

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОТЕРЬ ПРЕПАРАТА ИЗ МАТЕРИАЛА ПОКРЫТИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ КОНТАКТНОГО НАНЕСЕНИЯ ПЛАНТИЦИДА

А.А. КОТОВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾

kotov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Выполнен анализ работ по обоснованию материала покрытия рабочего органа в виде вращающегося барабана (валика) машины для химического ухода за лесными культурами контактным способом. Разработана и описана методика проведения лабораторных исследований потерь препарата из материала покрытия. Для экспериментов были выбраны три вида отечественных материалов покрытия барабана: войлок тонкошерстный для фильтров, ткань техническая капроновая и пенополиуретан листовой гладкий. При этом для этих видов материала проведен четырехфакторный эксперимент по В-плану. Целью его являлось получение зависимости количества потерь жидкости из единицы площади материала покрытия в виде многочлена второго порядка. Варьируемые факторы – ускорение, продолжительность действия сил инерции, начальная влажность материала и толщина покрытия. Результаты опытов показали, что особенно сильное влияние на потери в принятом диапазоне оказывает ускорение. На нижнем уровне варьирования факторов меньшие потери имеет войлок, на верхнем – ткань. Худшие показатели практически на всех уровнях (кроме 1, 3, 9 и 11 опытов) имеет пенополиуретан. Представлено экспериментальное подтверждение теоретических выводов в графической форме. Экспериментальные исследования подтверждают теоретические положения о характере и степени влияния на потери препарата указанных факторов. Результаты исследований позволяют в дальнейшем выбрать оптимальные параметры и режимы работы машины.

Ключевые слова: экология, контактное применение пестицидов, вращающийся барабан, лабораторные исследования, центробежная сила, объемная влажность, потери препарата.

К материалу покрытия рабочего органа в виде вращающегося барабана (валика) машины для химического ухода за лесными культурами контактным способом предъявляются следующие требования [1]:

- механическая прочность;
- абразивная стойкость;
- водоудерживающая способность;
- химическая стойкость;
- технологичность в изготовлении и обслуживании;
- низкая себестоимость.

Наиболее важным требованием с точки зрения исключения загрязнения окружающей среды является водоудерживающая способность, которая позволяет сокращать потери жидкого химиката из материала контактора машины при ее работе в условиях вырубки с наличием ударных нагрузок.

Исследованиями по созданию машин контактного типа для внесения химикатов и обоснованию материала покрытия контактора занимались за рубежом многие авторы [2–11]. Непосредственные результаты изучения возможности использования различных

материалов в качестве покрытия контактора приведены в работах зарубежных [2, 3, 6] и отечественных авторов [12–14].

В зарубежных неприводных типах устройств используются нейлоновые шнуры с армирующей проволокой внутри или с сердечником из сплетенной акриловой нити и армированные полиэфирным покрытием с алмазной оплеткой. Для транспортирования препарата по штангам в этих же устройствах может использоваться войлок. В ручных аппликаторах применяется поролон (пенополиуретан). В устройствах приводного типа в качестве покрытия валика может также использоваться нейлон с адсорбирующей подушкой.

В работе [9] в качестве покрытия рабочего органа машины для контактного нанесения гербицида изучались следующие материалы: нейлон, полиэстер, акрил. Основой этих материалов служат полиамидные, капролактамовые и гексаэтиленовые нити. Опыты показали, что наилучшими свойствами с точки зрения возможности применения в контактных машинах обладает нейлон.

Уровни факторов и интервалы их варьирования

The levels of factors and their varied intervals

Наименование	Фактор		Интервал варьирования	Уровень варьирования фактора		
	Обозначение натуральное	нормализованное		– 1	0	+ 1
Ускорение, м/с ²	<i>a</i>	<i>x</i> ₁	87	20	107	194
Продолжительность вращения, с	<i>t</i>	<i>x</i> ₂	60	30	90	150
Объемная влажность, %	<i>W</i>	<i>x</i> ₃	20	30	50	70
Толщина материала, мм	<i>δ</i>	<i>x</i> ₄	4	4	8	12

Влияние поверхностного натяжения и вязкости рабочего раствора гербицидов на его способность удерживаться в покрытии вращающегося валика и на равномерность обработки нежелательной древесной растительности изучено в работе [3].

