



УДК 630\*432.331

## Исследование зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов смачивателей и пенообразователей

© Н.Д. Гущев, Н.В. Михайлова, Н.А. Грабежева

---

### **The study of wetting of forest combustible materials by solutions of wetting agents and foamers**

**N.D. Gutsev, N.V. Mihailova, N.A. Grabezheva** (Saint-Petersburg Forestry Research Institute)

Water, despite its advantages as a means of fighting forest fires, has several limitations. The paper considers the issues of increasing its wetting, and, consequently, fire extinguishing ability when extinguishing of forest fires through the use of surfactants – wetting agents and foamers. It is shown that the wetting ability is characterized by the wetting angle wetting with a solution of a solid surface depends on the magnitude of the surface tension of the solution, which, in turn, is determined by the concentration of the surfactant of a specific type. The data on reduction of surface tension of solutions at various concentrations for several types of wetting agents and foamers are presented. The results of measurement of time and mass rate of wetting of the four types of shredded combustible forest materials – green moss, lichen, forest litter and peat solutions of different concentrations are presented. These data show that upon reaching a certain concentration the surface tension stops falling, at the same time and speed continue to increase wetting. It is shown that different types of shredded combustible forest materials wetted at different speeds. The analysis of the data shows that at the present time to establish the relationship between the reduction of surface tension of solutions and the time of wetting is not possible. This is because at the same surface tension of solutions of various substances during wetting may differ by an order of magnitude or more. The results of the evaluation of the wetting ability of solutions extinguishing agents for various types of shredded combustible forest materials are the basis for determining their working concentrations when used as wetting agents soil at the suppression of forest fires. The results of the evaluation of the wetting ability of solutions extinguishing agents for various types of shredded combustible forest materials are the basis for determining their working concentrations when used as wetting agents soil at the suppression of forest fires. The obtained

results can be useful to developers of new high-performance and inexpensive wetting agents for use in forestry in extinguishing forest fires, especially those involving combustion of peat and litter.

**Key words:** surfactant, wetting agent, foam concentrate, solution, concentration, forest fire, forest combustible materials, methods of laboratory research, regional corner of wetting

**Исследование зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов смачивателей и пенообразователей**

**Н.Д. Гуцев, Н.В. Михайлова, Н.А. Грабежева**

Вода, несмотря на её достоинства как средства тушения лесных пожаров, обладает существенным недостатком – низкой смачивающей способностью по отношению к лесным горючим материалам (ЛГМ), определяющей её высоким поверхностным натяжением. Для увеличения смачивающей, а, следовательно, и огнетушащей способности при борьбе с лесными пожарами в воду добавляют смачиватели и пенообразователи, в состав которых входят поверхностно-активные вещества (ПАВ). В работе рассмотрена возможность установления количественной зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов, содержащих ПАВ. В ходе лабораторных исследований получены данные о величине поверхностного натяжения растворов некоторых смачивателей и пенообразователей различных типов в зависимости от их концентрации. Также приведены результаты измерения времени и массовой скорости смачивания образцов четырёх видов ЛГМ – зелёного мха, лишайника, лесной подстилки и торфа растворами той же концентрации. Эти данные показывают, что при достижении определённой концентрации ПАВ поверхностное натяжение перестаёт снижаться, в то время как скорость смачивания продолжает увеличиваться. Отмечено, что разные виды ЛГМ смачиваются с различной скоростью. Анализ полученных результатов показал, что при одинаковом поверхностном натяжении у растворов различных ПАВ, время смачивания ЛГМ одного вида может отличаться на порядок и более. Результаты оценки смачивающей способности растворов огнетушащих составов по различным видам ЛГМ являются основой для определения их рабочих концентраций при тушении лесных пожаров. Полученные данные могут быть полезны разработчикам новых высокоэффективных и, желательно, недорогих огнетушащих составов (ОС), которые могут применяться в лесном хозяйстве для тушения лесных пожаров, особенно торфяных, подземных и подстильно-гумусовых.

**Ключевые слова:** поверхностно-активное вещество, смачиватель, пенообразователь, раствор, концентрация, лесной пожар, лесные горючие материалы, методики лабораторных исследований, краевой угол смачивания

Гуцев Николай Дмитриевич – ведущий науч. сотр. НИО охраны и защиты леса, канд. техн. наук, доцент

E-mail: ngucev@mail.ru

Михайлова Нинель Вадимовна – ст. науч. сотр. НИО охраны и защиты леса, канд. хим. наук, доцент

E-mail: ninel3971@mail.ru

Грабежева Наталья Александровна – гл. специалист НИО охраны и защиты леса

E-mail: for\_natalie@mail.ru

ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21

Тел.: (812) 552-80-21, факс: (812) 552-80-42

### Введение

В настоящее время вода остаётся самым распространённым средством тушения лесных пожаров. Преимущество воды заключается в её большой теплоёмкости, широкой доступности, дешевизне и экологической чистоте. Однако как огнетушащее средство вода имеет существенный недостаток – высокое поверхностное натяжение (72,53 мН/м при 20 °С), которое в жёсткой воде может возрастать до 80 мН/м. Высокое поверхностное натяжение препятствует быстрому растеканию воды по поверхности лесных горючих материалов и проникновению её в глубь горящих пористых материалов, и, тем самым, замедляет их намокание, охлаждение и тушение [1, 2, 6]. За счёт эффекта гидрофобности вода без добавок не впитывается сухими лесными горючими материалами или торфом, легко протекает сквозь них и уходит в грунт, не проявляя огнетушащего эффекта и не препятствуя распространению пламени.

