

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ КОНТАКТОРА НА СТЕПЕНЬ ИЗРЕЖИВАНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ УХОДЕ

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

kotov@mgul.ac.ru

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

Целью работы является установление влияния скорости скольжения контактора по нежелательной древесной растительности при химическом уходе на степень ее подавления. Вначале выполнены теоретические исследования влияния соотношения окружной скорости барабана и скорости движения агрегата и других параметров на норму расхода рабочей жидкости. Установлено, что скорость скольжения повышает норму расхода. Затем проведены экспериментальные исследования опытного образца машины с рабочим органом в виде двух соосно расположенных барабанов при уходе за культурами ели. Барабаны имели возможность как встречного, так и попутного направлений вращения. Опыты выполнялись на кипрейной вырубке. В эксперименте изменялись три фактора: доза внесения гербицида по действующему веществу, концентрация раствора и кинематический параметр. Кинематический параметр представлял собой логарифм отношения окружной скорости барабана к скорости агрегата. В качестве выходной величины эксперимента принята степень изреживания нежелательной древесной растительности, выраженная в процентах. Арборицидная активность препарата оценивалась визуально по 6-бальной шкале. Степень изреживания определялась для четырех пород: осины, березы, ольхи и ивы. При обработке материалов получены уравнения регрессии второго порядка в нормализованных и в натуральных обозначениях факторов. При их анализе установлено, что степень изреживания сорняков возрастает с увеличением дозы внесения препарата, причем интенсивность повышения постепенно уменьшается. График изреживания в зависимости от концентрации имеет максимум внутри диапазона варьирования этого фактора, а в зависимости от кинематического параметра – минимум. Это подтверждает теоретический вывод о том, что с увеличением скорости скольжения поверхности барабана с растениями степень их изреживания повышается.

Ключевые слова: сорная растительность, контактное применение пестицидов, вращающийся барабан, эксперимент, скорость скольжения, кинематический параметр.

На основании анализа патентной и литературной информации в качестве объекта исследования выбрана машина для химического ухода за лесными культурами контактным способом с рабочим органом в виде двух соосно расположенных вращающихся от опорно-приводных колес барабанов, составленных на величину защитной зоны с двух сторон «седлаемого» ею ряда лесных культур и имеющих пористое покрытие для удерживания и переноса рабочей жидкости от дозаторов к сорным растениям [6].

Известно, что секундный расход жидкости q равен [2]

$$q = \Delta V / t, \quad (1)$$

где ΔV – изменение объема жидкости, м^3 ;

t – время истечения, с.

Если соотнести ΔV к единице площади поверхности барабана, а последнюю выразить через рабочую ширину захвата B рабочего органа и длину его контакта с растительностью L , получим [5]

$$\Delta V = \Delta V_s \cdot B \cdot L = \Delta V_s \cdot B \cdot V_6 \cdot t, \quad (2)$$

где ΔV_s – изменение объема жидкости в единице площади покрытия за время t , $\text{м}^3/\text{м}^2$;

V_6 – окружная скорость барабана, $\text{м}/\text{с}$.

Подставив выражение (2) в (1), имеем

$$q = \Delta V_s \cdot B \cdot V_6. \quad (3)$$

Но известно также, что [9]

$$q = Q \cdot W,$$

где Q – норма расхода рабочей жидкости, $\text{м}^3/\text{м}^2$;

W – производительность агрегата, $\text{м}^2/\text{с}$,

$W = B \cdot V_{\text{арп}}$. Здесь $V_{\text{арп}}$ – рабочая скорость агрегата, $\text{м}/\text{с}$.

Тогда

$$q = Q \cdot B \cdot V_{\text{арп}}. \quad (4)$$

Приравняв выражения (3) и (4), получим

$$\Delta V_s = Q \cdot \frac{V_{\text{арп}}}{V_6} \text{ или } Q = \frac{V_6}{V_{\text{арп}}} \cdot \Delta V_s. \quad (5)$$

Эти зависимости позволяют определять изменение объема жидкости в единице площади покрытия при заданной норме внесения химиката или, наоборот, зная ΔV_s ,

рассчитывать фактическую норму внесения в зависимости от соотношения скоростей барабана и агрегата.

Изменение объема жидкости ΔV_s определяется также из выражения (рис. 1)

$$\Delta V_s = V_{sн} - V_{sк}, \quad (6)$$

где $V_{sн}$ и $V_{sк}$ – объем жидкости в единице площади соответственно в начале и конце контакта участка поверхности с растительностью.