В нашей стране наследованиями материала покрытий занимались в ВИЗРе [14] и в НПО ВИСХОМ [13].

В приведенных работах свойства материалов покрытия контактора изучены разрозненно и неполно.

Для определения потерь жидкости при работе машины с рабочим органом в виде вращающегося барабана нами были проведены лабораторные исследования [15–17]. На основании изучения литературных источников при исследовании материала были выбраны три вида отечественных материалов покрытия барабана: войлок тонкошерстный для фильтров, ткань техническая капроновая и пенополиуретан листовой гладкий. Все эти материалы обладают высоким водопоглощением. Полное водопоглощение их находится в пределах от 87 до 95 %. Образцы материала имели размеры 20×50 мм. Учитывая существующие конструкции машин [1–7], толщина образцов материала равнялась 4; 8 и 12 мм.

При этом был проведен четырехфакторный эксперимент по В-плану, целью которого было получение экспериментальной зависимости количества потерянного из единицы площади материала покрытия препарата от варьируемых факторов в виде множителя второго порядка [18]. Варьируемыми факторами были вырывающее ускорение *a*, продолжительность действия сил инерции *t*, начальная влажность материала *W* и толщина

покрытия *δ*. Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в табл. 1.

Факторы *x*₁–*x*₄ изменялись на трех уровнях, причем, уровни факторов были выбраны так, чтобы факторы имели реальную область определения.

В качестве жидкости использовалась вода, так как применяемые на практике водные растворы гербицида с концентрацией 1–10 % имеют близкие к ней свойства [19]. Кроме этого, вода обладает меньшими значениями вязкости и коэффициента поверхностного натяжения по сравнению с рабочими растворами гербицида, что обеспечивает при проведении исследований заведомо завышенные потери жидкости, т. е. повышает экологическую безопасность работы машины. Опыты выполнялись на экспериментальной установке на базе токарного станка ВК-4 (рис. 1).

Так как вырывающие силы, действующие на частицу препарата, находящуюся в материале покрытия, определяются ускорением, то они имитировались нормальным ускорением, возникающим при вращении шпинделя станка

$$a_n = \omega^2 R. \quad (1)$$

К нему добавлялось ускорение свободного падения *g*. Тогда суммарное ускорение равно

$$a = a_n + g. \quad (2)$$

Исходя из реальных условий эксплуатации полное ускорение изменялось от 20 до 194 м/с² [20, 21]. Полное ускорение устанавливалось за счет подбора соответствующих частоты вращения шпинделя и радиуса вращения образца. Влажность определялась весовым способом с точностью до 0,001 г. Для предотвращения потерь жидкости при взве-

