

УДК 66.0 + 614.841.41

DOI 10.48612/ntp/5nfz-rka1-knp8

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ СРЕДСТВ ОГНЕЗАЩИТЫ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ В УСЛОВИЯХ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Ж. Ф. ГЕССЕ, С. А. ШАБУНИН, Т. В. ФРОЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

В работе предпринята попытка установить корреляцию между приростом массы образца древесины сосны в результате пропитки огнезащитным составом и потерей массы образца в условиях огневого воздействия. Для сравнительной оценки эффективности огнезащиты выбран такой критерий, как потеря массы образца в ходе огневых испытаний. В качестве объекта исследования взята древесина сосны, пропитанная 10 % масс. водными составами аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски. Для исследования были использованы следующие методы пробоподготовки древесины сосны: выдерживание образца в огнезащитном составе в течение 1 часа, 24 часов и двукратная обработка поверхности кистью.

Обнаружено, что различные способы обработки древесины огнезащитными составами оказывают существенное влияние на стойкость древесины к огневому воздействию. Установлено, что обработка древесины сосны 10 % масс. водными растворами аммофоса и диаммофоски эффективна при пропитывании образца 1 час. Для древесины, обработанной 10 % масс. водным раствором диаммонийфосфата эффективность огнезащиты достигается при выдерживании образца в растворе 24 часа. Двукратная обработка поверхности древесины сосны кистью менее эффективна во всех случаях.

Прямая зависимость потери массы в результате огневых испытаний от прироста массы во время пропитки образца огнезащитным составом наблюдается только для состава на основе диаммонийфосфата.

На основании проведенных испытаний наибольшей огнезащитной эффективностью обладает химически чистый диаммонийфосфат, что обусловлено большим содержанием аммонийных групп, по сравнению с другими составами.

Ключевые слова: возгорание; древесина; огнезащитный состав; аммофос; диаммонийфосфат; диаммофоска; стойкость к огневому воздействию; пожарная опасность.

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING PHOSPHORUS-CONTAINING FIRE PROTECTION MEANS FOR PINE WOOD UNDER FIRE EXPOSURE CONDITIONS

Zh. F. GESSE, S. A. SHABUNIN, T. V. FROLOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

This study attempts to establish a correlation between the weight gain of a pine wood sample as a result of impregnation with a fire retardant and the weight loss of the sample under fire exposure. For a comparative assessment of fire protection effectiveness, the criterion chosen was sample weight loss during fire tests. Pine wood impregnated with 10 % by weight aqueous solutions of ammonium phosphate, diammonium phosphate, and diamphoska was used as the object of study. The following pine wood sample preparation methods were used for the study: keeping the sample in the fire retardant for 1 hour, 24 hours, and twice treating the surface with a brush.

It was found that different methods of wood treatment with fire retardants have a significant impact on the wood's resistance to fire exposure. It was found that treatment of pine wood with 10 % by weight aqueous solutions of ammonium phosphate and diamphoska is effective when the sample is impregnated for 1 hour.

For wood treated with 10 % by weight, the effect was with an aqueous solution of diammonium phosphate, fire protection effectiveness is achieved by soaking the specimen in the solution for 24 hours. Double brushing of the pine wood surface is less effective in all cases.

A direct correlation between weight loss during fire tests and weight gain during specimen impregnation with the fire retardant composition is observed only for the diammonium phosphate-based composition.

Based on the tests conducted, chemically pure diammonium phosphate exhibits the highest fire protection effectiveness, due to its higher content of ammonium groups compared to other compositions.

Key words: fire; wood; fire retardant composition; ammophos; diammonium phosphate; diamphoska; fire resistance; fire hazard.

Введение

К настоящему времени разработано достаточно большое количество рецептов и оригинальных составов [1–6] для защиты древесины от возгорания, однако данное научно-исследовательское направление продолжает активно развиваться, поскольку не все существующие решения отвечают современным требованиям экологической безопасности, долговечности и эффективности, а не снижающийся спрос на древесину и древесные материалы требует обновления. Актуальным также остается поиск новых, более совершенных составов, способных обеспечить надежную защиту древесины, с минимальным количеством компонентов состава.

Целью данной работы является – оценка эффективности использования 10 % масс. водных растворов аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски для огнезащиты древесины сосны, а также определение зависимости между приростом массы образца древесины сосны в результате пропитки огнезащитным составом и потерей массы образца в условиях огневого воздействия.