Для снижения поверхностного натяжения и увеличения смачивающей способности воды в неё вводят поверхностно-активные вещества, усиливающие огнетушащее действие. Современные смачиватели при относительно невысокой концентрации могут значительно уменьшать поверхностное натяжение воды,

что позволяет раствору за счёт капиллярного эффекта легко проникать в пористый слой лесного напочвенного покрова, подстилки или торфа и делать их на какое-то время негоримыми [10]. Применение смачивающих растворов позволяет снижать расход воды при тушении лесных низовых пожаров в 2-3 раза, а торфяных – в десятки раз.

Дело в том, что при тушении любых гидрофобных материалов – резины, полимеров, хлопка, необработанных тканей, требуется повышенный расход воды – как на ликвидацию огня, так и на их последующую пропитку [2, 3]. Поэтому растворы ПАВ, в том числе смачивателей и пенообразователей, широко используются для улучшения огнегасящих свойств воды при тушении не только лесных, но и промышленных, и бытовых пожаров, особенно в складских помещениях.

Смачивающая способность и растекание жидкости характеризуются величиной краевого угла смачивания раствором твёрдой поверхности  $\theta$  (рис. 1). Краевой угол – это угол между поверхностью твёрдого тела и касательной к поверхности жидкость/газ с вершиной в точке контакта трёх фаз [6, 8]. Чем он меньше, тем лучше смачивающая способность раствора.

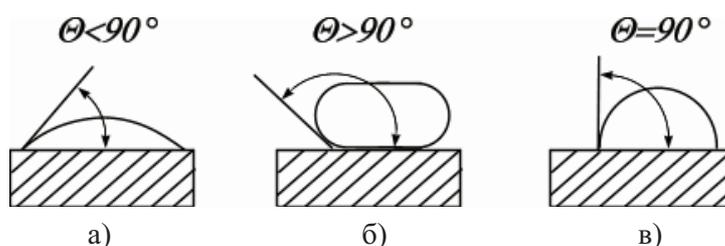


Рис. 1. Краевой угол смачивания жидкости на различных поверхностях:  
а) гидрофильной; б) гидрофобной; в) нейтральной

При попадании жидкости на пористую поверхность, которую представляют собой ЛГМ, процессу растекания (впитывания) предшествует капиллярная пропитка материала водой или раствором [7]. Условием эффективного капиллярного смачивания и растекания является

значение величины краевого угла смачивания менее 90°. Движущей силой эффективного смачивания гидрофильной поверхности является капиллярное давление. Под действием атмосферного давления жидкость впитывается в поры материала с тем большим усилием, чем

меньше размер этих пор. Таким образом, время смачивания различных видов ЛГМ раствором ПАВ [5, 9] определяется их структурой и является основой для определения рабочей концентрации растворов ПАВ при их практическом использовании. В ходе многочисленных экспериментов установлено [2, 5, 9, 10], что с возрастанием концентрации поверхностное натяжение растворов ПАВ и время смачивания ими ЛГМ уменьшаются. Известно также, что введение ПАВ в раствор свыше определённого предела не приводит к дальнейшему снижению его поверхностного натяжения [1].

В настоящее время разработано большое количество новых смачивателей и пенообразователей, применение которых возможно и при тушении лесных пожаров. В связи с этим задачами исследования являются определение в лабораторных условиях величин поверхностного натяжения и времени смачивания различных типов ЛГМ в зависимости от концентрации растворов современных ОС и поиск связи между их поверхностным натяжением и временем смачивания ЛГМ.

#### **Методика исследований**

Определение поверхностного натяжения растворов ПАВ в зависимости от концентрации проводилось с использованием сталагмометрического метода. Он заключается в сравнительном подсчёте числа капель, образующихся при истечении из вертикального капилляра растворов различной концентрации и чистой воды. К недостаткам данного метода можно отнести возможность испарения жидкости с поверхности капель при их длительном образовании и необходимость введения поправочных температурных коэффициентов для точного определения поверхностного натяжения. При учёте всех поправок погрешность метода не превышает 1% [8].

В соответствии с ГОСТ Р 50588-2012, смачивающую способность растворов определяют по времени, в течение которого происходит протекание раствора через гидрофобную ткань. При необходимости толщина слоя материала

может быть увеличена за счёт установки в устройство различного числа кружков ткани. Однако ткань не является прямым аналогом лесных горючих материалов. Поэтому для оценки времени смачивания ЛГМ в наших экспериментах использовалась методика, специально разработанная в СПбНИИЛХ [4]. Она основана на явлении плёночной флотации и заключается в определении времени смачивания навески размолотого ЛГМ раствором изучаемого огнетушащего состава заданной концентрации. Измеряется время от момента насыпания навески ЛГМ массой 1 г на поверхность раствора до полного её намокания. Объём жидкости 100 мл, вместимость стеклянного стакана 150 см<sup>3</sup>, диаметр — 50 мм. В качестве контроля использовалась чистая вода.