Пользуясь выражением объемной влажности материала [8]

$$\frac{W}{100} = \frac{V_{ж}}{V_m} = \frac{V_{ж}}{\delta \cdot S}, \text{ получим}$$

$$V_s = \frac{V_{ж}}{S} = \delta \cdot \frac{W}{100}, \quad (7)$$

где $V_{ж}$ – объем жидкости, содержащийся в объеме материала V_m , м³;

δ и S – соответственно толщина и площадь поверхности материала покрытия.

Считаем, что влажность материала до начала и во время приложения нагрузки одинакова, а вытеснение жидкости происходит за счет уменьшения объема (толщины) материала. Определим ΔV_s в этом случае. Подставив (7) в (6), получим

$$\Delta V_s = \delta_n \cdot \frac{W_n}{100} - \delta_i \cdot \frac{W_i}{100} = \frac{W_n}{100} \cdot (\delta_n - \delta_i), \quad (8)$$

где δ_n и δ_i – соответственно начальная и текущая толщина материала, м;

W_n и W_i – соответственно начальная и текущая влажность материала, %, $W_n = W_i$.

Применяя закон Гука [11], запишем выражение для текущего значения толщины покрытия

$$\delta_i = \delta_n \cdot \left(1 - \frac{F_{nij}}{S_{kij} \cdot E(\sigma_c)} \right), \quad (9)$$

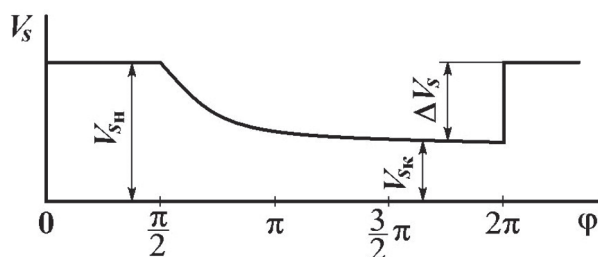


Рис. 1. Изменение объема жидкости в единице площади контактора

Fig. 1. The change of fluid volume per unit area of contactor

где F_{nij} – нормальная составляющая изгибающей силы у-го растения в i -й момент времени, Н;

S_{kij} – мгновенная площадь контакта у-го растения с покрытием в i -й момент времени, м²;

$E(\sigma_c)$ – модуль упругости материала покрытия при сжатии, Па.

Принимаем $S_{kij} = d_{iy}^2$, считая ствол растения правильным конусом с диаметром у основания d_{0y} и высотой H_j , и получаем

$$d_{ij} = d_{0j} \cdot \frac{H_j - h_{ij}}{H_j}, \quad (10)$$

где d_{iy} – диаметр у-го стволика на высоте h_{iy} .

Подставив δ_i из выражения (9) с учетом (10) в (8), получим зависимость объема вытесняемой жидкости с единицы площади покрытия при контакте барабана в i -й момент времени с у-м растением от физико-механических свойств растительности и материала покрытия, начальной влажности и высоты обработки

$$\Delta V_{sij} = \delta_n \cdot \frac{W_n \cdot F_{nij} \cdot H_j^2}{100 \cdot d_{0j}^2 \cdot (H_j - h_{ij})^2 \cdot E(\sigma_c)}. \quad (11)$$

Для того, чтобы определить объем жидкости, нанесенной на одно растение, необходимо ΔV_{sij} проинтегрировать по площади контакта у-го стволика с барабаном S_j

$$\Delta V_j = \int_{S_j} \Delta V_{sij} \cdot dS_j. \quad (12)$$

$$S_j = d_{0j} \cdot \frac{(H_j - h_0)^2}{2 \cdot H_j}, \quad (13)$$

где h_0 – высота обработки, м.

Определяя количество препарата, вытесненного с единицы площади покрытия, учитываем густоту растительности

$$\Delta V_s = \sum_{j=1}^{n_0} \Delta V_j, \quad (14)$$

где n_0 – число растений на одном м².

Подставив формулу (14) с учетом (11), (12) и (13) в выражение (5), получим

$$Q = \frac{V_6}{V_{арп}} \sum_{j=1}^{n_0} \left(\delta_n \cdot \frac{W_n F_{n, jcp} H_j}{100 \cdot d_{0j} (H_j - h_j)^2 E(\sigma_c)} \times \frac{(H_j - h_0)^2}{2 H_j} \right), \quad (15)$$

где F_{nycp} – средняя нормальная составляющая изгибающей силы, приложенной на высоте растения h_j .