Материалы

и методика исследования

Для проведения исследования использовали образцы древесины сосны размерами 75 мм × 50 мм × 20 мм без видимых изъянов (трещины, сучки, места гниения и другие дефекты).

В качестве огнезащитных составов были использованы 10 % масс. водные растворы следующих фосфорсодержащих средств:

– № 1 - аммофос (основной компонент $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ с добавлением $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$);

– № 2 - диаммонийфосфат $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$, марки х.ч.);

– № 3 - диаммофоска (основной компонент $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ с добавлением солей калия).

Пропиточные водные растворы готовили весовым способом из сухой смеси в соответствии с документами^{1,2} при комнатной или

повышенной температуре (50–60 °С) для аммофоса и диаммофоса до полного растворения при тщательном перемешивании. Приготовленные растворы отстаивали не менее 4 часов, после чего пропускали их через бумажный складчатый фильтр для отделения нерастворимых примесей.

Для исследования были использованы три различных метода пробоподготовки для трех образцов, каждый в трех повторностях:

1) огнезащитное средство на поверхность древесины сосны наносили путем погружения образца в подготовленный состав на 1 час [образцы: (1.1), (2.1), (3.1)];

2) огнезащитное средство на поверхность сосны наносили путем погружения образцов в подготовленный состав. Продолжительность выдержки древесины в растворе составляла 24 часа [образцы: (1.2), (2.2), (3.2)];

3) нанесение огнезащитного средства на поверхность древесины осуществляли два раза кистью без просушки образцов между обработками с интервалом не более 10 мин [образцы: (1.3), (2.3), (3.3)].

Одним из условий выполнения эксперимента была фиксация времени просушки образцов после обработки огнезащитными составами. Сушка образцов проводилась при комнатной температуре и атмосферном давлении до постоянной массы.

Расчетные данные по приросту массы исследуемых образцов представлены в табл. 1–3. Прирост массы является прямым следствием проникновения пропиточного состава в древесные волокна и может служить индикатором для оценки качества пропитки и потенциальной огнезащиты древесины. Несмотря на то, что все три способа пропитки, применяемых нами в исследовании, относятся к одному методу – капиллярная пропитка [7], из полученных результатов видно, что наименьший прирост массы наблюдается у образцов, на которые огнезащитный состав наносился кистью (табл. 3). Образцы древесины, обработанные методом погружения в раствор в течение

¹ ГОСТ 18918-85 Аммофос. Технические условия

² ГОСТ 8515-75 Диаммонийфосфат. Технические условия

24 часов, отличаются наибольшим приростом массы (табл. 2). В [8] показано, что после вымачивания древесины сосны в воде наблюдается существенное разрушение волокон, уменьшение их длины и раскрытие внутренней поверхности. Вероятно, именно этот факт и

способствует большему поглощению огнезащитного состава.

Оценку стойкости образцов к огневому воздействию проводили аналогично [9]. На рис. 1 представлены образцы древесины сосны, обработанные огнезащитными составами № 1-3, после огневого воздействия.

Таблица 1. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 10% масс. водным раствором путем погружения их в огнезащитный состав на 1 час

| Образец | № эксперимента | Масса образца до пропитки, г | Масса образца после пропитки, г | Δm , % |
|---------|----------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1.1 | 1 | 39,6791 | 40,2126 | 1,46 |
| | 2 | 42,5070 | 43,2033 | |
| | 3 | 42,1239 | 42,7129 | |
| 2.1 | 1 | 41,6912 | 42,2364 | 1,21 |
| | 2 | 43,1745 | 43,6460 | |
| | 3 | 41,8262 | 42,3389 | |
| 3.1 | 1 | 42,4989 | 43,0569 | 1,45 |
| | 2 | 41,5174 | 42,0786 | |
| | 3 | 41,5646 | 42,2726 | |

Таблица 2. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 10% масс. водным раствором путем погружения их в огнезащитный состав на 24 часа

| Образец | № эксперимента | Масса образца до пропитки, г | Масса образца после пропитки, г | Δm , % |
|---------|----------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1.2 | 1 | 39,7022 | 40,6381 | 2,25 |
| | 2 | 40,8697 | 41,9466 | |
| | 3 | 41,7048 | 42,4448 | |
| 2.2 | 1 | 41,3102 | 42,2318 | 2,54 |
| | 2 | 38,4660 | 39,5402 | |
| | 3 | 41,4586 | 42,5385 | |
| 3.2 | 1 | 41,7643 | 42,5949 | 2,20 |
| | 2 | 41,1990 | 42,1287 | |
| | 3 | 41,6413 | 42,6203 | |