#### **Объекты исследования**

Смачивающая способность составов определялась на четырёх видах ЛГМ: зелёном мхе, лишайнике, подстилке (горизонт почвы  $A_0$ ) и торфе. При выборе именно этих типов ЛГМ для проведения опытов исходили из следующих предпосылок. В зоне тайги РФ преобладают сосновые, лиственничные и еловые насаждения преимущественно зеленомошной группы типов леса. Основными компонентами лесных горючих материалов в этой наиболее пожароопасной группе лесов являются мхи, лишайники и лесная подстилка. Территориальная представленность этих типов ЛГМ во всех лесорастительных зонах практически одинакова. Большие площади в Северо-Западном регионе, Западной Сибири и на Дальнем Востоке занимают хвойные леса, произрастающие на влажных почвах с избыточным увлажнением. Чаще всего это торфянистые почвы, на которые в засуху приходится наибольшее число подземных (торфяных) пожаров. Поэтому испытания растворов ПАВ проводились также на и торфе. В опытах использовались размолотые и просеянные ЛГМ, высушенные до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

Оценка поверхностного натяжения растворов и времени смачивания ими ЛГМ проводи-

лась в диапазоне концентраций от 0,01 до 1%. При концентрации менее 0,01% поверхностное натяжение и смачивающая способность растворов практически не отличаются от воды. А при концентрации более 1% измеряемые характеристики у наиболее эффективных составов являются установившимися, то есть при достижении такой концентрации ПАВ поверхностное натяжение перестаёт снижаться, а время смачивания уменьшается весьма незначительно.

Из всего разнообразия огнетушащих составов, применяющихся для тушения пожаров и испытанных нами ранее [5, 9, 10], в данной работе рассмотрены данные по 4 смачивателям и 4 пенообразователям, обладающим высокой (по 2 образца) и умеренной (по 2 образца) смачивающей способностью. Все они предназначены для тушения пожаров класса А, к которым относится и тушение ЛГМ.

Жидкие – СП-01, ТПМ, Атомик и твёрдый «Ливень-ТС» (таблетки для ранцевого лесного огнетушителя) смачиватели представляют собой (за исключением Атомика) смеси анионных и неионогенных поверхностно-активных веществ (по ГОСТ Р 50588-2012 относятся к

классу WA).

Из пенообразователей для тушения пожаров нами испытывались ПО-НСВ, ПО-6ТС «Файрэкс» и Ansul SILV–EX. Первые два, а также смачиватель Атомик являются смесью анионных поверхностно-активных веществ с добавками вспомогательных химических соединений – как правило, антифризов-гликолей, карбамида и смачивающих соединений (по ГОСТ Р 50588-2012 относятся к классу S). Пенообразователи «Файрэкс» и Ansul SILV–EX представляют собой пенообразующие композиции на основе алкилсульфатов или алкилсульфонатов. Их смачивающие свойства усилены путём введения в состав специальных высокоэффективных компонентов (по ГОСТ Р 50588-2012 относятся к двум классам – WA и S).

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 приведены результаты определения поверхностного натяжения растворов перечисленных составов в зависимости от их концентрации.

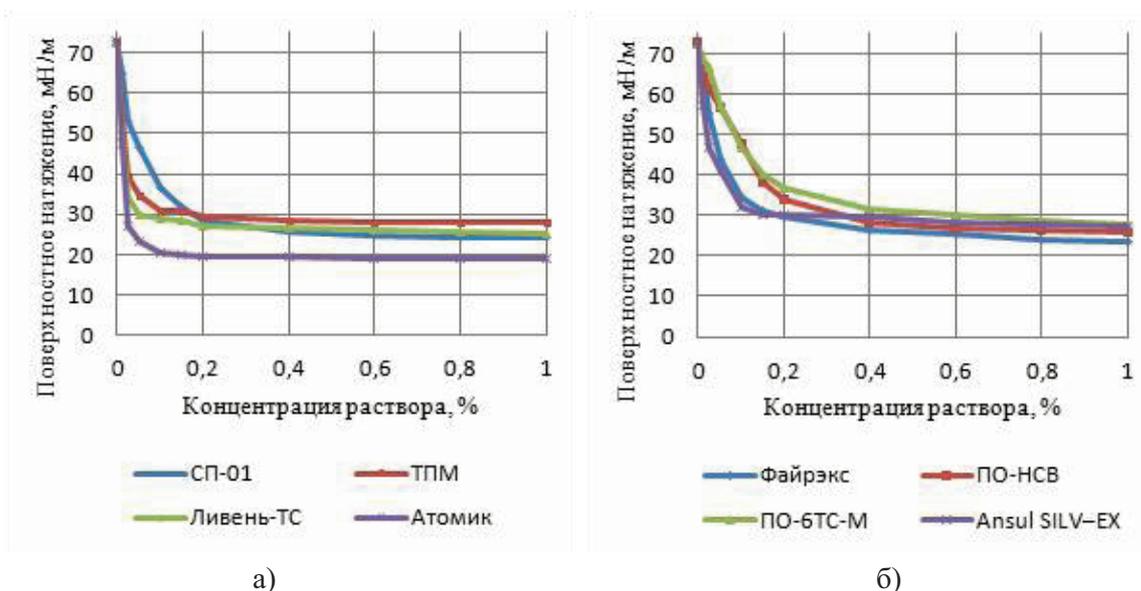


Рис. 2. Поверхностное натяжение растворов смачивателей (а) и пенообразователей (б) в зависимости от концентрации

Анализ полученных данных, а также результатов ранее проведенных исследований [4, 5, 9, 10], показывает, что жидкие и твердые смачиватели резко снижают поверхностное натяжение растворов при концентрации до 0,2%, а пенообразователи до 0,4%. Дальнейшее увеличение насыщенности растворов практически не уменьшает поверхностного натяжения. Из всех

исследованных составов наиболее эффективным является смачиватель Атомик. Необходимо отметить, что весьма существенным его недостатком является высокая стоимость. Это относится и к импортным пенообразователям.

