DOI 10.21178/2079-6080.2016.2.57
УДК 630*432

Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолѐта

© В.Г. Гусев¹, А.М. Ерицов², Г.Н. Куприн³, Д.С. Куприн³,
В.Н. Степанов¹

The results of experimental investigations of parameters of the fire-barrier strips with the free discharge of fire extinguishing liquid from a helicopter

V.G. Gusev, V.N. Stepanov (Saint-Petersburg Forestry Research Institute)

A.M. Ericov ("Avialesoohrana")

G.N. Kuprin, D.S. Kuprin (Joint-Stock Company "NPO "SOPOT", Saint-Petersburg)

Presented and analyzed results of flight research of the parameters of the fire-barrier strips with the free discharge of fire extinguishing liquid from the helicopter MI-8MTV helicopters equipped with water drain device VSU-5A and metering system SDS-1, located on an external suspension bracket of helicopter. As an extinguishing fluid used aqueous solutions of foam PHOS-CHEK WD-881 (USA) and Fyrex (Russia), shaft SST-1 (Russia), flame retardant FR CROS T (Spain). To control the applied marine and fresh water. System application SDS-1 for dosed supply of chemical additives in VSU-5A opened up the possibility of the use of liquid extinguishing agents when laying the barrier strips in the woods. The advantages of the application of wetting agents and foaming agents (a wetting concentration of 0,5%) is that when administered in water, significantly decreases surface tension and increases wetting ability of the formed solution and, thereby, dramatically increase the depth and speed of his penetration into capillary-porous materials (e.g., forest litter and peat). When discharging the foam solution from the foam solution (1%) flame-retardant efficiency of the barrier strip is further enhanced due to the insulating action of the formed air-

mechanical foam. Solutions flame retardant, in addition to a good wetting of the forest floor, provide a long-term effect of protecting and basic strips (usually until the first heavy rain). In the end, flight studies in different forest and weather conditions, has allowed to establish that at a given threshold dosage extinguishing fluid in the wetted area, is equal to 1 l/m^2 , the optimal parameters of the barrier strip are achieved when the flight speed of the helicopter 60–80 km/h and the lowest possible (for safety reasons) altitude. It was also found that the dosage of fluid soaked the band in the forest is determined both by the speed and altitude of the helicopter, and the completeness of a forest stand, the direction and speed of wind. According to flight research, depending on these parameters, the obtained multivariable regression equation for the coefficient of penetration of merged liquids in the plant the ground cover.

Key words: fire retardant, a helicopter, a dosage of fluid, barrage band, forest fire, flying studies, localization of fire, foaming, draining, drain equipment, shaft

Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолѐта

В.Г. Гусев, А.М. Ерицов, Г.Н. Куприн, Д.С. Куприн, В.Н. Степанов

Представлены и проанализированы результаты лѐтных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолѐта МИ-8МТВ, оборудованного водосливным устройством ВСУ-5А и дозирующей системой СДП-1, расположенных на внешней подвеске вертолѐта. В качестве огнетушащей жидкости применялись водные растворы пенообразователей Фос-Чек ВД-881 (США) и Файрѐкс (Россия), смачивателя ТПМ-1 (Россия), антипирена FR CROS 134Т (Испания). Для контроля использовалась морская и пресная вода. Система СДП-1 для дозированной подачи химических добавок в ВСУ-5А открыла возможности использования жидких огнетушащих составов при прокладке заградительных полос в лесах. Преимущество смачивателей и пенообразователей (в смачивающей концентрации 0,5%) заключается в том, что при введении их в воду значительно уменьшается поверхностное натяжение и увеличивается смачивающая способность образовавшегося раствора, при этом резко возрастают глубина и скорость его проникновения в капиллярно-пористые материалы (например, в лесную подстилку и торф). При сливе раствора пенообразователя с пенообразующей концентрацией (более 1%) огнезадерживающая эффективность заградительной полосы ещё более усиливается за счёт изолирующего действия образующейся воздушно-механической пены. Растворы антипирена, кроме хорошего смачивания лесной подстилки, обеспечивают также долговременное действие заградительных и опорных полос (обычно до первого сильного дождя). В итоге лѐтные исследования в различных лесорастительных и метеорологических условиях позволили установить, что при заданной пороговой дозировке огнетушащей жидкости в смоченной зоне, равной 1 л/м^2 , оптимальные параметры заградительной полосы достигаются при скорости вертолѐта 60–80 км/ч и минимально возможной (по требованиям безопасности) высоте полѐта. Установлено также, что дозировка жидкости на смоченной полосе в лесу определяется как скоростью и высотой вертолѐта при сливе, так и полнотой древостоя, направлением и скоростью ветра. С учетом этих факторов по данным лѐтных исследований получено многопараметрическое уравнение регрессии для коэффициента проникновения слитой жидкости в растительный напочвенный покров.

