

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УНИЧТОЖЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. Котов, А.Ф. Алябьев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kotov@mgul.ac.ru

При контактном нанесении арборицида на нежелательные древесные растения они отклоняются рабочим органом машины, а после ее прохода совершают затухающие колебания, при которых возможно сбрасывание частиц препарата с растений под действием силы инерции. Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование кинематических параметров колебаний стволиков древесной растительности при химическом уходе контактными способами, позволяющих исключить потери рабочей жидкости, нанесенной на растения, а также определение размеров частиц препарата, способных удержаться на растении при различных значениях ускорения. Рассмотрены силы, действующие на частицу, нанесенной на растение рабочей жидкости для двух вариантов расположения частицы на растении. Получены аналитические выражения размера частицы, способной удержаться на растении, и ускорения вершины растения. Для расчета ускорения необходимо экспериментальное определение начального отклонения вершины стволика, частоты колебаний и логарифмического декремента колебания. С помощью видеозаписи выполнены опыты по определению этих параметров для березы и осины. Затем для определения влияния сопротивления воздуха растение освобождали от листьев и повторяли запись при тех же условиях. При расшифровке видеозаписей вначале были построены графики отклонений вершины растений, а затем методом графического дифференцирования выведены зависимости ускорения вершины от продолжительности колебаний. Приведено сравнение параметров колебаний, полученных экспериментально и вычисленных по теоретическим зависимостям. Для растений высотой от 0,5 до 1,7 м период колебаний увеличивается: у растений без листьев с 0,2 до 0,84 с, у растений с листьями — с 0,56 до 1,72 с. В начале колебаний период значительно больше, чем в середине и в конце, особенно для растений с листьями. Очевидно, это связано с сопротивлением воздуха, снижающим скорость вершины растения при колебаниях. Установлена экспериментальная зависимость размера частицы препарата от ускорения.

Ключевые слова: сорная растительность, контактное применение пестицидов, колебания растений, ускорение, эксперимент, экология

Ссылка для цитирования: Котов А.А., Алябьев А.Ф. Исследование экологической безопасности уничтожения нежелательной древесной растительности химическим методом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 19–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-19-24

На норму расхода и равномерность распределения препарата по площади при контактном способе внесения гербицидов значительное влияние оказывают физико-механические свойства сорных растений (жесткость), их густота и неравномерность расположения по площади. При обработке нежелательных древесных растений, которые имеют намного более высокую жесткость по сравнению с сорной травянистой растительностью, физико-механические свойства играют очень важную роль.

Изучена система сил, действующих на частицу препарата, нанесенного на растение. Рассмотрены два возможных случая. В первом случае частица находится сверху на отклоненном рабочим органом машины растении (рис. 1, а), во втором случае препарат располагается внизу (рис. 1, б). Составив уравнения равновесия системы сил с учетом принципа Даламбера, после преобразования имеем, что в первом случае для исключения сброса частицы препарата с растения в начальный момент времени должны выполняться условия [1]:

$$\left. \begin{aligned} dF_{\text{цп}} &\geq dG \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - dF_{\text{ин}}; \\ dm &\leq \frac{dF_{\text{цп}}}{g \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - a}; \\ a &\geq g \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - \frac{dF_{\text{цп}}}{dm}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $dF_{\text{цп}}$ — сила сцепления частицы препарата с поверхностью растения;
 dG — сила тяжести частицы, $dG = dm g$;
 Θ — угол отклонения стволика от вертикали;
 f — коэффициент трения скольжения;
 $dF_{\text{ин}}$ — сила инерции, $dF_{\text{ин}} = dm a$;
 dm — масса частицы;
 g — ускорение свободного падения;
 a — ускорение частицы;
 dT — сила трения скольжения, $dT = f dN$;
 dN — нормальная реакция поверхности опоры.