Время смачивания разных видов ЛГМ при различной концентрации растворов исследуемых составов приведено в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Время смачивания разных видов ЛГМ растворами смачивателей  
в зависимости от концентрации

Марка состава	Время смачивания ЛГМ (с) при различной концентрации растворов									
	0,0125%	0,025%	0,05%	0,1%	0,15%	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	1,0%
Зелёный мох										
СП-01	940	900	525	220	134	70	26	9	8	7
ТПМ	1470	685	321	176	115	84	45	42	38	35
«Ливень-ТС» (таблетка для РЛО)	630	470	275	115	45	42	35	28	20	16
Атомик	124	42	31	10	8	7	5	4	3	2
Вода (контроль)	28 мин									
Лишайник										
СП-01	–	–	–	3530	1765	805	270	95	35	27
ТПМ	–	–	3015	1800	970	445	195	120	105	95
«Ливень-ТС» (таблетка для РЛО)	–	–	–	2665	1060	525	110	90	65	37
Атомик	1875	410	65	22	14	9	5	4	3	3
Вода (контроль)	более 24 ч									
Лесная подстилка										
СП-01	–	–	–	1800	735	340	75	21	9	8
ТПМ	–	–	855	325	240	195	140	100	80	65
«Ливень-ТС» (таблетка для РЛО)	–	–	–	820	690	268	97	56	26	23
Атомик	595	97	20	8	6	5	3	2	2	2
Вода (контроль)	более 24 ч									
Торф										
СП-01	–	–	–	–	1413	250	46	23	12	7
ТПМ	–	–	860	600	390	230	115	75	59	55
«Ливень-ТС» (таблетка для РЛО)	–	–	–	1020	550	288	53	42	30	29
Атомик	–	–	970	37	28	21	7	6	5	3
Вода (контроль)	Не смачивает в течение нескольких суток									

Примечание. Прочерк означает, что время смачивания навески превышает 1 час.

Таблица 2

Время смачивания разных видов ЛГМ растворами пенообразователей  
в зависимости от концентрации

Марка состава	Время смачивания ЛГМ (с) при различной концентрации растворов									
	0,0125%	0,025%	0,05%	0,1%	0,15%	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	1,0%
Зелёный мох										
Файрэкс	150	140	130	110	95	65	32	20	16	12
ПО-НСВ	203	196	185	161	135	105	47	27	18	13
ПО-6ТС-М	20	17	12	10	10	9	8	6	6	5
Ansul SILV-EX	195	185	170	80	60	50	33	24	16	13
Вода (контроль)	28 мин									
Лишайник										
Файрэкс	-	-	-	3375	1695	650	165	53	40	33
ПО-НСВ	-	-	-	-	-	3350	785	90	50	35
ПО-6ТС-М	-	-	-	-	-	-	-	105	87	33
Ansul SILV-EX	-	-	-	-	-	3455	120	76	37	32
Вода (контроль)	более 24 ч									
Лесная подстилка										
Файрэкс	-	-	-	-	2350	810	120	35	25	24
ПО-НСВ	1630	1360	1185	860	570	410	130	34	19	16
ПО-6ТС-М	-	-	-	-	2760	630	135	43	30	20
Ansul SILV-EX	-	-	-	3270	2790	2580	87	37	31	21
Вода (контроль)	более 24 ч									
Торф										
Файрэкс	-	-	-	3300	1210	445	155	100	22	15
ПО-НСВ	-	-	-	-	-	-	2490	1170	490	176
ПО-6ТС-М	-	-	-	-	-	-	1500	1215	615	325
Ansul SILV-EX	-	-	-	-	-	-	2580	235	125	46
Вода (контроль)	Не смачивает в течение нескольких суток									

Примечание. Прочерк означает, что время смачивания навески превышает 1 час.

Полученные результаты показывают, что время смачивания всех видов ЛГМ уменьшается с увеличением концентрации растворов. Большинство составов быстрее всего увлажняется зелёный мох, имеющий наиболее пористую поверхность. Медленнее чем подстилка или торф смачивается лишайник, имеющий на своей поверхности плотную водоотталкивающую кутикулу. Из всех исследованных составов наибольшую эффективность проявил Атомик, который показал результаты в разы, а в некоторых вариантах на два порядка отличающиеся от других смачивающих

составов. Смачиватели увлажняют ЛГМ быстрее, чем пенообразователи.

В рассмотренной группе пенообразователей наибольшую эффективность при смачивании зелёного мха показал состав ПО-6ТС-М. Однако в опытах с остальными ЛГМ этот пенообразователь оказался менее эффективным, чем другие составы этого класса.