Ключевые слова: антипирен, вертолѐт, дозировка жидкости, заградительные полосы, лесной пожар, лѐтные исследования, локализация пожара, пенообразователь, слив жидкости, сливное оборудование, смачиватель

Гусев Виталий Георгиевич — главный науч. сотр. отдела научно-технической информации,
д-р с.-х. наук, канд. техн. наук

E-mail: gusev.v.g@mail.ru

Ерицов Андрей Маркелович — заместитель начальника ФБУ «Авиалесоохрана»

E-mail: aviales@aviales.ru

Куприн Геннадий Николаевич — генеральный директор НПО «СОПОТ», канд. техн. наук

E-mail: sopot@sopot.ru

Куприн Денис Сергеевич — начальник лаборатории взрывопожаропредотвращения
НПО «СОПОТ»,

E-mail: dskuprin@mail.ru

Степанов Валерий Николаевич — гл. специалист НИО охраны и защиты леса

E-mail: valeri.spb@gmail.com

¹ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21

тел.: (812) 552-80-21, (812) 552-89-95

E-mail: mail@spb-niilh.ru

²ФБУ «Авиалесоохрана».

141207, Московская область, г. Пушкино, ул. Горького, д. 20.

Телефон/факс: (495) 993-31-25

E-mail: info@aviales.ru, aviales@aviales.ru

³НПО «СОПОТ»

196070, Санкт-Петербург, а/я 87. Тел/факс:(812) 464-61-41

E-mail: sopot@sopot.ru

Введение

С целью повышения эффективности заградительных полос, прокладываемых с помощью наиболее распространённого в России вертолётного водосливного устройства ВСУ-5А к вертолётам типа Ми-8МТВ и Ка-32, ФБУ «СПбНИИЛХ», ООО «Техноэкос» и

ФБУ «Авиалесоохрана» была разработана система дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1 [1-4, 7, 8]. Её основу составляет мягкая ёмкость из водонепроницаемой ткани, которая закреплена на внешней подвеске, выше замка водосливного устройства ВСУ-5А (рис. 1).

Рис. 1. Система дозированной подачи огнетушащих составов СДП-1

Ёмкость изготовлена из двух оболочек. Внешняя оболочка имеет продольный и кольцевой каркасы и является силовой, а внутренняя — водонепроницаемой. Дозированный слив жидкого огнетушащего состава из мягкой ёмкости СДП-1 в ёмкость ВСУ-5А осуществляется по рукаву под действием гидростатического избыточного давления, возникающего при обжатии мягкой ёмкости стропами в процессе заполнения водой ВСУ-5А. Для дозирования добавок жидкого огнетушащего состава применяется электроклапан, управляемый с

пульта дистанционного управления из кабины вертолёта. Пульт управления содержит таймер, расходомер и совмещён с пультом управления водосливным устройством ВСУ-5А.

Методика исследований

Лётные испытания и эксперименты со свободным сливом жидкости с вертолёта проводились в Петрозаводске (2003), в Геленджике (2011) и в Сургуте (2015).

Все сливы огнетушащей жидкости производились на заранее подготовленный контр-

ольно-измерительный полигон (КИП), с установленными на нём пробоотборниками. Методика оценки параметров создаваемой при сливе жидкости заградительной полосы была разработана ранее в ФБУ «СПбНИИЛХ» [2]. В соответствии с ней наземная бригада проводила замеры объёма жидкости, попавшей в пробоотборники, в качестве которых использовались стандартные (ГОСТ 5717.1-2003) стеклянные банки ёмкостью 1 литр. Жидкость или отстоявшаяся пена из пробоотборника выливалась в мерный сосуд, определялся её объём, результат заносился в протокол. По результатам измерений и известной площади входного сечения пробоотборника определялись параметры эффективных противопожарных заградительных полос (длина и ширина) — покрытых огнетушащей жидкостью или пеной с дозировкой не менее 1 л/м².

Впервые лётные испытания технологии прокладки противопожарных заградительных полос вертолётom Ми-8МТВ с водосливным

устройством ВСУ-5А и опытным образцом дозирующей системы СДП-1 на внешней подвеске проводились в 2003 г. на аэродроме «Пески» в г. Петрозаводске. В качестве огнетушащей жидкости применялись водные растворы пенообразователей Фос-Чек ВД-881 (США) и Файрэкс (Россия) с концентрацией 0,5%, оптимальной при их работе в качестве смачивателя. Для контроля использовалась вода.