Выражение (15) включает в себя кинематический и технологический режимы

Уровни факторов и интервалы их варьирования

The levels of factors and intervals of their variation

Наименование фактора	Обозначение фактора		Интервал варьирования	Уровень варьирования фактора		
	натур.	нормал.		– 1	0	+ 1
Доза внесения препарата по д.в., кг/га	D	x_1	1	1	2	3
Концентрация раствора, %	K	x_2	16	4	20	36
Кинематический параметр	λ	x_3	1	– 1	0	1

работы машины, густоту и биометрические показатели растительности, упругие свойства растений и материала покрытия, влажность покрытия. Влияя на показатели, входящие в эти выражения (кроме биометрических), можно устанавливать норму расхода рабочего раствора или, исходя из заданной нормы расхода, выбирать режимы обработки и обосновать параметры рабочего органа.

С целью обоснования рациональных параметров и режимов работы контактной гербицидной машины в кв. 78 Огудневского лесничества проведены ее полевые исследования [1, 4, 6]. При этом проводился уход за культурами ели 6-летнего возраста. Эксперимент проводился на кипрейной вырубке. Тип условий местопроизрастания C_2 , почва – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая. Число пней около 700 шт./га.

Высота культур изменялась от 21 до 156 см, средняя высота составляла 64 см. Ширина междурядий равнялась 3–4 м, шаг посадки – 70–100 см.

Травостой: кипрей – 28 % (проективное покрытие), щучка – 15 %, малина – 7 %, вейник – 19 %, мятлик – 8 %, осока – 3 %, остальное – разнотравье. Максимальная высота травостоя достигала 183 см (щучка), средняя – 79 см.

На вырубке имелось куртинное и одиночное возобновление осины, березы и других мягколиственных пород.

Температура воздуха 15–18° С. Ветер слабый. Поверхность листьев растительности – сухая. После окончания обработки сорной растительности осадков не выпадало 31 ч.

Высота обработки сорняков была равна 20 см. При проведении испытаний машины в качестве гербицида применялся раундап (утал).

В эксперименте варьировали три фактора: доза внесения гербицида по действующ-

щему веществу (д. в.), концентрация раствора и кинематический параметр. Использован В-план с ПФП в ортогональной части [10]. Уровни факторов и интервалы их варьирования приведены в табл. 1.

Факторы x_1 – x_3 варьировали на трех уровнях, причем уровни были выбраны так, чтобы факторы имели реальную область определения. Доза внесения утала изменялась от 1 до 3 кг/га [12]. Концентрация гербицида варьировала от 4 до 36 %. Последнее значение – это заводская концентрация препарата. Для получения указанных в табл. 1 концентраций раствора утал разбавлялся водой.

Вначале на опытном образце машины было предусмотрено встречное вращение барабанов. Но в условиях наличия пней и порубочных остатков на вырубке от него пришлось отказаться, так как возникали частые отказы машины по причине наезда на препятствия и невозможности перекачиваться через них (предохранительные муфты на образце отсутствовали). На усовершенствованном образце машины было предусмотрено попутное вращение рабочих органов с разным передаточным отношением.

Исходя из результатов теоретических исследований, в эксперименте отношение окружной скорости барабана V_6 к скорости агрегата $V_{\text{агр}}$ принимало значения 0,5; 1,0 и 2,0. Для получения ортогонального плана эти значения прологарифмированы по основанию 2. Преобразованные выражения приняты как кинематический параметр λ

$$\lambda = \log_2 \frac{V_6}{V_{\text{агр}}}.$$

Следовательно, λ принимал значения – 1, 0 и + 1.