Таблица 3. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после нанесения пропитки 10% масс. водным раствором кистью

| Образец | № эксперимента | Масса образца до пропитки, г | Масса образца после пропитки, г | Δm , % |
|---------|----------------|------------------------------|---------------------------------|----------------|
| 1.3 | 1 | 37,4535 | 38,0541 | 1,16 |
| | 2 | 38,1031 | 38,4511 | |
| | 3 | 39,2979 | 39,6795 | |
| 2.3 | 1 | 40,1393 | 40,5933 | 1,00 |
| | 2 | 39,3657 | 39,6757 | |
| | 3 | 41,0743 | 41,5162 | |
| 3.3 | 1 | 40,3877 | 40,5965 | 0,65 |
| | 2 | 40,4081 | 40,7193 | |
| | 3 | 40,1944 | 40,4085 | |

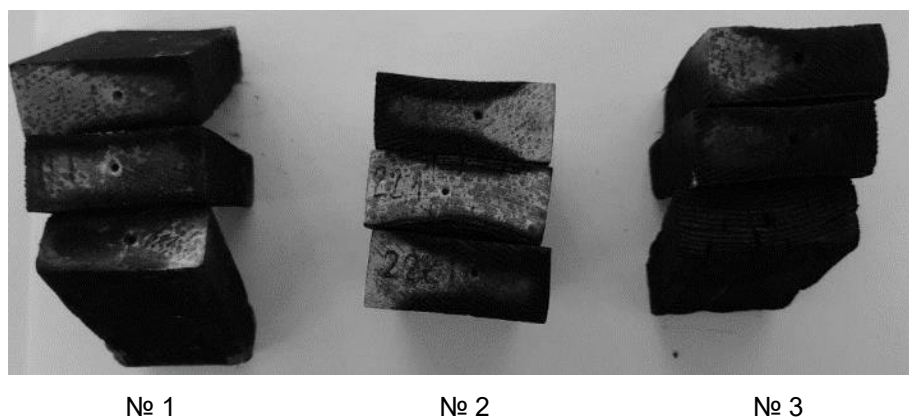


Рис. 1. Образцы древесины сосны, обработанной огнезащитными составами (сверху вниз: № 1 – 1.1; 1.2; 1.3; № 2 – 2.1; 2.2; 2.3; № 3 – 3.1; 3.2; 3.3)

Известно³, что моноаммонийфосфат является более устойчивым к действию температуры, чем диаммонийфосфат, и при нагревании до 100–110 °С не теряет аммиак. Диаммонийфосфат, нагретый до 70 °С разлагается до аммиака и моноаммонийфосфата. Можно было бы предположить, что количественные значения характеристик образцов 2 и 3 должны иметь сходные значения. Однако, из данных таблицы 4 следует, что в результате огневого воздействия наибольшая потеря массы соответствует образцам древесины сосны 3.1, 3.2, 3.3 (при всех условиях подготовки образцов), что может указывать на их наиболее глубокое термическое разложение. При втором и третьем способе пропитки древесины сосны образец № 3 характеризуется наименьшим приростом массы и наибольшей убылью массы при огневом воздействии на него. Вероятно, присутствие солей калия в составе диаммофоски играет немаловажную роль в огнезащите

древесины. Ионы калия, обладая достаточно большим коэффициентом теплопроводности, способствуют большему прогреванию верхнего слоя древесины, выступая при этом, вероятно, как катализатор, и ускоряют процесс горения, что и приводит к увеличению потери массы в процессе огневого воздействия.

Если говорить о потере массы у образца, прошедшего обработку огнезащитным составом № 2 (диаммонийфосфат), то по результатам эксперимента видно, что такая древесина демонстрирует наименьшие показатели потери массы (табл. 4, строки 2, 5, 8), а образцы имеют меньшее термическое повреждение (рис. 1). Помимо этого, для данного состава можно говорить о прямой зависимости убыли массы при огневом воздействии от прироста массы при пропитке образца огнезащитным составом (рис. 2), что не характерно для составов № 1 и № 3.