В первой серии исследовательских испытаний в Петрозаводске водосливное устройство ВСУ-5А было настроено на забор воды в объёме 2 м³, а во второй — на 3 м³. Подача заданной дозы пенообразователя (10 л) производилась автоматически по команде оператора со сдвоенного пульта дистанционного управления ВСУ-5А СДП-1. Получение однородного раствора в ёмкости ВСУ-5А обеспечивалось через 1,5-2 мин после подачи пенообразователя за счет турбулентного движения в ней воды. Слив раствора пенообразователя Файрэкс показан рисунке 2 [1, 8].

Рис. 2. Слив раствора пенообразователя из вертолётного водосливного устройства ВСУ-5А в комплекте с системой СДП-1

Исследовательские полёты в Геленджике в 2011 г. выполнялись в прибрежной черте Голубой бухты при температуре и давлении наружного воздуха в диапазонах $(+8)-(+16)^\circ\text{C}$ и 753-765 мм рт. ст. соответственно, при видимости 8-12 км и нижней границе облачности более 500 м в условиях средней турбулентности, сопровождаемых кратковременными осадками и усилением ветра до 6-8 м/с, порывами — до 10-12 м/с.

Для выполнения исследований вертолёт был оснащён водосливным устройством ВСУ-5А и системой дозированной подачи огнетушащего состава СДП-1. Его масса находилась в пределах 9,0-11,0 т. Сливы огнетушащей жидкости выполнялись с зарифованной до 2,0 м³ ёмкостью ВСУ-5А и загрузкой СДП-1 до 200 кг на приборных скоростях до 100 км/ч при высотах нижнего среза ВСУ-5А над вершинами лесных участков не менее 10 м.

Лётные исследования параметров проти-

вожарных заградительных полос, создаваемых вертолётom Ми-8АМТ, оснащённым водосливным устройством ВСУ-5А и системой СДП-1, заправленной раствором смачивателя или антипирена, проводились в 2015 г. на территории Сургутского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа. Сливы проводились на расположенный на вырубке КИП, оборудованный пробоотборниками [5]. В ходе исследований были изучены параметры противопожарных заградительных полос, прокладываемых с воздуха этими растворами. При этом использовался новый высокоэффективный отечественный смачиватель ТПМ-1 с рабочей концентрацией 0,1%, разработанный научно-производственной фирмой «РИВТ» (г. Санкт-Петербург) и антипирен FR CROS 134Т (Испания) — на основе фосфорно-аммонийных солей с рабочей концентрацией 20% и специальной окраской для лучшей его идентификации на земле (рис. 3).

Рис. 3. Слив раствора антипирена FR CROS 134Т

Лётные эксперименты в Сургуте проводились при следующих погодных условиях: температура воздуха +14 °С, скорость ветра — 6 м/с, преобладающее направление ветра — 220°, давление воздуха — 753 мм рт. ст. Для всех сливов высота ВСУ-5А относительно земли составляла 30 м, скорость полёта — 60 км/ч, средний расход огнетушащей жидкости — 800 л/с. Последний слив производился на КИП, оборудованный в лесу (Сургутское

участковое лесничество, кв. 311, выдел 14, сосняк лишайниково-брусничный, 10С, возраст 140 лет, Н=15 м, D=22 см, полнота 0,7).

Результаты исследований и их обсуждение

Усреднённые результаты измерений параметров эффективной смоченной полосы (с дозировкой огнетушащей жидкости не менее 1 л/м²) в ходе лётных экспериментов в Петрозаводске представлены в таблице 1.

Таблица 1
Параметры эффективной полосы, смоченной водным раствором пенообразователя Файрэкс из ВСУ-5А, в зависимости от скорости вертолёт при фиксированной высоте полёта (Петрозаводск, 2003 г.)

Параметры эффективной смоченной полосы	Скорость полёта вертолёт, км/ч			
	50	60	70	80
Слив 1800-2000 л жидкости с вертолёт Ми-8Т				
Эффективная длина, м	45	55	65	75
Эффективная ширина, м	8,7	7,2	6,1	5,3
Средняя дозировка, л/м ²	3,3	2,7	2,3	2,0
Слив 2800-3000 л жидкости с вертолёт Ми-8МТВ				
Эффективная длина, м	50	60	70	80
Эффективная ширина, м	10,0	9,2	7,7	6,6
Средняя дозировка, л/м ²	4,4	3,7	3,1	2,7

Примечания.

1. Средняя дозировка раствора пенообразователя на эффективной смоченной полосе определялась путём усреднения данных с пробоотборников.
2. Параметры смоченной полосы приведены для высоты полёта вертолёт 50 м и длины внешней подвески 22 м.

