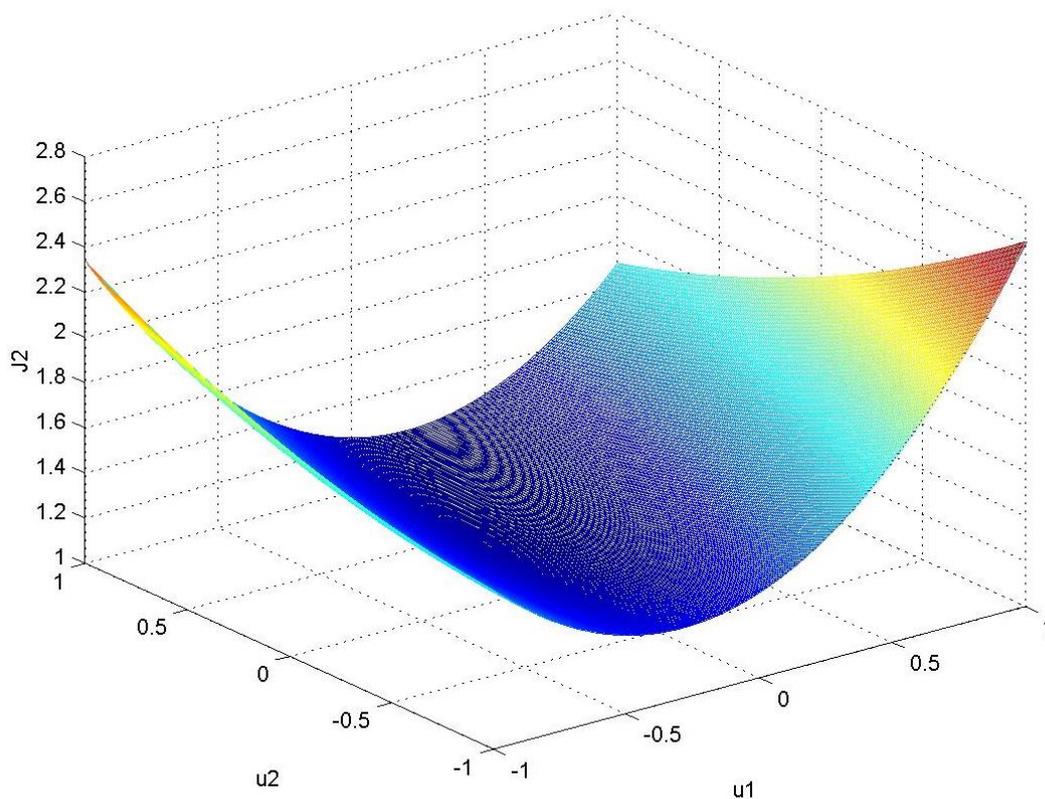


Рис. 2. Функциональный характер изменения склонности огнетушащего порошка к влагопоглощению в зависимости от массового содержания гидросиликата магния и хлорида натрия