Таблица 4. Средние значения потери массы огнезащищенных образцов древесины сосны в результате огневого воздействия

| № п/п | Образец | Условия пробоподготовки | Δm , г | Δm^* , % |
|-------|---------|---|----------------|------------------|
| 1 | 1.1 | выдерживание в огнезащитном растворе в течение 1 часа | 12,40 | 30,23 |
| 2 | 2.1 | | 11,29 | 27,06 |
| 3 | 3.1 | | 13,56 | 32,66 |
| 4 | 1.2 | выдерживание в огнезащитном растворе в течение 24 часов | 14,02 | 34,60 |
| 5 | 2.2 | | 8,35 | 20,73 |
| 6 | 3.2 | | 14,50 | 35,06 |
| 7 | 1.3 | нанесение огнезащитного состава двукратно кистью с интервалом 10 мин. | 14,29 | 36,70 |
| 8 | 2.3 | | 12,13 | 29,66 |
| 9 | 3.3 | | 17,53 | 42,83 |

³ Аммофос. Справочник химика 21: – URL: <https://Chem21.info/page/18717800/> (дата обращения 12.10.2025).

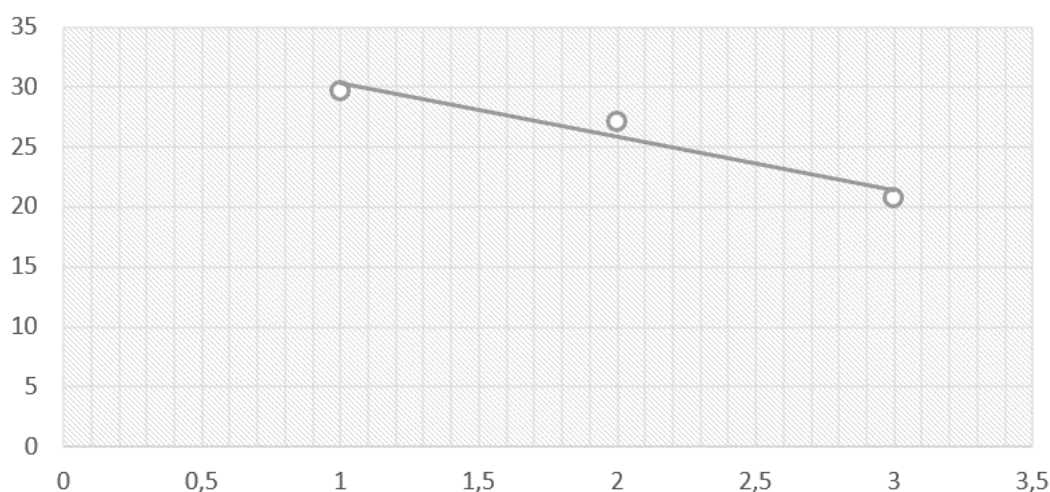


Рис. 2. Зависимость убыли массы древесины сосны (Δm^*) при огневом воздействии от прироста массы (Δm) при пропитке образца составом № 2

Выводы

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что обработка древесины огнезащитными составами, приготовленными на основе 10 % масс. водных растворов аммофоса, диаммонийфосфата и диаммофоски, оказывает существенное влияние на стойкость древесины к огневому воздействию.

Установлено, что обработка древесины сосны 10 % масс. водными растворами аммофоса и диаммофоски эффективна при пропитывании образца 1 час. Для древесины, обработанной 10 % масс. водным раствором диаммонийфосфата эффективность огнезащиты достигается при выдерживании образца в растворе 24 часа. Двукратная обработка

поверхности древесины сосны кистью менее эффективна во всех случаях. Однако, увеличение длительности пропитки составом не всегда приводит к повышению стойкости к действию огня.

Прямая зависимость потери массы в результате огневых испытаний от прироста массы во время пропитки образца огнезащитным составом наблюдается только для состава на основе диаммонийфосфата.

На основании проведенных испытаний наибольшей огнезащитной эффективностью обладает химически чистый диаммонийфосфат, что обусловлено большим содержанием аммонийных групп, по сравнению с другими составами.

Список литературы

1. Афанасьев С. В., Коротков Р. В. Азот-фосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 6. С. 38–42.
2. Афанасьев С. В., Коротков Р. В. Антипирены на основе фосфорсодержащих соединений и аминокальдегидных смол // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1 (6). С. 1682–1684.
3. Панев Н. М. Анализ применения огнезащитных композиций для древесины и разработка методов контроля их наличия: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Иваново, 2020. 21 с.
4. Федотов И. О., Сивенков А. Б. Влияние средств огнезащиты на интенсивность прогрева и особенности обугливания деревянных

конструкций // Технологии техносферной безопасности. 2021. Вып. 4 (94). С. 50–64.

5. Защита древесины от возгорания с использованием специальных составов / А. М. Газизов, А. Г. Гороховский, Е. Е. Шишкина [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2024. № 1 (88). С. 159–164.