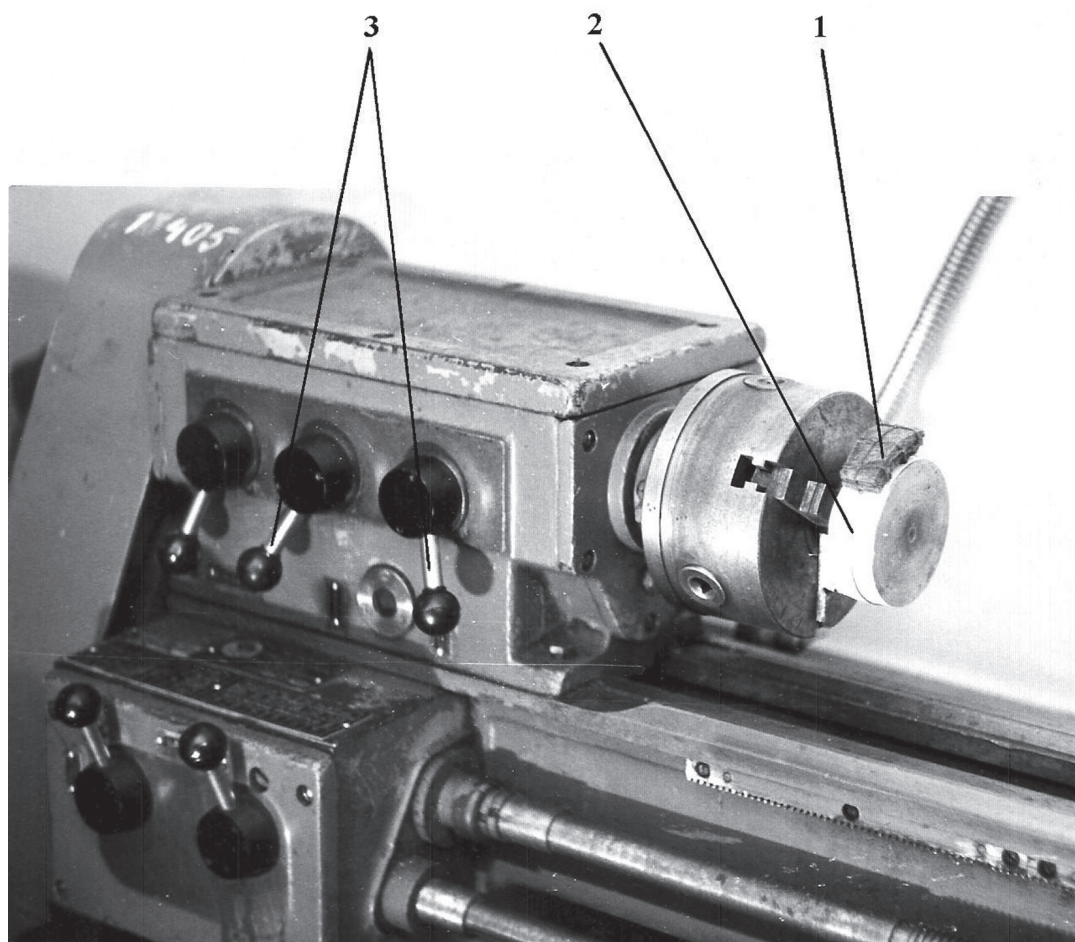


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования пористости материала покрытия контактора и потерь жидкости из него: 1 – образец материала, 2 – сменный диск, 3 – рукоятки установки частоты вращения шпинделя

Fig. 1. The experimental mechanism to study the porosity of the covering material of the contactor and the loss of liquid leakage: 1 – the material sample, 2 – replasment disk, 3 – a handle of setting up of a spindle

шивании за счет смачиваемости влажные образцы устанавливались на специальные подставки, покрытые парафином. Этот же прием применялся и при исследовании образцов на экспериментальной установке [14]. Влажность рассчитывалась по формуле

$$\frac{W}{100} = \frac{m_b - m_m}{m_m} \cdot \frac{\rho_m}{\rho_j}, \quad (3)$$

где m_m и m_b – соответственно масса сухого и смоченного образцов материала, г;

ρ_m и ρ_j – соответственно плотность сухого материала и жидкости, г/см³.

Верхний предел влажности равнялся 70 % [16].

Продолжительность вращения устанавливалась от момента поступления частицы жидкости на поверхность барабана до начала

контакта этого участка покрытия с сорной растительностью. Учитывая наличие на вырубке минерализованных участков, время на развороты и отсутствие в этот промежуток времени контакта барабана с растительностью, верхний уровень длительности воздействия вырывающих сил на частицу препарата был принят равным 150 с.

Значения отклика (потери жидкости с единицы площади) определялось по формуле

$$\Delta V_{sj} = \frac{m_{nj} - m_{kj}}{\rho_j \cdot S}, \quad (4)$$

где m_{nj} – начальная масса смоченного образца, г;

m_{kj} – конечная масса смоченного образца, г;

S – площадь образца, см², $S = 10$ см².

Значения коэффициентов регрессии в нормализованных обозначениях факторов
The values of regression coefficients in normalized notation factors

Обозначение коэффициента	Вид материала		
	войлок	ткань	пенополиуретан
b_0	2,2977	2,9716	3,4494
b_1	0,7147	0,3846	0,5460
b_2	0,2014	0,1444	0,0794
b_3	0,2330	0,5552	0,4926
b_4	0,2354	0,2532	0,2553
b_{11}	-0,0925	-0,2699	-0,5089
b_{22}	-0,1517	-0,0816	-0,0195
b_{33}	0,2038	-0,1887	-0,0465
b_{44}	0,0061	-0,0186	-0,0603
b_{12}	-0,0374	-0,0186	-0,0440
b_{13}	0,1979	0,1503	-0,2256
b_{14}	0,1051	0,0426	0,0097
b_{23}	-0,0055	-0,0795	-0,0427
b_{24}	0,0014	-0,0093	0,0172
b_{34}	0,0258	0,0809	0,0812

Полученные значения ΔV_{sy} для более удобного пользования на практике переводились в мл/м².