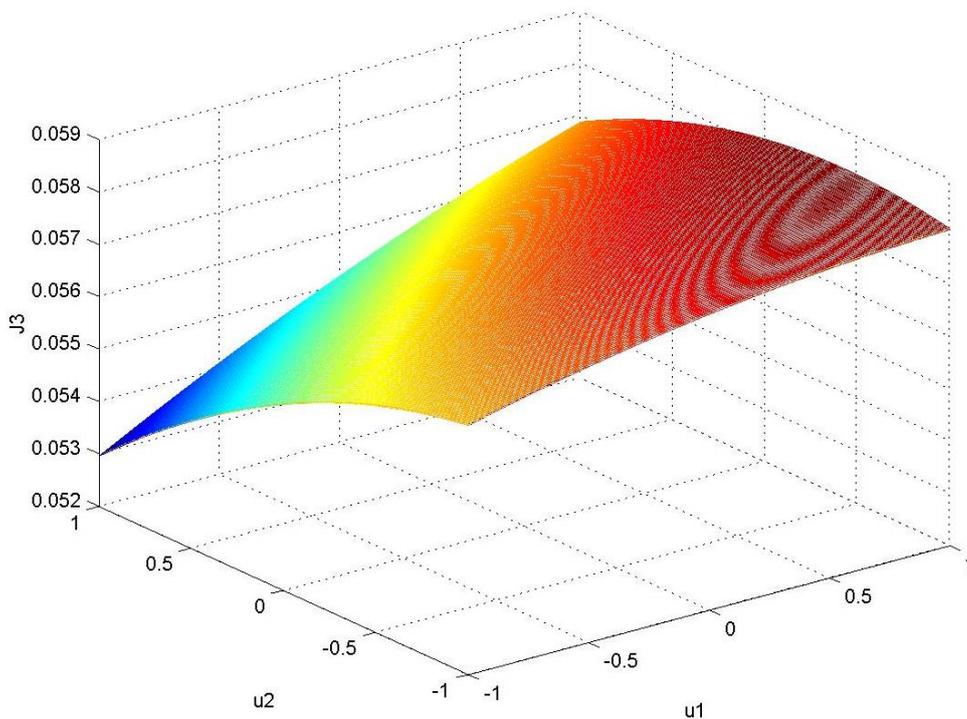


Рис. 3. Функциональный характер изменения текучести огнетушащего порошка в зависимости от массового содержания гидросиликата магния и хлорида натрия

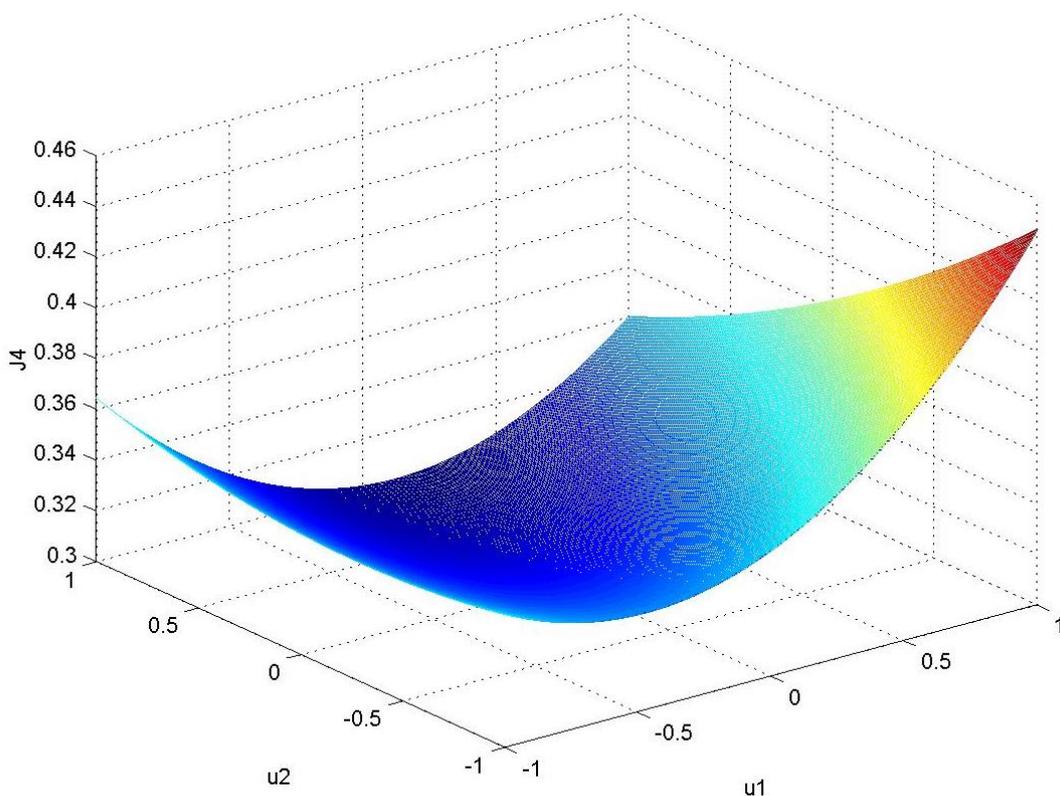


Рис. 4. Функциональный характер изменения значений массы минимальной навески, требуемой для тушения пламени в экспериментальной установке в зависимости от массового содержания гидросиликата магния и хлорида натрия