6. Оценка эффективности смесей антипиренов для огнезащиты древесины / В. Ю. Колесова, Н. О. Мельников, А. А. Монахов [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. №1 (46). С. 52–66.

7. Пятакин В. И., Соколова В. А. Эффективность способов пропитки древесины // Вестник КрасГАУ. 2011. № 5. С. 159–163.

8. Влияние предварительной водной обработки сосновых опилок на структурные изменения древесины и свойства углеродного продукта на ее основе / С. И. Цыганова,

О. Ю. Фетисова, Г. Н. Бондаренко [и др.] // Химия растительного сырья. 2015. № 4. С 85–91.

9. Гессе Ж. Ф., Шабунин С. А., Фролова Т. В. Исследование влияния способа пропитки древесины огнезащитным составом на стойкость к огневому воздействию // Современные проблемы гражданской защиты. 2025. № 1 (54). С. 27–34.

References

1. Afanas'ev S. V., Korotkov R. V. Azot-fosforsoderzhashhie antipireny' propity'vayushhego dejstviya dlya drevesiny' [Nitrogen-phosphorus-containing fire retardants with impregnating action for wood]. *Pozharovzry'vobezopasnost'*, 2012, vol. 21, issue 6, pp. 38–42.

2. Afanas'ev S. V., Korotkov R. V. Antipireny' na osnove fosforsoderzhashhix soedinenij i aminoal'degidny'x smol [Fire retardants based on phosphorus-containing compounds and amino aldehyde resins]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*, 2014, issue 16, vol. 1 (6), pp. 1682–1684.

3. Panev N. M. Analiz primeneniya ognezashhitny'x kompozicij dlya drevesiny' i razrabotka metodov kontrolya ix nalichiya. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. [Analysis of the application of fire-retardant compositions for wood and development of methods for monitoring their presence. Abstract diss. cand. tech. sciences]. Ivanovo, 2020, 21 p.

4. Fedotov I. O., Sivenkov A. B. Vliyanie sredstv ognezashhity' na intensivnost' progreva i osobennosti obuglivaniya derevyanny'x konstrukcij [The influence of fire protection agents on the

intensity of heating and the characteristics of charring of wooden structures]. *Texnologii texnosfernoj bezopasnosti*, 2021, vol. 4 (94), pp. 50–64.

5. Zashhita drevesiny' ot vozgoraniya s ispol'zovaniem special'ny'x sostavov [Protection of wood from fire with the use special composition] / A. M. Gazizov, A. G. Goroxovskij, E. E. Shishkina [et. al.]. *Lesa Rossii i xozyajstvo v nix*, 2024, vol. 1 (88), pp. 159–164.

6. Ocenka e'ffektivnosti smesej antipirenov dlya ognezashhity' drevesiny' [Evaluation of the effectiveness of flame retardant mixtures for wood fire protection] / V. Yu. Kolesova, N. O. Mel'nikov, A. A. Monahov [et. al.]. *Texnosfer-naya bezopasnost'*, 2025, vol. 1 (46), pp. 52–66.

7. Patyakin V. I., Sokolova V. A. E'ffektivnost' sposobov propitki drevesiny' [Efficiency of the ways for wood impregnation]. *Vestnik KrasGAU*, 2011, issue 5, pp. 159–163.

8. Vliyanie predvaritel'noj vodnoj obrabotki sosnovy'x opilok na strukturny'e izmeneniya drevesiny' i svojstva uglerodnogo produkta na ee osnove [The effect of preliminary water treatment of pine sawdust on structural changes in wood and the properties of carbon products based on it] / S. I. Cyganova, O. Yu. Fetisova, G. N. Bondarenko [et. al.]. *Ximiya rastitel'nogo sy'r'ya*, 2015, issue 4, pp. 85–91.

9. Gesse Zh. F., Shabunin S. A., Frolova T. V. Issledovanie vliyaniya sposoba propitki drevesiny' ognezashhitny'm sostavom na stojkost' k ognevomu vozdejstviyu [Study of influence of the method of wood treatment by fire-protective composition on fire resistance]. *Sovremennyye problemy' grazhdanskoj zashhity'*, 2025, vol. 1 (54), pp. 27–34.

Гессе Женни Фердинандовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Gesse Zhenni Ferdinandovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy

of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies

and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Шабунин Сергей Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Shabunin Sergey Aleksadrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana Vladislavovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: frolovatanja@mail.ru