Начальная масса смоченного образца определялась исходя из заданной влажности и толщины образца по формуле

$$m_n = m_m + \delta \cdot S \cdot \rho_{ж} \cdot \frac{W}{100}, \quad (5)$$

где m_n – начальная масса образца, г.

Минимальное число опытов $n_{\min}$ при относительной допускаемой ошибке $\varepsilon = 1\%$, уровне значимости $q = 0,05$, числе степеней свободы $f = 49$ и критерии Стьюдента $t = 2,01$ равно 7. С учетом отбрасывания грубых наблюдений отклика опыты проводились в 9-кратной повторности.

Для повышения точности модели в центре плана проведено четыре опыта.

Для получения адекватных уравнений регрессии значения отклика преобразованы по формуле $y' = \lg y$.

Нормализованные обозначения факторов связаны с натуральными по формулам

$$x_1 = \frac{a-107}{87}, \quad x_2 = \frac{t-90}{60}, \quad x_3 = \frac{W-50}{20}, \quad x_4 = \frac{\delta-8}{4}.$$

Вначале проверена и принята гипотеза о нормальности распределения отклика [18]. Значения коэффициентов регрессии в норма-

лизованных обозначениях факторов приведены в табл. 2.

Уравнения регрессии в натуральных обозначениях факторов для этих видов материала с учетом отброшенных коэффициентов выглядят следующим образом:

для войлока

$$y' = 1,79150 + 0,00337 X_1 + 0,01189 X_2 - 0,05364 X_3 + 0,00374 X_4 - 0,00001 X_1^2 - 0,00004 X_2^2 + 0,00051 X_3^2 - 0,00001 X_1 X_2 + 0,00011 X_1 X_3 + 0,00030 X_1 X_4 - 0,00032 X_3 X_4, \quad (6)$$

для ткани

$$y' = -0,84735 + 0,00708 X_1 + 0,01049 X_2 + 0,06357 X_3 + 0,02168 X_4 - 0,00004 X_1^2 - 0,00002 X_2^2 + 0,00047 X_3^2 - 0,00001 X_1 X_2 + 0,00009 X_1 X_3 + 0,00012 X_1 X_4 - 0,00007 X_2 X_3 - 0,00101 X_3 X_4, \quad (7)$$

для пенополиуретана

$$y' = -0,88173 + 0,02768 X_1 + 0,00440 X_2 + 0,04521 X_3 + 0,06387 X_4 - 0,00007 X_1^2 - 0,00012 X_3^2 - 0,00377 X_4^2 - 0,00001 X_1 X_2 - 0,00013 X_1 X_3 - 0,00004 X_2 X_3 + 0,00007 X_2 X_4 - 0,00102 X_3 X_4. \quad (8)$$

Часть графических зависимостей отклика от факторов приведена на рис.2 и 3.

При уровне значимости $q = 0,05$ все регрессионные модели адекватны. Для всех моделей $F_{\text{н}} > 5$, поэтому они имеют высокую эффективность.