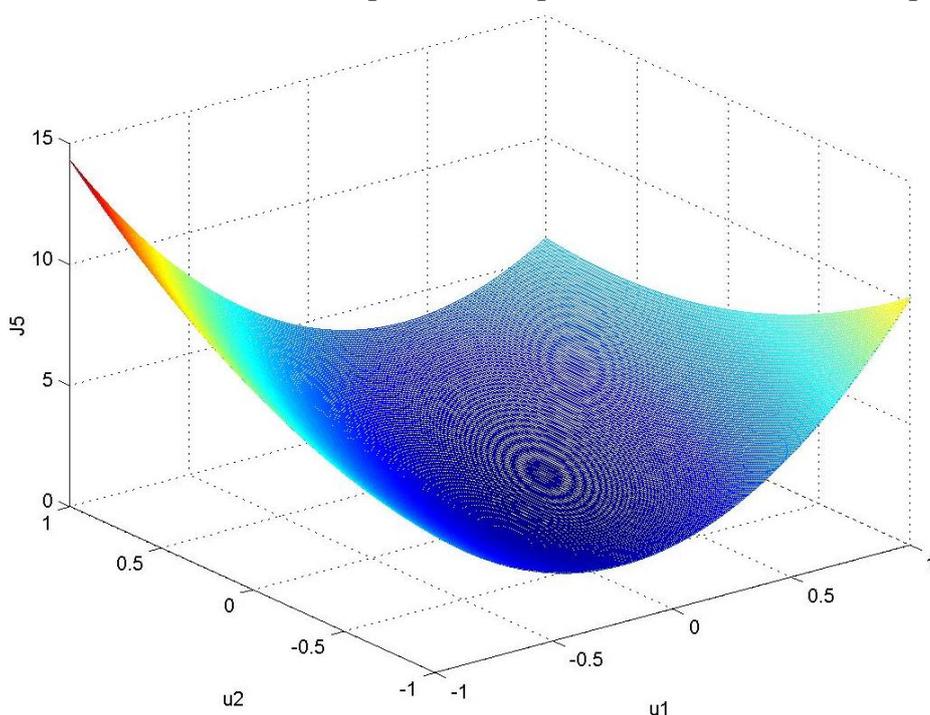


Рис. 5. Функциональный характер изменения склонности огнетушащего порошка к слеживанию в зависимости от массового содержания гидросиликата магния и хлорида натрия

Массовое соотношение компонентов в готовом порошке, обеспечивающее минимальную склонность к влагопоглощению, минимальную

склонность к слеживанию, максимальную текучесть порошка и минимальную массу порошка, требуемую для тушения пламени в экспериментальной установке, связано с решением оптимизационной задачи следующего вида [8]:

$$\max \{F(u): u \in R^3\},$$

$$F(u) = r_1 J_1(u) + r_2 J_2(u) + r_3 J_3(u) + r_4 J_4(u) + r_5 J_5(u),$$

где весовые коэффициенты $r_i, i=1 \dots 5$ целевой функции $F(u)$.

В работе [8] выбраны весовые коэффициенты целевой функции $F(u)$ из соображений экспертного опроса методом ранжирования факторов по степени их важности.

При ранжировании факторов экспертами было выбрано четыре ранга. Предлагалось к первому рангу (α'_1) отнести показатель текучести, ко второму (α'_2) – огнетушащий показатель (сравнительная огнетушащая способность), к третьему (α'_3) – склонность ОПС к слеживанию, к четвертому (α'_4) – эксплуатационные показатели, характеризующие гидрофобные свойства (массовое содержание влаги в ОПС, склонность к влагопоглощению).