В целом наиболее трудно смачиваемым ЛГМ для подавляющего большинства составов является торф. Это объясняется тем, что при высокой температуре происходит процесс раз-

ложения битумов, содержащихся в нем. При этом выделяются парообразные парафины, которые при контакте с верхними холодными слоями торфа обволакивают мелкие частицы водонепроницаемой плёнкой. Парафинированный таким образом торф не смачивается водой, что наряду с его высокой теплопроводной способностью создаёт большие трудности в ликвидации торфяных пожаров.

Для наглядности ниже показан графически характер изменения исследуемых харак-

теристик при увеличении концентрации растворов двух из исследованных составов – смачивателя Атомик (рис. 3) и пенообразователя Файрэкс (рис. 4). Из рисунка хорошо видно – несмотря на то, что поверхностное натяжение растворов после определённой концентрации практически не снижается, время смачивания продолжает уменьшаться и стремится к минимуму для всех видов ЛГМ. Аналогичная картина наблюдается и у пенообразователей.

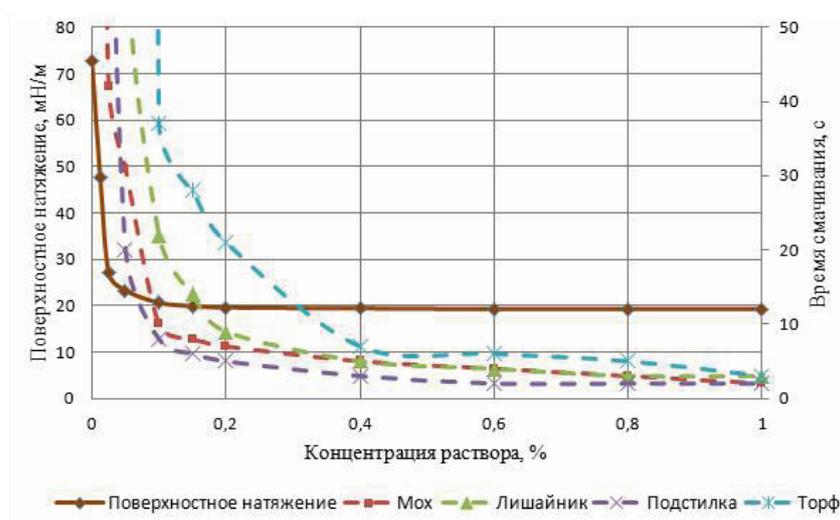


Рис. 3. Время смачивания ЛГМ и поверхностное натяжение раствора смачивателя Атомик при различной концентрации

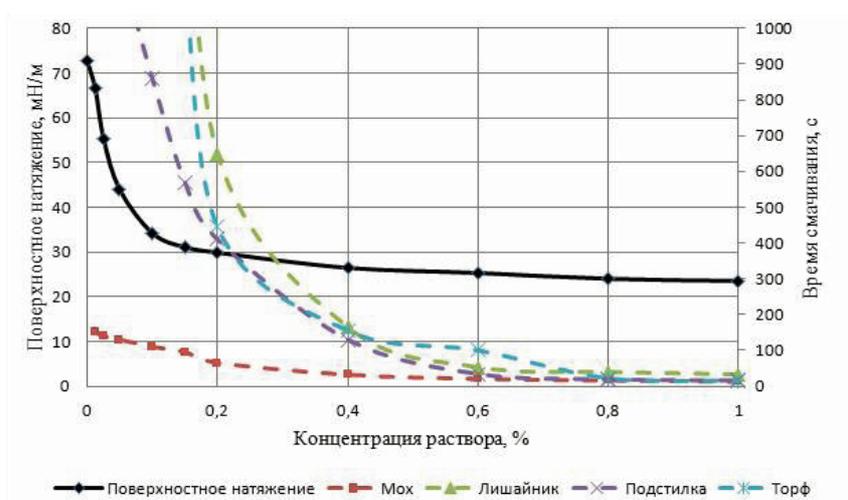


Рис. 4. Время смачивания ЛГМ и поверхностное натяжение раствора пенообразователя Файрэкс при различной концентрации

Одним из параметров, позволяющих провести сравнительную оценку смачивающей способности растворов ПАВ, является массовая скорость смачивания ЛГМ – отношение массы

смоченного ЛГМ ко времени, за которое эта масса намочла. Методика проведения опытов позволяет определить эту величину (рис. 5 и 6).

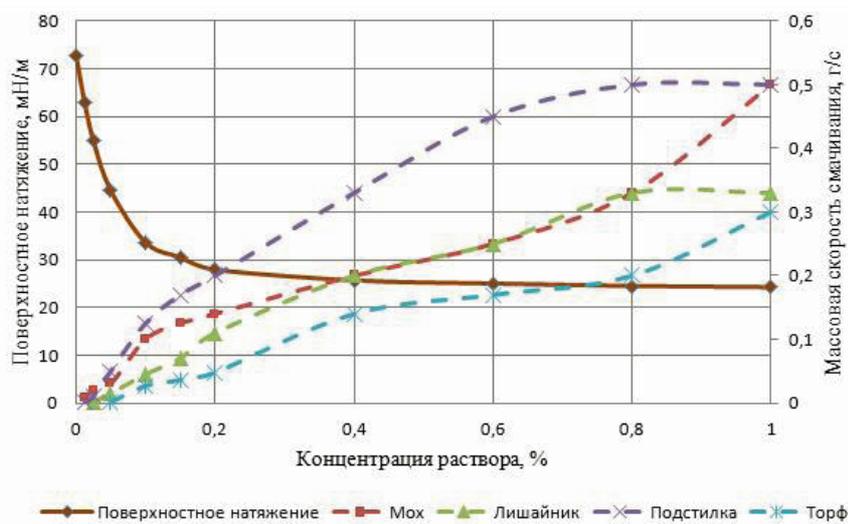


Рис. 5. Скорость смачивания ЛГМ и поверхностное натяжение раствора смачивателя Атомик при различной концентрации