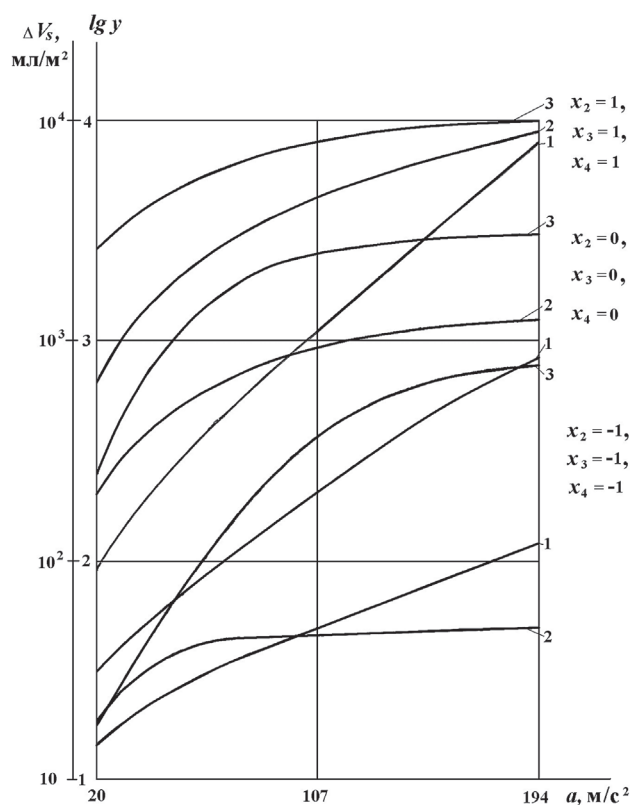


Рис. 2. Зависимость потерь препарата от ускорения: 1 – войлок; 2 – ткань капроновая, 3 – пенополиуретан

Fig. 2. The dependence of preparation loss from speeding: 1 – felt; 2 – nylon fabric; 3 – polyurethane foam

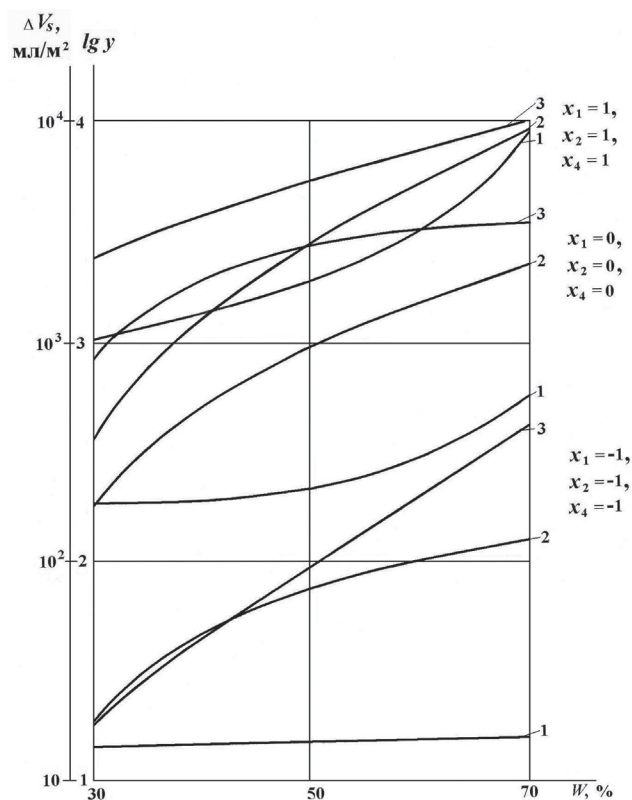


Рис. 3. Зависимость потерь препарата от начальной влажности материала: 1 – войлок; 2 – ткань капроновая, 3 – пенополиуретан

Fig. 3. The dependence of preparation loss from initial moisture 1 – felt; 2 – nylon fabric; 3 – polyurethane foam