Очевидно, что с увеличением скорости полёта вертолёт происходит удлинение смоченной полосы и уменьшение средних дозировок огнетушащей жидкости на ней.

С увеличением концентрации раствора пенообразователя до 1% и более начиналось пенообразование в ёмкости ВСУ-5А и во время слива раствора. При этом огнезащитные свойства полосы ещё более возрастали за счёт изолирующего действия образующейся пены. На рисунке 4 показана пенная полоса, созданная на лесном КИП, в результате слива раствора Файрэкса с концентрацией (более 1%).

Воздушно-механическая пена в зависи-

мости от погодных условий держится на заградительной полосе до 1-2 часов, постепенно разрушаясь и превращаясь в исходный раствор. При этом он стекает с деревьев на растительный напочвенный покров, дополнительно увлажняя лесную подстилку.

В таблице 2 приведены средние значения параметров заградительных полос, полученных на лесном КИП по результатам сливов раствора огнетушащего состава Файрэкс в смачивающей (0,5%) и пенообразующей (1%) концентрациях. В обоих случаях при сливе жидкости вертолёт летел на высоте 50 м, со скоростью 50 км/ч.

Рис. 4. Пенная заградительная полоса, проложенная в лесу путём слива с вертолѐта Ми-8Т водного раствора пенообразователя Файрѐкс

Таблица 2
Средние значения показателей сливов раствора Файрѐкс на лесной КИП и параметров заградительных полос при разных пороговых дозировках раствора (Петрозаводск, 2003 г.)

Показатели сливов и параметры заградительной полосы	Значения показателей сливов и параметров полосы		
	Пороговая дозировка, л/м ²	Концентрация раствора Файрѐкс, %	
		1,0	0,5
Время слива, с	-	4,2	4,3
Расход раствора при сливе, л/с	-	439	427
Длина полосы, м	0,1	55	60
	1,0	40	45
Ширина полосы, м	0,1	25	26
	1,0	13	12
Дозировка раствора на полосе, л/м ² :			
максимальная	-	3,4	3,1
средняя	0,1	1,0	1,0
	1,0	1,8	1,7
Объѐм раствора на полосе, л	0,1	872	905
	1,0	578	593

Примечание. Сливаемый из ВСУ-5А объѐм раствора Файрѐкс – 1800 л.

Из таблицы следует, что концентрация Файрѐкса на параметры заградительной полосы влияет незначительно и поэтому не требуется изменять настройку системы СДП-1 при переходе от раствора со смачивающими свойствами (0,5%) к пенообразующему (1%).

Кроме того, проведѐнные исследования показали, что на напочвенном покрове эффективной заградительной полосы лесного КИП оказалось только 50-55% от всего слитого объѐма раствора. Это объясняется потерями его в воздухе за сѣт дробления, сноса воз-

душными потоками и испарения, а также задержкой кронами древостоя. При фиксированных значениях скорости и высоты полёта вертолёт ощущаемое влияние на параметры заградительной полосы оказывают: скорость и направление ветра, а также объём свободно сливаемого раствора: с увеличением его с 2 до 3 м³ длина смоченного пятна возрастает в 1,5 раза, а потери огнетушащей жидкости в воздухе уменьшаются на 7-11%.

В процессе лётных исследований в Геленджике [6] в общей сложности было выполнено 32 слива морской воды, водных рас-

творов смачивателя ТПМ-1 и пенообразователя Файрэкс.

Распределение количества сливов при проведении экспериментов было следующим:

1) по полнотам сосняков: низкая (0,4) – 10, средняя (0,6) – 12, высокая (0,8) – 10;

2) по виду рабочей жидкости: вода без добавок – 7, раствор пенообразователя Файрэкс – 19, раствор смачивателя ТПМ-1 – 6.

Условия выполнения 32 сливов огнетушащей жидкости представлены в таблице 3, а их результаты – в таблице 4.

Таблица 3

Условия выполнения сливов огнетушащей жидкости (Геленджик, 2011 г.)