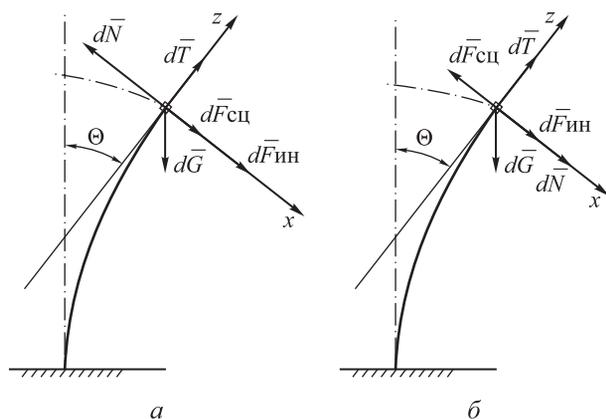


Рис. 1. К расчету сил, действующих на частицу препарата: *a* — верхнее расположение; *б* — нижнее расположение
Fig. 1. The calculation of forces acting on a particle of the drug: *a* — top location; *b* — bottom location

Аналогично во втором случае должны выполняться условия (при $dN = 0$)

$$\left. \begin{aligned} dF_{\text{сц}} &\geq dG \sin \Theta + dF_{\text{ин}}; \\ dm &\leq \frac{dF_{\text{сц}}}{g \sin \Theta + a}; \\ a &\leq \frac{dF_{\text{сц}}}{dm} - g \sin \Theta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При анализе неравенств (1) и (2) установлено, что первый случай нанесения рабочей жидкости предпочтительнее с точки зрения экологии; здесь в начальный момент времени сила инерции играет положительную роль — удерживает частицу на растении.

Потерями рабочей жидкости можно управлять, например, изменяя силу инерции, в частности ускорение

$$a = \frac{d^2x}{dt^2},$$

где x — отклонение точки растения в горизонтальной плоскости;

t — время.

На силу инерции влияют упругие свойства стволика, высота расположения частицы препарата на растении и величина его отклонения в горизонтальной плоскости.

Выполним исследование экологической безопасности нанесения препарата на растение. При этом рассмотрим самый неблагоприятный случай, а именно: первое неравенство в системе (2).

Сделаем замену:

$$\begin{aligned} dF_{\text{сц}} &= F_n = 2\pi\sigma r_c \cos \Theta_c, \\ dG &= dm g, \\ dF_{\text{ин}} &= dm a, \end{aligned}$$

где F_n — сила поверхностного натяжения [2, 3]; σ — коэффициент поверхностного натяжения; r_c — радиус сегмента жидкости на растении; Θ_c — краевой угол смачивания.

Здесь

$$dm = dV \rho_{\text{ж}} = \frac{1}{2} \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_{\text{ж}} = \frac{2}{3} \pi r_c^3 \rho_{\text{ж}}, \quad a = g \sin \Theta + x''.$$

Тогда радиус сегмента жидкости, способный удержаться на растении, определяется из выражения

$$r_c \leq \sqrt{\frac{3\sigma \cos \Theta_c}{\rho_{\text{ж}} (g \sin \Theta + x'')}}. \quad (3)$$

Частица препарата и точка растения, на котором расположена данная частица, образуют систему неподвижную относительно друг друга, в каждый момент времени, поэтому их ускорения будут одинаковыми.

Определим величину ускорения произвольной точки растения, приняв его стволик за конус. В общем виде частоту произвольной формы колебаний конического стержня можно определить по формуле [4]

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{a_n^2 r}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (4)$$

где a_n — постоянная, зависящая от формы стержня и формы колебаний;

r — радиус инерции поперечного сечения, расположенного в месте жесткой заделки;

H — длина конического стержня (стволика);

E — модуль упругости растущей древесины;

ρ — плотность растущей древесины.

Для основной формы колебаний имеем

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{4,359r}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (5)$$

где r — радиус основания конуса.

Используем уравнение затухающих колебаний вершины стволика с учетом выражения (4)

$$x = A_0 e^{-\delta f t} \cos(\omega t) = A_0 e^{-\delta f t} \cos\left(\frac{a_n^2 r}{H} \sqrt{\frac{E}{\rho}} t\right). \quad (6)$$

Два раза продифференцируем последовательно уравнение (6):

$$x' = -A_0 e^{-\delta f t} (\delta f \cos(\omega t) + \omega \sin(\omega t)), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x'' &= -A_0 e^{-\delta f t} (\omega^2 \cos(\omega t) - \\ &- \delta^2 f^2 \cos(\omega t) - 2\delta f \omega \sin(\omega t)). \end{aligned} \quad (8)$$

В эти выражения входят начальное отклонение вершины стволика A_0 , частота колебаний $f(\omega)$,

зависящая от биометрических показателей растений, модуль упругости стволиков и их плотность и логарифмический декремент колебания δ . Для определения этих параметров необходимо провести дальнейшие аналитические и экспериментальные исследования упругих свойств растений.