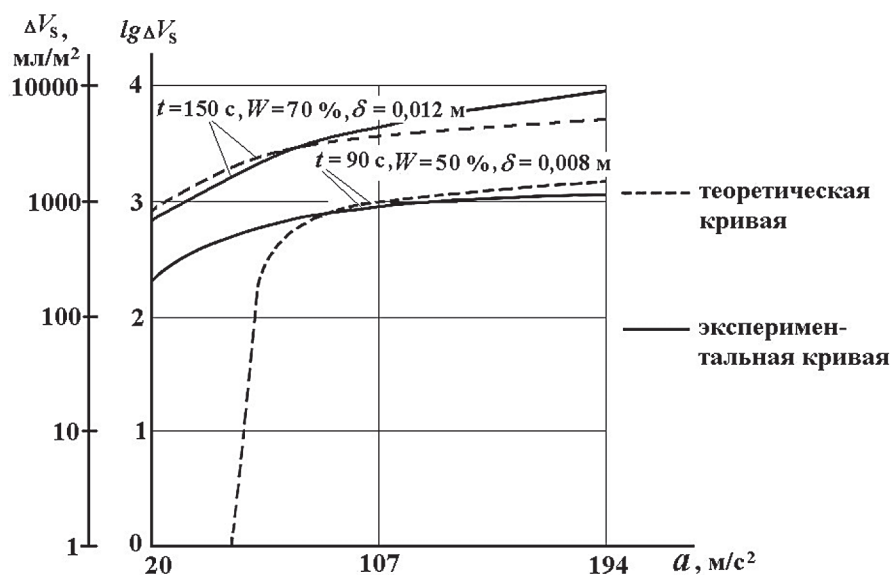


Рис. 4. Теоретические и экспериментальные результаты определения потерь препарата (для ткани капроновой)

Fig. 4. Theoretical and experimental results of defining preparation loss (for nylon fabric)

Результаты опытов показывают, что с увеличением значений всех факторов потери жидкости растут; особенно сильное влияние в принятом диапазоне варьирования на потери оказывает ускорение. На нижнем уровне варьирования факторов меньшие потери имеет войлок (14,7 мл/м²), на верхнем – ткань (7673,6 мл/м²). Худшие показатели практически на всех уровнях (кроме 1, 3, 9 и 11 опытов) имеет пенополиуретан.

Сравнение теоретических и экспериментальных зависимостей потерь жидкости для ткани технической капроновой (рис. 4) показывает, что на верхнем уровне варьирования факторов расхождение составляет около 6 % [15, 16]. При более низких значениях факторов теоретическая кривая до некоторого порогового значения a совпадает с осью абсцисс, т. е. потерь здесь не происходит, и только при дальнейшем увеличении ускорения кривые сближаются. Расчеты показывают, что при достаточно небольших значениях факторов ($t = 30$ с, $W = 30$ %, $\delta = 0,004$ м) теоретическая кривая совпадает с осью абсцисс на всем ее протяжении (0–194 м/с²) и лишь при дальнейшем увеличении a , что выходит за пределы наших исследований, теоретическая кривая начинает приближаться к экспериментальной.

Такое расхождение при небольших значениях a , t , W и δ , по-видимому, можно объяснить излишней схематизацией строения материала покрытия.

Необходимо отметить, что экспериментальные исследования подтверждают теоретические положения о характере и степени влияния на потери препарата указанных факторов.