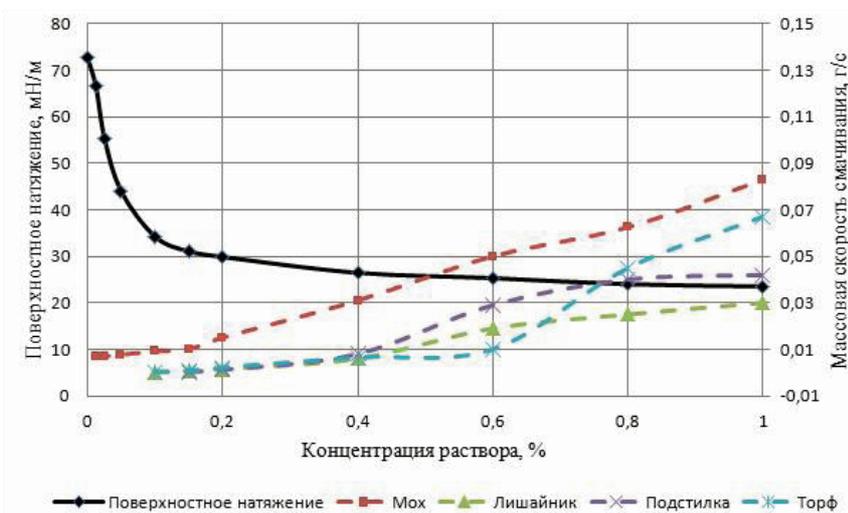


Рис. 6. Скорость смачивания ЛГМ и поверхностное натяжение раствора пенообразователя Файрэкс при различной концентрации

Из рисунков 5 и 6 видно, что при низкой концентрации растворов (менее 0,05%) скорость смачивания ЛГМ, как у смачивателей, так и у пенообразователей мала и составляет, например, для зелёного мха менее 0,03 г/с.

Постепенное увеличение концентрации раствора приводит к нарастанию скорости смачивания. Аналогичная картина наблюдается и при пропитке ткани раствором ПАВ [7]. При увеличении концентрации самого эффектив-

ного по исследуемым характеристикам состава Атомик от 0,1% до 1,0% массовая скорость смачивания ЛГМ возрастает в 17 раз (от 0,03 до 0,5 г/с).

Одной из задач данной работы являлось установление зависимости между величиной

поверхностного натяжения растворов и временем смачивания ЛГМ. На рисунке 7 представлены данные о времени смачивания зелёного мха при различном поверхностном натяжении исследуемых растворов, на рисунке 8 приведены аналогичные данные для торфа.

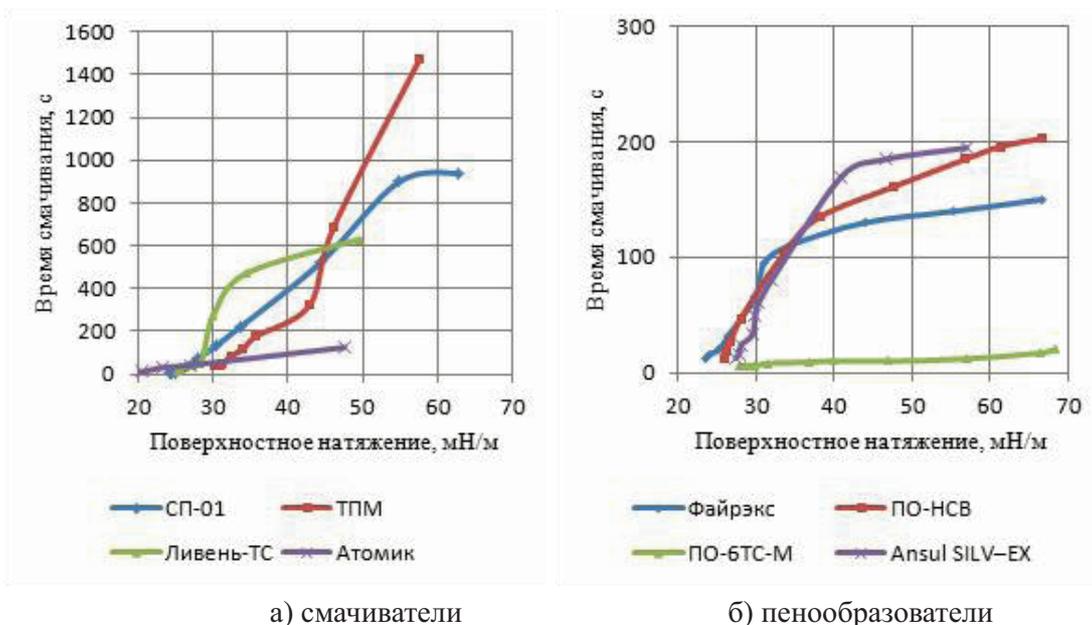


Рис. 7. Время смачивания зелёного мха в зависимости от величины поверхностного натяжения растворов