В результате ранжирования основных эксплуатационных и огнетушащих показателей ОПС получены следующие значения весовых коэффициентов целевой функции:

- для показателя массового содержания влаги в ОПС $r_1 = \alpha_4 = 0,09$;
- для показателя склонности ОПС к влагопоглощению $r_2 = \alpha_4 = 0,09$;
- для показателя текучести ОПС $r_3 = \alpha_1 = 0,36$;
- для показателя массы минимальной навески, требуемой для тушения пламени в экспериментальной установке $r_4 = \alpha_2 = 0,27$;
- для показателя склонности ОПС к слеживанию $r_5 = \alpha_3 = 0,19$.

Знаки «+» или «-» при весовых коэффициентах означают, что постановка фактически обеспечивает относительную минимизацию или максимизацию показателя J_i .

Это задает следующий аналитический вид целевой функции:

$$F(u) = -0,540946 + 0,158567u_1 - 0,176245u_2 + 0,017678u_3 - 1,035961u_1^2 + 0,630147u_1u_2 + 0,405814u_1u_3 - 0,325569u_2^2 - 0,304578u_2u_3 - 0,101236u_3^2.$$

Геометрия функциональной зависимости показателя качества в зависимости от координатной вариации выделенных компонент вектора u графически проиллюстрирована на рис. 6, при этом параметры вариаций составили следующие интервалы (в относительных физических единицах):

$$u_1 = \pm 0,5, \quad u_2 = \pm 1.$$

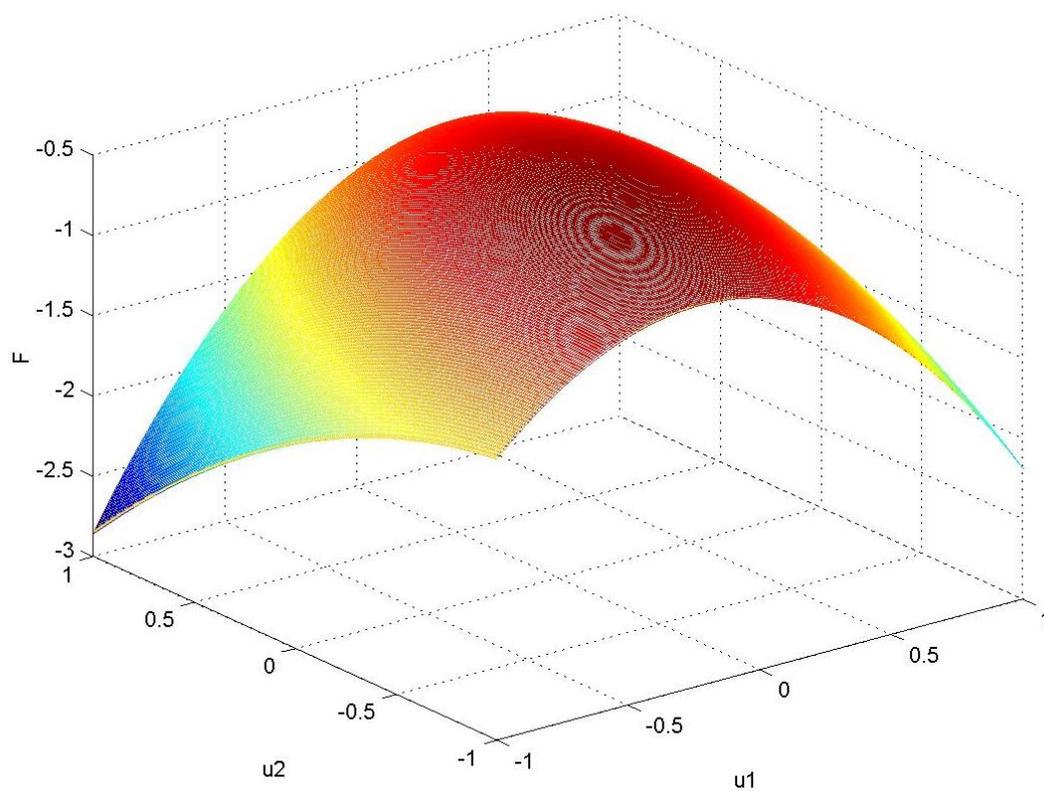


Рис. 6. Фрагмент целевой функции $F(u_1, u_2)$

Вычисление геометрических координат стационарной точки, применительно к задаче оптимизации дало следующее значение:

$$u^{*T}=[0,1379 \ -1,0371 \ 0,8992].$$

Осуществив переход от относительных вариаций компонентов порошка u_i^* к значениям массовых долей компонентов, получили:

- гидросиликат магния 11-12 % (масс.);
- хлорид натрия 34-35 % (масс.);
- бикарбонат натрия 53-54 % (масс.).

Таким образом, построены модели рецептур огнетушащего порошкового состава на основе бикарбоната натрия и получено высокоэффективное соотношение массовых долей компонентов разрабатываемого ОПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баратов А.Н. Огнетушащие порошковые составы / А.Н. Баратов, Л.П. Вогман. М.: Стройиздат, 1982. 72 с.
2. Баратов А.Н. Пожаротушение на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности / А.Н. Баратов, Е.Н. Иванов. 2-е изд., перераб. М.: Химия, 1979. 368 с.
3. Рожков Д.М. Оптимизация рецептуры огнетушащего порошкового состава / Д.М. Рожков, Т.В. Удилов, Г.И. Костриков // Деятельность правоохранительных органов и федеральной противопожарной службы в современных условиях: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. научн.-прак. конф. Иркутск: ГОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт МВД России», 2007. С. 247.
4. Удилов Т.В. Разработка огнетушащих порошковых составов на основе отходов предприятий Иркутской области / Т.В. Удилов, Д.М. Рожков // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2006. № 1. С. 64.
5. Удилов Т.В. Анализ возможности применения неметаллических полезных ископаемых Приангарья для разработки огнетушащих порошковых составов / Т.В. Удилов, А.П. Тарханов, Д.М. Рожков // Деятельность правоохранительных органов и государственной противопожарной службы в современных условиях: проблемы и перспективы развития: материалы междунар. научн.-прак. конф. Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2006. С. 260.
6. Удилов Т.В. Исследование огнетушащей эффективности порошковых составов на основе сырья Приангарья / Т.В. Удилов, Д.М. Рожков, Р.Г. Макаров // Деятельность правоохранительных органов и государственной противопожарной службы в современных условиях: проблемы и перспективы развития: материалы всерос. научн.-прак. конф. Иркутск: Восточно-Сибирский институт МВД России, 2005. С. 293.
7. Шихов Б.А. Огнетушащие порошковые составы / Б.А. Шихов, Л.Г. Семке, В.Д. Толмачева, Т.Г. Тришевская // Обзорная информация. М.: НИИ ТЭХИМ, 1983. 84 с.
8. Удилов Т.В. Оптимизация рецептур огнетушащих порошков и имитационное моделирование их воздействия на динамику фронта лесного пожара:

дис. ... канд. тех. наук / Братский государственный университет. Братск, 2009. 158 с.

9. Удилов Т.В. Численные методы построения моделей основных показателей огнетушащих порошковых составов / Т.В. Удилов, В.А. Русанов // Современность в творчестве вузовской молодежи. Вып. 11: материалы науч.-прак. конф. молодых ученых. Иркутск: ФГОУ ВПО ВСИ МВД РФ, 2009. С. 261.

10. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008614737 от 2.10.2008 г. «Гибридный регрессионный комплекс (ГРЕК)» / С.В. Агафонов, Д.Ю. Шарпинский, В.А. Русанов, Т.В. Удилов.

11. Андриевский Б.Р. Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB и SCILAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. СПб.: Наука, 2001. 288 с.

12. НПБ 170-98 Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования. Методы испытаний. Введ. 30.06.98 г. М.: ГУГПС и ФГУ ВНИИПО МВД России, 2000. 26 с.