Библиографический список

1. Котов, А.А. Совершенствование технологий и создание средств механизации для химического ухода в лесных питомниках и культурах: монография / А.А. Котов. – М.: МГУЛ, 2008. – 314 с.
2. Biniak, B.M. Reducing velvetleaf and giant foxtail seed production with simulated-roller herbicide application / B.M. Biniak, R.J. Aldrich. – Weed Science. – 1986. – V. 34. – N2. – P. 256–259.
3. Gaultney, L.D. Fluid retention on a herbicide roller-wiper due to liquid surface tension and viscosity // Trans. ASAE. St. Joseph, Mich. – 1988. – Vol. 31. – N 3. – P. 648–651.
4. Keeley, P.E. e. a. Comparison of rope wick applicators for control of Johnson grass with glyphosate // Weed Sc., 1984. – Vol. 32. – N 4. – P. 431–435.
5. Lane, P.B. Direct herbicide application by Weed wiper. Aspects of Appl. Biology, 1984. – V. 5. – P. 361–367.
6. McWorter, C.G. Methods of application of glyphosate. In: The Herbicide Glyphosate / Ed. by E. Gross band, D. Atkinson / C.G. McWorter, C.W. Derting. – London: Butterworth's, 1985. – P. 241–259.
7. Messersmith, C.G. Roller application of picloram for leafy spurge control in pastures / C.G. Messersmith, R.G. Lym // Weed Sc., 1985. – V. 33. – N 2. – P. 258–262.
8. Moomaw, P.S. A flexible rope wick applicator for use on even terrain / P.S. Moomaw, A.R. Martin // Weed Sc., 1985. – V. 33. – N5. – P. 724–726.
9. Rewelle, W.F. The development and manufacture of wick rope for herbicide application. – Proc. / S. Weed Sc. Soc Champaign, 111, 1982. – V. 35. – P. 399–408.
10. Waddington, J. Control of brush regrowth in northeastern Saskatchewan by several concentrations of herbicides applied with a roller / J. Waddington, S. Bittmans, // Canad. J. Plant Sc., 1987. – V. 67. – N 2. – P. 467–475.
11. Welker, W.V. jr. A rotary herbicide wiper for post emergence weed control in perennial horticultural crops / W.V. jr. Welker, D.L. Peterson // Weed Technol., 1987. – V. 1. – N 4. – P. 319–322.
12. Львов, С.И. Контактный способ нанесения гербицидов и арборицидов / С.И. Львов, Ю.П. Путятин, М.В. Шашова // Лесное хозяйство. – 1990. – № 12. – С. 43–45.
13. Ченцов, В.В. Новые перспективные способы и средства механизации защиты растений: обзорная информация / В.В. Ченцов, Т.Ф. Аленикова, Т.И. Кузькина. – Вып. 6. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1988. – 53 с.
14. Шершабов, И.В. Контактное устройство для применения гербицидов / И.В. Шершабов // Защита растений. – 1990. – № 3. – С. 36–37.
15. Котов, А.А. Исследование экологической безопасности машины для химухода за лесными культурами контактным способом // Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны: сб. науч. трудов – Вып. 254. – М.: МГУЛ, 1993. – С. 38–42.
16. Котов, А.А. Обоснование технологической схемы машины для ухода за лесными культурами контактным способом / А.А. Котов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 4. – С. 35–37.
17. Котов, А.А. Эффективность контактного способа внесения арборицидов при уходе за культурами / А.А. Котов // Лесное хозяйство. – 1993. – № 5. – С. 48–49.
18. Пижурич, А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурич, М.С. Розенблит. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 232 с.
19. Бэтчелер, Дж. Введение в динамику жидкости: Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 760 с.
20. Нартов, П.С. Повышение надежности и долговечности лесохозяйственных машин. – М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1974. – 37 с.
21. Пановко, Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

THE LABORATORY RESEARCH RESULTS OF LIQUID LOSSES FROM A COATING MATERIAL OF A MACHINE WORKING BODY FOR THE CONTACT APPLICATION OF PLANTICIDES

Kotov A.A., Prof. MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

kotov@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The analysis of the works on the substantiation of the coating material of the working body in the form of a rotating drum (roller) of the machines for chemical care on forest plantations by the contact method. The technique of carrying out the laboratory studies of drug loss from the coating material has been developed and described. For the experiment three types of Russian materials of coating drum were chosen: felt fine wool, technical nylon fabric and smooth polyurethane foam sheet. For these kinds of material a four-factor experiment according to the B-plan was conducted. Its purpose was to obtain the relation between the numbers of losses of fluid from the unit area of the coating material in the form of a polynomial of the second order. Variable factors included acceleration, duration of action of inertia forces, the initial moisture content of the material and the thickness of the coating. The results of the experiments showed that an especially strong impact on losses in the accepted range is provided by acceleration. On the lower level of variation factors felt had the smallest losses, and fabric had the biggest. The worst performance on almost all levels (except 1, 3, 9 and 11 of the experiments) was made by polyurethane foam. The experimental confirmation of the theoretical findings in graphical form is submitted. Experimental studies confirm the theoretical points on the nature and extent of the impact these factors on the loss of the drug. The research results allow to choose the optimal parameters and modes of operation of the machine.

Keywords: ecology, contact application of pesticides, rotated drum, laboratory research, centrifugal force, volumetric moisture, loss drug.