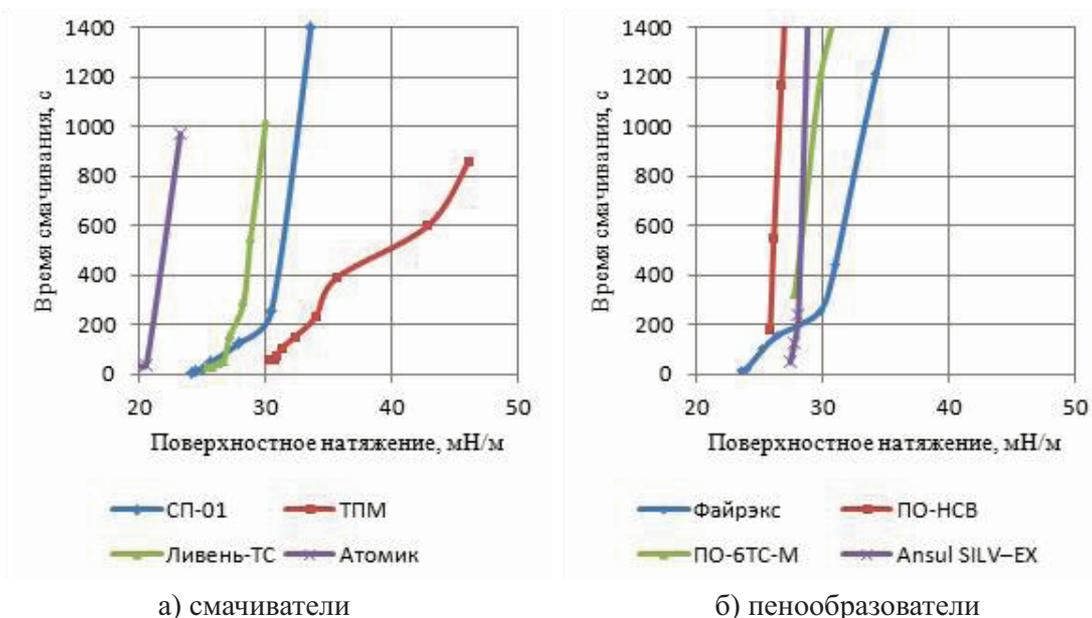


Рис. 8. Время смачивания торфа в зависимости от величины поверхностного натяжения растворов

Как видно из рисунков 7 и 8, зависимость времени смачивания от величины поверхностного натяжения у различных составов имеет сходный характер. Причём при смачивании такого гидрофобного материала, как торф, зависимость изменения времени смачивания от величины поверхностного натяжения выражена более интенсивно, чем при смачивании зелёного мха. Так, например, для пенообразователя Ansul SILV-EX снижение поверхностного натяжения раствора на 2 единицы (с 27,45 до 29,53 мН/м) увеличивает время смачивания торфа в 56 раз (с 46 с до 43 мин).

При смачивании зелёного мха увеличение поверхностного натяжения на такую же величину приводит к возрастанию времени смачивания всего в 2,2 раза (с 13 до 33 с).

Таким образом, проведенные исследования ещё раз подтвердили вывод, сделанный другим исследователями и нами ранее [4-6, 9, 10] – при одинаковом поверхностном натяжении время смачивания одного вида ЛГМ растворами различных составов может отличаться на порядок и более (табл. 3).

Таблица 3

Диапазон изменения времени смачивания зелёного мха смачивателями и пенообразователями при одинаковом поверхностном натяжении их растворов

Поверхностное натяжение растворов ПАВ, мН/м	Диапазон изменения времени смачивания, с
25	9-36
30	7-275
35	9-480
40	10-535
45	10-585
50	11-965
55	12-1300
60	15-1525

Этот факт объясняется тем, что для каждого химического состава, снижающего поверхностное натяжение воды, при его разработке в качестве основы используются ПАВ различной природы. К сожалению, разработчики и изготовители огнетушащих составов с целью соблюдения коммерческой тайны в подавляющем большинстве случаев не разглашают информацию о входящих в них компонентах и их весовом соотношении. Отсутствие точных данных о химическом составе исследованных ПАВ не позволяет в настоящее время установить обобщающую зависимость между поверхностным натяжением раствора и временем смачивания ЛГМ. Для этого необходимо проведение дополнительных исследований совместно с разработчиками и производителями ОС.