№	Полнота древостоя	$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{мм рт. ст.}$	$B, \%$	$W, \text{м/с}$	Вид жидкости	$K, \%$	$V, \text{км/ч}$	$H, \text{м}$
1	0,6	16	756	68	4	Вода	0	60	20
2	0,4	16	756	68	3	Вода	0	60	20
3	0,8	15	757	68	3	Вода	0	60	20
4	0,6	11	758	75	4	Файрэкс	0,35	60	20
5	0,4	11	758	75	4	Файрэкс	0,35	60	20
6	0,8	11	758	76	4	Файрэкс	0,35	60	20
7	0,6	11	758	76	4	Файрэкс	0,35	60	30
8	0,8	11	759	76	4	Файрэкс	0,35	80	30
9	0,4	11	759	77	4	Файрэкс	0,35	100	30
10	0,6	10	760	80	5	Файрэкс	0,35	60	10
11	0,4	10	760	80	5	Файрэкс	0,35	60	20
12	0,8	10	760	80	5	Файрэкс	0,35	60	20
13	0,6	10	760	81	5	Вода	0	60	10
14	0,4	10	760	81	5	Вода	0	60	20
15	0,8	10	760	81	5	Вода	0	60	20

16	0,6	10	760	81	5	Вода	0	60	20
17	0,6	5	768	70	7	ТПМ-1	0,05	60	20
18	0,4	5	768	70	7	ТПМ-1	0,05	60	20
19	0,8	6	768	70	7	ТПМ-1	0,05	60	20
20	0,6	6	768	70	7	ТПМ-1	0,05	60	30
21	0,4	6	768	69	7	ТПМ-1	0,05	80	30
22	0,8	6	768	69	7	ТПМ-1	0,05	100	30
23	0,6	8	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	60	20
24	0,4	8	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	60	20
25	0,8	8	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	60	20
26	0,6	8	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	100	30
27	0,4	7	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	60	30
28	0,8	7	769	67	6	Фай-рэкс	0,70	80	30
29	0,6	5	769	75	5	Фай-рэкс	1,00	60	20
30	0,4	5	769	75	5	Фай-рэкс	1,00	60	20
31	0,8	6	769	75	5	Фай-рэкс	1,00	60	20
32	0,6	6	769	75	5	Фай-рэкс	2,00	60	20

Примечание. H – высота сопла ВСУ-5А над землёй при сливе, м; K – концентрация раствора, %; V – приборная скорость вертолёта при сливе, км/ч; B – влажность воздуха, %; W – скорость ветра, м/с; T – температура воздуха, °C; P – давление воздуха, мм рт. ст.

Таблица 4
Результаты сливов огнетушащей жидкости из ВСУ-5А с системой СДП-1 (Геленджик, 2011 г.)

№	P	V , км/ч	H , м	t , с	W_0 , л	Kw	qc , л/м²	$q=0,8$ л/м²		$q=1,5$ л/м²	
								Lq , м	Pq , м	Lq , м	Pq , м
1	0,6	60	20	3,3	1477	0,739	6,79	65	7,5	55	4,3
2	0,4	60	20	3,2	1537	0,769	4,88	45	7,9	35	6,6
3	0,8	60	20	3,3	1424	0,712	3,77	60	10,3	40	4,8
4	0,6	60	20	3,2	1665	0,833	8,14	75	7,7	65	6,2
5	0,4	60	20	3,2	1678	0,839	3,49	60	11,3	40	6,3
6	0,8	60	20	3,2	1605	0,802	3,49	65	11,2	50	8,0

7	0,6	60	30	3,6	1612	0,806	3,95	60	12,5	45	8,7
8	0,8	80	30	3,5	1601	0,801	3,49	65	11,2	50	8,0
9	0,4	100	30	3,5	1536	0,768	4,65	80	9,0	70	7,1
10	0,6	60	10	3,8	1547	0,774	11,16	50	7,6	50	6,0
11	0,4	60	20	3,7	1679	0,839	7,91	50	9,6	40	9,3
12	0,8	60	20	3,7	1222	0,611	4,19	20	11,8	20	10,3
13	0,6	60	10	3,6	1502	0,751	10,00	65	8,9	55	6,0
14	0,4	60	20	3,8	1491	0,746	12,09	60	10,2	50	7,0
15	0,8	60	20	4,1	1627	0,814	10,47	40	9,9	40	8,0
16	0,6	60	20	3,7	1507	0,753	14,65	50	8,8	40	7,8
17	0,6	60	20	3,3	1301	0,651	8,84	40	11,6	35	8,6
18	0,4	60	20	3,4	1407	0,704	6,05	55	9,8	35	8,3
19	0,8	60	20	3,2	1240	0,620	9,53	45	9,1	35	7,4
20	0,6	60	30	3,2	1267	0,634	12,56	40	10,1	30	9,0
21	0,4	80	30	3,3	1361	0,681	5,12	60	7,0	50	5,6
22	0,8	100	30	3,2	1382	0,691	5,12	50	10,2	35	7,7
23	0,6	60	20	3,4	1495	0,747	6,98	40	13,3	35	10,9
24	0,4	60	20	3,5	1554	0,777	3,72	40	12,3	30	11,7
25	0,8	60	20	3,4	1418	0,709	5,81	70	9,0	45	8,0
26	0,6	100	30	3,4	1475	0,738	4,19	50	12,7	45	8,2
27	0,4	60	30	3,4	1804	0,902	4,65	55	14,2	45	9,8
28	0,8	80	30	3,6	1372	0,686	6,51	50	10,8	35	7,7
29	0,6	60	20	3,8	1421	0,710	6,74	45	7,3	35	7,4
30	0,4	60	20	3,7	1457	0,729	9,07	40	11,0	35	7,1
31	0,8	60	20	3,8	1389	0,694	5,81	60	9,8	45	7,1
32	0,6	60	20	3,7	1417	0,708	8,14	45	6,9	40	6,3