Для фиксации определенного значения фактора λ в опытном образце машины

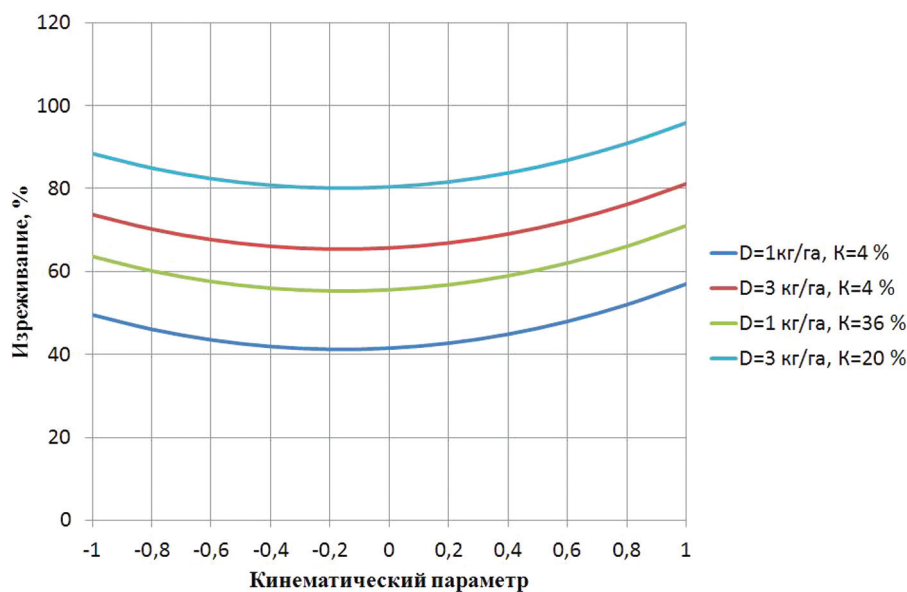


Рис. 2. Зависимость изреживания нежелательной древесной растительности от кинематического параметра
Fig. 2 The dependence of the thinning of unwanted woody vegetation from kinematic parameter

было предусмотрено изменение передаточного отношения u ременной передачи. Общее передаточное отношение u двухступенчатой передачи принимало соответственно значения 1,00; 0,50 и 0,25. Таким образом, кинематический параметр устанавливался монтажом определенных пар шкивов.

Формулы, связывающие нормализованные и натуральные обозначения факторов, имеют вид

$$x_1 = \frac{D-2}{1}; x_2 = \frac{K-20}{16}; x_3 = \frac{\lambda-0}{1}.$$

Эксперимент проводился при однократной повторности опытов, только в центре плана проведено шесть дублированных опытов.

В качестве выходной величины эксперимента у принята степень изреживания нежелательной древесной растительности, выраженная в %. Она определялась по методике, разработанной ЛенНИИЛХом [12], ВНИИХлесхозом [7] и Л.Ю. Ключниковым в МЛТИ [3].

Арборицидную активность препарата оценивали визуально в баллах по следующей шкале [4]: 0 – эффект отсутствует; 1 – повреждено менее 25 % кроны, слабый хлороз, точечный некроз листьев; 2 – повреждено 25–50 % кроны; 3 – повреждено 51–75 % кроны; 4 – повреждено более 75 % кроны; 5 – полная десикация или дефолиация. Оценка действия утала проводилась через месяц после нанесения его

на растительность. Изреживание I рассчитывалось для каждого опыта по формуле

$$I = \frac{\sum_{i=0}^m n_i \cdot i}{m \cdot n} \cdot 100,$$

где i – категория эффективности в баллах; $0 \leq i \leq m = 5$;

m – высшая категория;

n_i – число растений в каждой категории, шт.;

n – общее число растений, шт.,

$$n = \sum_{i=0}^m n_i.$$

Принято $n = 60$.

Категория эффективности определялась для каждой из четырех пород (осина, береза, ольха, ива) отдельно. Затем количество растений разных пород, находившееся в одной категории, складывалось (табл. 2)

$$n_i = n_{i \text{ ос}} + n_{i \text{ ол}} + n_{i \text{ б}} + n_{i \text{ и}},$$

где $n_{i \text{ ос}}$, $n_{i \text{ ол}}$, $n_{i \text{ б}}$, $n_{i \text{ и}}$ – соответственно число растений осины, ольхи, березы и ивы в i -й категории, шт.

При обработке материалов получены уравнения регрессии в нормализованных

$$y = 70,60 + 10,57 x_1 + 5,63 x_2 + 5,93 x_3 - 4,74 x_1^2 - 7,24 x_2^2 + 11,76 x_3^2$$

и в натуральных обозначениях факторов

$$I = 9,11 + 31,05 D + 1,64 K + 3,71 \lambda - 4,74 D^2 - 0,03 K^2 + 11,76 \lambda^2.$$

Обобщенные результаты учета состояния нежелательной древесной растительности
A summary of the results considering the undesirable woody vegetation