#### Заключение

Проведенные исследования позволили полу-

чить в лабораторных условиях и проанализировать численные данные о поверхностном натяжении растворов различной концентрации некоторых наиболее распространённых смачивателей и пенообразователей, а также определить время смачивания основных видов ЛГМ – зелёного мха, лишайника, лесной подстилки и торфа при разных концентрациях этих растворов. Определена скорость смачивания ЛГМ исследуемыми растворами. Результаты оценки смачивающей способности растворов огнетушащих составов являются основой для определения их рабочих концентраций тушении лесных, особенно торфяных и подстильно-гумусовых пожаров. Полученные результаты могут быть полезны разработчикам новых высокоэффективных и недорогих смачивателей, применение которых позволит снизить время и расходы на тушение лесных пожаров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арцыбашев, Е.С. Лесные пожары и борьба с ними / Е.С. Арцыбашев. – М.: Лесная пром-сть, 1974. – 150 с.
2. Арцыбашев, Е.С. Химические методы борьбы с лесными пожарами / Е.С. Арцыбашев, В.Г. Лорбербаум. – М.: ЦБНТИлесхоза, 1972. – 48 с.
3. Былинкин, В.А. Определение критической интенсивности подачи воды и раствора смачивателя при тушении резины / В.А. Былинкин // Пожаротушение: сб. науч. тр. – М.: ВНИПО, 1986. – С. 68-72.
4. Гуцев, Н.Д. Методика оценки смачиваемости лесных горючих материалов огнетушащими составами / Н.Д. Гуцев, Н.В. Михайлова, И.Ю. Корчунова // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Вып. 74. – Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2014. – С. 524-534.
5. Гуцев, Н.Д. Результаты лабораторных исследований свойств новых огнетушащих составов / Н.Д. Гуцев, Н.В. Михайлова, И.Ю. Корчунова // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: Материалы III Международной научно-практической конференции, 22-24 мая 2013 г., Санкт-Петербург, Рослесхоз, ФБУ «СПбНИИЛХ». Ч. 1. – СПб.: ФБУ «СПбНИИЛХ», 2013. – С. 163-170.
6. Казаков, М.В. Применение смачивателей для тушения пожаров / М.В. Казаков, П.Г. Демидов. – М.: Стройиздат, 1964. – 55 с.
7. Корольченко, Д.А. Тушение пламени гидрофобных материалов водными растворами смачивателей / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 3. – С. 61-67.
8. Медведев, П.И. Физическая и коллоидная химия / П.И. Медведев. – М.: Сельхозгиз, 1954. – 270 с.
9. Михайлова, Н.В. Лабораторные исследования новых смачивателей и пенообразователей с целью оценки возможности и эффективности использования их для тушения лесных пожаров / Н.В. Михайлова, Н.Д. Гуцев, И.Ю. Корчунова // Инновации и технологии в лесном хозяйстве 2014: Материалы IV Международной научно-практической конференции, 27-28 мая 2014 г., Санкт-Петербург, ФБУ «СПбНИИЛХ». – СПб.: ФБУ «СПбНИИЛХ», 2014. – С. 83.
10. Михайлова, Н.В. Результаты лабораторных исследований свойств новых огнетушащих составов для борьбы с лесными пожарами / Н.В. Михайлова, Н.Д. Гуцев // Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 4. – С. 33-39.

REFERENCES

1. Arcybashev, E.S. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi / E.S. Arcybashev. – M.: Lesnaya prom-st', 1974. – 150 s.
2. Arcybashev, E.S. Himicheskie metody bor'by s lesnymi pozharemi / E.S. Arcybashev, V.G. Lorberbaum. – M.: CBNTIleskhoz, 1972. – 48 s.
3. Bylinkin, V.A. Opredelenie kriticheskoy intensivnosti podachi vody i rastvora smachivatelya pri tushenii reziny / V.A. Bylinkin // Pozharotushenie: sb. nauch. tr. – M.: VNNIPO, 1986. – S. 68-72.
4. Gucev, N.D. Metodika ocenki smachivaemosti lesnyh goryuchih materialov ognetushashchimi sostavami / N.D. Gucev, N.V. Mihajlova, I.Yu. Korchunova // Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sb. nauch. tr. IL NAN Belarusi. Vyp. 74. – Gomel': Institut lesa NAN Belarusi, 2014. – S. 524-534.
5. Gucev, N.D. Rezul'taty laboratornyh issledovanij svojstv novyh ognetushashchih sostavov / N.D. Gucev, N.V. Mihajlova, I.Yu. Korchunova // Innovacii i tekhnologii v lesnom hozyajstve: Materialy III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 22-24 maya 2013 g., Sankt-Peterburg, Rosleskhoz, FBU «SPbNIILH». Ch. 1. – SPb.: FBU «SPbNIILH», 2013. – S. 163-170.
6. Kazakov, M.V. Primenenie smachivatelej dlya tusheniya pozharov / M.V. Kazakov, P.G. Demidov. – M.: Strojizdat, 1964. – 55 s.

7. Korolchenko, D.A. Tushenie plameni gidrofobnyh materialov vodnymi rastvorami smachivatelej / D.A. Korolchenko, A.F. Sharovarnikov // Pozharovzryvobezopasnost'. – 2015. – T. 24. – № 3. – S. 61-67.
8. Medvedev, P.I. Fizicheskaya i kolloidnaya himiya / P.I. Medvedev. – M.: Sel'hozhgiz, 1954. – 270 s.
9. Mihajlova, N.V. Laboratornye issledovaniya novyh smachivatelej i penoobrazovatelej s cel'yu ocenki vozmozhnosti i ehffektivnosti ispol'zovaniya ih dlya tusheniya lesnyh pozharov / N.V. Mihajlova, N.D. Gucev, I.Yu. Korchunova // Innovacii i tekhnologii v lesnom hozyajstve 2014: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, 27-28 maya 2014 g., Sankt-Peterburg, FBU «SPbNIIILH». – SPb.: FBU «SPbNIIILH», 2014. – S. 83.
10. Mihajlova, N.V. Rezul'taty laboratornyh issledovanij svojstv novyh ognetyashchih sostavov dlya bor'by s lesnymi pozharemi / N.V. Mihajlova, N.D. Gucev // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. – 2014. – № 4. – S. 33-39.