Примечание. P – полнота древостоя; V – скорость вертолёта при сливе жидкости, км/ч; H – высота сопла ВСУ-5 над землей при сливе, м; t – время слива жидкости, с; W_0 – объём слитой жидкости, л; K_w – отношение объёма жидкости в полосе к слитому объёму жидкости; q_c – средняя дозировка жидкости на полосе по данным с пробоотборников, л/м²; q – заданная пороговая дозировка жидкости на полосе, л/м²; Lq – эффективная длина смоченной полосы (длина смоченной полосы с заданной пороговой дозировкой q), м; Pq – эффективная ширина смоченной полосы (ширина смоченной полосы с заданной пороговой дозировкой q), м.

Анализ полученных результатов позволил выделить некоторые характерные особенности. Установлена стохастическая связь дозировки жидкости на смоченной

полосе в лесу с режимом полёта вертолёта при сливе жидкости и внешними условиями. При этом наряду со скоростью и высотой полёта вертолёта наибольшую роль

играют полнота древостоя и скорость ветра. По данным таблиц 3 и 4 получено многопараметрическое уравнение регрессии

$$K_w = 0,97 - 0,147 P - 0,0005 V - 0,0024 H - 0,031 W,$$

где W – величина скорости ветра в зоне выполнения слива, м/с.

Полученное выражение имеет достаточно высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,454$, то есть прямо учитывает около половины значимых влияний и, несмотря на стохастическую природу осаджения и проникновения слитой жидкости под полог леса, может быть использовано для оценки влияния режимов слива на величину K_w и выбора необходи-

мых технологических параметров. для коэффициента проникновения K_w в напочвенный покров слитой жидкости. Оно имеет вид [6]:

На рисунке 4 показаны расчетные (по указанной выше зависимости) степени проникновения огнетушащей жидкости K_w от полноты древостоя сосняков для разных технологических режимов полёта при сливе (№ 1 – $V = 60$ км/ч; $H = 20$ м; № 2 – то же при $H = 30$ м; № 3 – при $H = 40$ м; № 4 – $H = 50$ м).

Рис. 4. Расчетная зависимость коэффициента проникновения жидкости от полноты древостоя, режимов слива и скорости ветра [6]

Как видно из результатов исследований, для заданного режима полёта во время слива при увеличении полноты сосняков и скорости ветра происходит снижение относительного количества жидкости на смоченной полосе. Для повышения эффективности использования сливаемой жидкости при прокладке за-

градительных противопожарных полос целесообразно выполнять сливы из ВСУ-5А при малых скоростях и высотах полёта, но, безусловно, с учетом требований, накладываемых правилами безопасности.

В ходе выполненных исследований были получены и некоторые другие полезные ре-

зультаты. В частности было установлено, что вертолётная дозирующая система на внешней подвеске имеет неоспоримые преимущества перед внутрифюзеляжным образцом, так как не требует для своей установки демонтажа дополнительного топливного бака, не занимает места в грузовой кабине вертолёта и исключает загрязнение ее химикатом. Она полностью адаптирована к серийной системе ВСУ-5А, меньше по весу и ниже по стоимости, проста в управлении и надежна в эксплуатации. Подготовка к вылету на пожар предельно упрощается, так как сводится лишь к заправке мягкой ёмкости химикатом и установке рифления

ВСУ-5А на требуемый объем воды, зависящий от полезной грузоподъемности вертолёта.

В ходе выполненных исследований также было установлено, что перенос ёмкости с пенообразователем из грузовой кабины на внешнюю подвеску стабилизирует положение порожней ёмкости ВСУ-5А в полёте и исключает захлестывание ее на хвостовую балку вертолёта. Таким образом, применение дозирующей системы СДП-1 ещё и повышает уровень безопасности полётов при тушении лесных пожаров с воздуха.

Результаты лётных исследований в Сургуте представлены в таблице 5.

Таблица 5

Результаты лётных исследований (Сургут, 2015 г.)