Номер опыта	Число растений, шт., в состоянии, в баллах						$\sum_{i=0}^5 n_i$
	0	1	2	3	4	5	
1	3	10	21	12	8	6	60
2	0	0	3	29	16	12	60
3	10	4	1	20	17	8	60
4	0	0	0	17	27	16	60
5	6	15	2	17	9	11	60
6	2	2	4	3	31	18	60
7	0	3	1	13	28	15	60
8	0	0	0	1	21	38	60
9	2	7	17	17	8	9	60
10	0	0	4	18	19	19	60
11	7	5	1	13	27	7	60
12	1	2	1	37	11	8	60
13	3	2	7	1	31	16	60
14	2	1	1	1	1	54	60
15	7	0	0	1	51	1	60
16	0	5	1	31	12	11	60
17	2	2	4	16	17	19	60
18	3	2	2	3	50	0	60
19	0	4	1	34	7	14	60
20	4	15	4	3	3	31	60
$\sum_{j=1}^{20} n_{ij}$	52	79	75	287	394	313	1200

Графическая зависимость изреживания от кинематического параметра представлена на рис. 2.

Анализируя уравнение регрессии, видим, что степень изреживания сорняков I возрастает с увеличением дозы внесения препарата D , причем интенсивность повышения I постепенно уменьшается. График изреживания в зависимости от концентрации K имеет максимум внутри диапазона варьирования этого фактора, а в зависимости от кинематического параметра λ – минимум. Это подтверждает теоретическое положение о том, что с увеличением площади контакта (абсолютной скорости скольжения) поверхности барабана с растением степень изреживания повышается.

Минимальная степень изреживания наблюдается, когда мгновенный центр скоростей барабана расположен в его нижней точке. В этом случае абсолютная скорость нижней точки покрытия барабана равна нулю и скольжения его по сорным растениям не происходит. Поэтому смачивание сорных растений за счет вытеснения рабочей жидкости из

покрытия барабана при его деформации сжатия практически отсутствует.

Максимальная степень изреживания имеет место при приближении мгновенного центра скоростей барабана к его оси вращения. Но здесь угловая скорость вращения барабана ограничена возможностью потерь жидкости из покрытия под действием центробежных сил.

Библиографический список

1. Винокуров, В.Н. Результаты экспериментальных исследований машины для химухода за лесными культурами контактным способом / В.Н. Винокуров, А.А. Котов, В.В. Пельтек // Результаты фундаментальных исследований по приоритетным научным направлениям лесного комплекса страны: сб. науч. тр. – М.: МГУЛ, 1993. – Вып. 254. – С. 29–38.
2. Калицун, В.И. Основы гидравлики и аэродинамики / В.И. Калицун, Е.В. Дроздов. – М.: Стройиздат, 1990. – 247 с.
3. Ключников, Л.Ю. О степени изреживания лиственных пород арборицидами // Лесной журнал. – 1977. – № 5. – С. 24–27.
4. Котов, А.А. Методика и результаты полевых исследований ухода за лесными культурами с помощью гербицидов / А.А. Котов, А.А., В.П. Филиппов // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: сб. научн. тр. – Вып. 311. – М.: МГУЛ, 2001. – С. 64–68.
5. Котов, А.А. Моделирование процесса внесения гербицидов // Лесное хозяйство. – 1995. – № 2. – С. 48–49.

6. Котов, А.А. Совершенствование технологий и создание средств механизации для химического ухода в лесных питомниках и культурах: монография. – М.: МГУЛ, 2008. – 314 с.
7. Львов, С.И. Контактный способ нанесения гербицидов и арборисидов / С.И. Львов, Ю.П. Путятин, М.В. Шапова // Лесное хозяйство. – 1990. – № 12. – С. 43–45.
8. Лыков, А.В. Тепломассообмен: справочник / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1972. – 560 с.
9. Бортник, А.М. Методические рекомендации по механизированной химической защите леса / А.М. Бортник, В.М. Глезер, Т.Д. Бахтина. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. – 48 с.
10. Пижурич, А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурич, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
11. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / В.И. Феодосьев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 592 с.
12. Шутов, И.В. Применение гербицидов и арборисидов в лесовыращивании: Справочник / И.В. Шутов и др.. – М.: Агропромиздат, 1989. – 223 с.