References

- Kotov A.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii i sozдание sredstv mekhanizatsii dlya khimicheskogo ukhoda v lesnykh pitomnikakh i kul'turakh* [Perfection of technologies and creation of means of mechanization for chemical care in forest farm and cultures]. Moscow, MGUL, 2008. 314 p.
- Biniak B.M., Aldrich R.J. Reducing velvetleaf and giant foxtail seed production with simulated-roller herbicide application. *Weed Science*, 1986, vol. 34, no. 2, pp. 256–259.
- Gaultney L.D. Fluid retention on a herbicide roller-wiper due to liquid surface tension and viscosity. *Trans. ASAE*. St. Joseph, Mich, 1988, vol. 31, no. 3, pp. 648–651.
- Keeley P.E. e. a. Comparison of rope wick applicators for control of Johnson grass with glyphosate. *Weed Sc.*, 1984, vol. 32, no. 4, pp. 431–435.
- Lane P.B. Direct herbicide application by Weed wiper. *Aspects of Appl. Biology*, 1984, vol. 5, pp. 361–367.
- McWorter C.G., Derting C.W. Methods of application of glyphosate. In: *The Herbicide Glyphosate*. Ed. by E. Gross band, D. Atkinson. London, Butterworth's, 1985, pp. 241–259.
- Messersmith C.G., Lym R.G. Roller application of picloram for leafy spurge control in pastures. *Weed Sc.*, 1985, vol. 33, no. 2, pp. 258–262.
- Moomaw P.S., Martin A.R. A flexible rope wick applicator for use on even terrain. *Weed Sc.*, 1985, vol. 33, no. 5, pp. 724–726.
- Rewelle W.F. The development and manufacture of wick rope for herbicide application. *Proc. S. Weed Sc. Soc Champaign*, 111, 1982, vol. 35, pp. 399–408.
- Waddington J., Bittmans S. Control of brush regrowth in northeastern Saskatchewan by several concentrations of herbicides applied with a roller. *Canad. J. Plant Sc.*, 1987, vol. 67, no. 2, pp. 467–475.
- Welker W.V. jr., Peterson D.L. A rotary herbicide wiper for post emergence weed control in perennial horticultural crps. *Weed Technol.*, 1987, vol. 1, no. 4, pp. 319–322.
- L'vov S.I., Putyatin Yu.P., Shashova M.V. Kontaktnyy sposob naneseniya gerbitsidov i arboritsidov [Contact method of applying herbicides and arboricides]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1990, no. 12, pp. 43–45.
- Chentsov V.V., Alenchikova T.F., Kuz'kina T.I. *Novye perspektivnye sposoby i sredstva mekhanizatsii zashchity rasteniy* [Promising new ways and means of mechanization of plant protection: overview]. Moscow, TsNIITraktorosel'khomash, 1988, vol. 6, 53 p.
- Shershabov I.V. *Kontaktnoe ustroystvo dlya primeneniya gerbitsidov* [The contact device for the application of herbicides]. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 1990, no. 3, pp. 36–37.
- Kotov A.A. *Issledovanie ekologicheskoy bezopasnosti mashiny dlya khimukhoda za lesnymi kul'turami kontaktnym sposobom* [The study of ecological safety of machines for chemical care for forest plantations, contact] *Rezul'taty fundamental'nykh issledovaniy po prioritnym nauchnym napravleniyam lesnogo kompleksa strany* [The results of fundamental research in the priority research areas of the forest complex of the country: Collected papers], Moscow: MGUL, 1993, vol. 254, pp. 38–42.
- Kotov A.A. *Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy mashiny dlya ukhoda za lesnymi kul'turami kontaktnym sposobom* [Substantiation of technological scheme of machine for chemical treatment the forest cultures in the contact method]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2008, no. 4, pp. 35–37.
- Kotov A.A. *Effektivnost' kontaktnogo sposoba vneseniya arboritsidov pri ukhode za kul'turami* [The efficiency of the contact way of making arboricides care cultures]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1993, no. 5, pp. 48–49.
- Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Researches of processes of woodworking]. Moscow, Forestry, 1984, 232 p.
- Batchelor J. Introduction to fluid dynamics. Moscow, Mir Publ., 1973, 760 p..
- Nartov P.S. *Povyshenie nadezhnosti i dolgovechnosti lesokhozyaystvennykh mashin* [Improving the reliability and durability of forestry machines]. Moscow, TsBNTI Gosleskhoza SSSR, 1974, 37 p.
- Panovko Ya.G. *Osnovy prikladnoy teorii kolebaniy i udara* [Fundamentals of applied theory of vibrations and shock]. Leningrad: Mashinostroenie, 1976, 320 p.