Параметры	Номер слива						
	1	2	3	4	5	6	7
Высота слива, м	30	30	30	30	30	30	30
Скорость вертолёта при сливе, м	60	60	60	60	60	60	60
Огнетушащий агент	ТПМ-1			FR CROS 134T			
Концентрация раствора, %	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	20,0	20,0
Длина смоченной зоны, м	50	65	60	60	60	55	60
Ширина смоченной зоны, м	12	11	12	12	12	11	11
Средняя дозировка раствора, л/м ²	3,0	2,5	2,5	2,6	2,5	3,0	2,4

Выполненные в Сургуте сливы огнезадерживающих растворов из ВСУ-5А с системой СДП-1 на внешней подвеске вертолёта Ми-8АМТ показали (табл. 5), что средние дозировки огнетушащих растворов в смоченной зоне на земле превышают оптимальные значения. Это свидетельствует о том, что можно было несколько увеличить длину смоченного пятна путём увеличения скорости полёта при сливе до 70-80 км/ч.

Выводы

В целом проведённые лётные исследования со свободным сливом огнетушащей жидкости (Петрозаводск, 2003; Геленджик 2011; Сургут, 2015) в различных лесорастительных и метеорологических условиях позволили установить, что при заданной пороговой дозировке огнетушащей жидкости в смоченной зоне

равной 1 л/м², оптимальные параметры заградительной полосы достигаются при скорости полёта вертолёта 60-80 км/ч и минимально возможной (по требованиям безопасности) высоте полёта. Установлено также, что дозировка жидкости на смоченной полосе в лесу тесно связана как с режимом полёта вертолёта при сливе жидкости, так и с внешними условиями. Наибольшую роль из них играют полнота древостоя, направление и скорость ветра. По данным лётных исследований получено многопараметрическое уравнение регрессии для коэффициента проникновения слитой жидкости в напочвенный покров.

Дозировки огнетушащей жидкости на полосах, проложенных с воздуха растворами пенообразователей (в смачивающей концентрации) и смачивателей, почти не отличались друг от друга. Огнезадерживающая способность

заградительных полос, покрытых слоем пены толщиной до 10 см, в сравнении со смоченной полосой, существенно выше. Огнезащитный эффект пены еще более выражен при сбросе	раствора пенообразователя на лес, так как пена в этом случае покрывает кроны деревьев и предотвращает переход низового пожара в верховой.
--	---

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арцыбашев, Е.С. Вертолётная система дозированной подачи пенообразователя в водосливное устройство ВСУ-5А / Е.С. Арцыбашев, В.Г. Гусев, Э.П. Давыденко, А.Г. Судаков и др. // Лесное хозяйство. — 2005. — № 4. — С. 13-15.
2. Гусев, В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах / В.Г. Гусев. — СПб.: ФГУ «СПбНИИЛХ», 2005. — 199 с.
3. Гусев, В.Г. Перспективные методы борьбы с лесными пожарами с воздуха / В.Г. Гусев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: Труды СПбНИИЛХ. — Вып. 1(24). — Ч. 1. — СПб.: СПбНИИЛХ, 2011. — С. 223-229.
4. Гусев, В.Г. Перспективные наземные и авиационные технологии для борьбы с лесными пожарами / В.Г. Гусев, Е.С. Арцыбашев // Инновации и технологии в лесном хозяйстве: Материалы II Международной научно-практической конференции. — Санкт-Петербург, Ч. 1., ФБУ «СПбНИИЛХ». — СПб., 2012. — С. 197-204.
5. Отработка тактики и способов борьбы с лесными пожарами с помощью быстротвердеющей пены (СДКП-1): отчёт о НИР (заключ.) / ФБУ «СПбНИИЛХ», ООО «НПО СОПОТ»; рук. Гусев В.Г.; исполн.: Гусев Н.Д., Куприн Г.Н., Куприн Д.С., Ерицов А.М. [и др.]. — СПб., 2015. — 217 с. — Библиогр.: с. 204-208.
6. Разработка технологии и рекомендаций по применению смачивателей и пенообразователей при тушении лесных пожаров вертолётами с водосливными устройствами типа ВСУ-5А на внешней подвеске в зависимости от видов пожаров: отчёт о НИР (заключ.) / ОАО НПК «ПАНХ», ФГУ «СПбНИИЛХ», ФГУ «Авиалесоохрана», ООО «НПК ТехноСфера»; рук. Асовский В.П.; исполн.: Гусев В.Г., Ерицов А.М., Гусев Н.Д. [и др.]. — Краснодар, 2011. — 155 с. — Библиогр.: с. 152-155.
7. Пат. 2314974 Российская Федерация, В64D 1/16, А62С 13/78, В65D 1/32/. Устройство дозированной подачи жидких добавок в вертолётное водосливное устройство / Арцыбашев Е.С., Гусев В.Г., Иванов К.А., Кабацкий А.Я., Судаков А.Г.; заявитель и патентообладатель ФГУ «Санкт-Петербург. науч.-исслед. ин-т лесного хозяйства», — № 2005110566/11; заявл. 11.04.2005; опубл. 20.10.2006, Бюл. № 2. — 3 с.: ил. 4.
8. Eritsov, A.M. Development of aerial fire fighting technologies by the aerial forest fire center "Avialesookhrana" Russian Federation / A.M. Eritsov, V.G. Gusev, Y.S. Arcibashev, E.P. Davidenko, J.G. Goldammer // Proceedings of Fifth NRIFD Symposium — International Symposium on Forest Fire Protection. — Japan, Tokyo, 2005. — P. 274-281.