THE INFLUENCE OF SLIDING VELOCITY OF A CONTACTOR ON THE DEGREE OF WITHERING OF UNWANTED WOODY VEGETATION BY CHEMICAL CARE

Kotov A.A., Prof. MFSU, Dr. Sci. (Agricultural)⁽¹⁾

kotov@mgul.ac.ru

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

The aim of this work is to establish the influence of sliding velocity of a contactor for unde-sirable woody vegetation with chemical-based care the extent of its withering. First there was per-formed a theoretical study of the influence of the ratio of the peripheral speed of the drum and the speed of movement of the unit and other parameters on the rate of flow of the working fluid. It is established that the sliding speed increases the rate of flow. Then the experimental studies of a pro-totype machine with a working body in the form of two coaxially arranged drums when caring for spruce cultures took place. The drums had the opportunity as a counter and associated areas of ro-tation. The experiments were performed on fireweed glade. In the experiment there varied three fac-tors: the dose of herbicide application on the active substance, the concentration of the solution and the kinematic parameter. Kinematic parameter was the logarithm of the ratio of the circumferential speed of the drum to the speed of the unit base two. Kinematic parameter was the logarithm of the ratio of the circumferential speed of the drum to the speed of the unit. As the output value of the ex-periment is adopted, the degree of withering of unwanted woody vegetation, expressed as a per-centage. Arboricity drug activity was assessed visually on a 6-point scale. The degree of withering was determined for four species: aspen, birch, alder and willow. When processing the results, the regression equations of the second order in the normalized and in physical signs of the factors. The study found that the degree of withering of weeds increases with the dose of the drug, and increase the intensity gradually decreases. Graph of withering depending on the concentration has a maxi-mum inside the range of variation of this factor, and depending on the kinematic parameter has a minimum. This confirms the theoretical conclusion that with increasing the sliding speed of the drum surface with plants, the degree of withering increases.

Key words: weeds, contact application of pesticides, rotated drum, experiment, sliding ve-locity, the kinematic parameter.

References

1. Vinokurov V.N., Kotov A.A., Pel'tek V.V. *Rezultaty yeksperimental'nykh issledovaniy mashiny dlya himuhoda za lesnymi kul'turami kontaktnym sposobom* [The results of experimental research of the machine for chemical care for forest cultures by the contact method]. *Rezultaty fundamental'nykh is-sledovaniy po prioritetnym nauchnym napravleniyam lesnogo kompleksa strany: sb. nauchn. tr.* [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. 29–38.
2. Kalicun V.I., Drozdov E.V. *Osnovy gidravliki i ayerodinamiki* [Fundamentals of hydraulics and aerodynamics]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1990. 247 p.
3. Klyuchnikov L.Yu. *O stepeni izrezhivaniya listvennykh porod arboritsidami* [The degree of extermination of deciduous species by arboritsidy]. *Lesnoy zhurnal* [Forest journal]. 1977, no. 5, pp. 24–27.
4. Kotov A.A., Filippov V.P. *Metodika i rezultaty polevykh issledovaniy ukhoda za lesnymi kul'turami s pomoshch'yu gerbitsidov* [The methodology and results of field studies of forest cultures using the herbicide]. *Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov: sb. nauchn. tr.* [Forest use and reproduction of forest resources: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2001, vol. 311, pp. 64–68.
5. Kotov A.A. *Modelirovanie protsessa vneseniya gerbitsidov* [Modeling of the process of making herbicides]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1995, no. 2, pp. 48–49.
6. Kotov A.A. *Sovershenstvovanie tehnologiy i sozdanie sredstv mehanizatsii dlya himicheskogo uhoda v lesnykh pitomnikah i kul'turakh: monografiya* [Perfection of technologies and creation of means of mechanization for chemical care in forest farm and cultures]. Moscow, MGUL, 2008. 314 p.
7. L'vov S.I., Putyatyn Yu.P., Shashova M.V. *Kontaktnyy sposob naneseniya gerbitsidov i arboritsidov* [The contact method of application of herbicides and arboritsidy]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1990, no. 12, pp. 43–45.
8. Lykov A.V. *Teplomassoobmen: spravochnik* [Heat And Mass Transfer: A Handbook]. Moscow: Energiya Publ., 1972. 560 p.
9. Bortnik A.M., Glezer V.M., Bakhtina T.D. *Metodicheskie rekomendatsii po mekhanizirovannoy khimicheskoy zashchite lesa* [Guidelines for mechanical chemical protection of afforestation]. Leningrad: LenNIILKh Publ., 1976. 48 p.
10. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. *Issledovaniya processov derevoobrabotki* [Researches of processes of woodworking]. Moscow, Lesn. prom-st' Publ., 1984. 232 p.
11. Feodos'ev V.I. *Soprotivlenie materialov* [Resistance of materials]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2004. 592 p.
12. Shutov I.V. i dr. *Primenenie gerbitsidov i arboritsidov v lesovyirashchivanii: Spravochnik* [The use of herbicides and arboritsidy when growing forests]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1989. 223 p.