REFERENCES

1. Arcybashev, E.S. Vertolyotnaya sistema dozirovannoy podachi penoobrazovatelya v vodoslivnoye ustrojstvo VSU-5A / E.S. Arcybashev, V.G. Gusev, E.P. Davydenko, A.G. Sudakov i dr. // Lesnoe hozyajstvo. — 2005. — № 4. — S. 13-15.

2. Gusev, V.G. Fiziko-matematicheskie modeli rasprostraneniya pozharov i protivopozharnye bar'ery v sosnovykh lesakh / V.G. Gusev. — SPb.: FGU «SPbNIILH», 2005. — 199 s.
3. Gusev, V.G. Perspektivnye metody bor'by s lesnymi pozharemi s vozduha / V.G. Gusev // Innovacii i tekhnologii v lesnom hozyajstve: Trudy SPbNIILH. — Vyp. 1(24). — Ch. 1. — SPb.: SPbNIILH, 2011. — S. 223-229.
4. Gusev, V.G. Perspektivnye nazemnye i aviacionnye tekhnologii dlya bor'by s lesnymi pozharemi / V.G. Gusev, E.S. Arcybashev // Innovacii i tekhnologii v lesnom hozyajstve: Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. — Sankt-Peterburg, Ch. 1., FBU «SPbNIILH». — SPb., 2012. — S. 197-204.
5. Otrabotka taktiki i sposobov bor'by s lesnymi pozharemi s pomoshch'yu bystrotverdeyushchej peny (SDKP-1): otchyot o NIR (zaklyuch.) / FBU «SPbNIILH», ООО «NPO SOPOT»; ruk. Gusev V.G.; ispoln.: Gusev N.D., Kuprin G.N., Kuprin D.S., Ericov A.M. [i dr.]. — SPb., 2015. — 217 s. — Bibliogr.: s. 204-208.
6. Razrabotka tekhnologii i rekomendacij po primeneniyu smachivatelej i penoobrazovatelej pri tushenii lesnykh pozharov vertolyotami s vodoslivnymi ustrojstvami tipa VSU-5A na vneshej podveske v zavisimosti ot vidov pozharov: otchyot o NIR (zaklyuch.) / OAO NPK «PANH», FGU «SPbNIILH», FGU «Avialesookhrana», ООО «NPK TekhnoSfera»; ruk. Asovskij V.P.; ispoln.: Gusev V.G., Ericov A.M., Gusev N.D. [i dr.]. — Krasnodar, 2011. — 155 s. — Bibliogr.: s. 152-155.
7. Pat. 2314974 Rossijskaya Federaciya, B64D 1/16, A62C 13/78, B65D 1/32/. Ustrojstvo dozirovannoj podachi zhidkikh dobavok v vertolyotnoe vodoslivnoe ustrojstvo / Arcybashev E.S., Gusev V.G., Ivanov K.A., Kabackij A.YA., Sudakov A.G.; zayavitel' i patentoobladatel' FGU «Sankt-Peterb. nauch.-issled. in-t lesnogo hozyajstva», № 2005110566/11; zayavl. 11.04.2005 ; opubl. 20.10.2006, Byul. № 2. — 3 s. : il. 4.
8. Eritsov, A.M. Development of aerial fire fighting technologies by the aerial forest fire center "Avialesookhrana" Russian Federation / A.M. Eritsov, V.G. Gusev, Y.S. Arcibashev, E.P. Davidenko, J.G. Goldammer // Proceedings of Fifth NRIFD Symposium — International Symposium on Forest Fire Protection. — Japan, Tokyo, 2005. — P. 274-281.

Статья поступила в редакцию 10.02.2016.