Для обеспечения экологически безопасной работы машины, в частности, для исключения потерь пестицида с обработанных им растений выполнены исследования затухающих колебаний. В результате получены ускорения вершин растений, совершающих колебательные движения после прохода агрегата при контактной обработке, а также установлена зависимость между размером частицы рабочей жидкости, которая может удержаться на растении, и ускорением.

Материалы и методика

Опыты проводили с осинкой и березой. Сначала намеченное растение освобождали от находящейся рядом растительности (древесной и травянистой), которая могла бы оказать влияние на колебания данного растения. Затем измеряли его биометрические показатели. Потом имитировали проход через растение машины для контактной обработки [5] — вершина растения отклонялась на некоторую величину и оно совершало колебательные движения. Их снимали на цифровую камеру. Съемки проводили на фоне планшета с нанесенными на него координатными осями для увеличения контрастности получаемого изображения и фиксации величины отклонений [6, 7].

Затем растение освобождали от листьев для установления влияния сопротивления воздуха и съемку повторяли при этих же условиях (рис. 2).

Видеозаписи разделяли на кадры с шагом $\Delta t = 0,04$ с. При их расшифровке определяли отклонение вершины растения с привязкой ко времени колебаний.

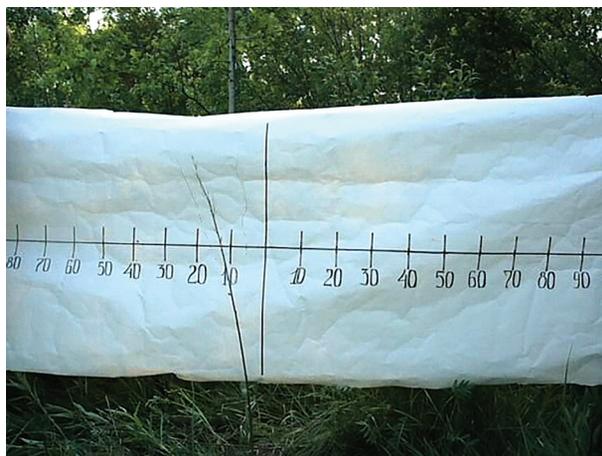


Рис. 2. Определение отклонения стволика
Fig. 2. Determination of the deflection of the tree trunk



Рис. 3. Отклонение березы с листьями в первый полупериод колебаний за 0,04 с ($d_0 = 4$ мм, $H = 0,52$ м)

Fig. 3. The deviation of the trunk of a birch with leaves in the first half-period of oscillations in 0,04 sec ($d_0 = 4$ mm, $H = 0,52$ m)

На рис. 3 показаны два соседних кадра. Береза с листьями совершает первый полупериод колебаний (движется слева направо). Видно, что с момента времени 0,60 с по момент времени 0,64 с после начала колебаний вершина проходит путь в 5 см. Таким образом, средняя скорость ее движения на этом интервале времени составляет 1,25 м/с. Скорости и ускорения вершины растения вычислялись приближенно по формулам

$$V_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad a_{cp} = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad \Delta V = V_{cp_{i+1}} - V_{cp_i}, \quad (9)$$

где V_{cp} — средняя скорость точки на промежутке времени Δt ;

ΔS — пройденный точкой путь за промежуток времени Δt ;

a_{cp} — среднее ускорение на промежутке времени Δt ;

ΔV — изменение скорости за время Δt ;

$V_{cp_i}, V_{cp_{i+1}}$ — средние скорости на двух соседних промежутках времени.

Результаты исследований показывают, что скорость и ускорение у растений без листьев существенно выше (в 2–5 раз), чем у растений с листьями. Изменение скорости и ускорения у последних происходит относительно медленно. Очевидно, это связано с сопротивлением воздуха, снижающим скорость вершины растения при колебаниях. При уменьшении скорости до некоторого порогового значения период становится постоянным (T_{const}). Установлено, что период колебаний растет с увеличением высоты растений, т. е. в целом выполняется уравнение (5).

Для растений высотой от 0,5 до 1,7 м период колебаний T увеличивается: у растений без листьев с 0,2 до 0,84 с, у растений с листьями —

с 0,56 до 1,72 с. В начале колебаний период значительно больше, чем в середине и особенно в конце. На графиках (рис. 4–6) приведено сравнение параметров колебаний, полученных экспериментально и вычисленных по теоретическим зависимостям (6)–(8). Логарифмический декремент колебания определен экспериментально. В первый период колебаний он варьируется у растений без листьев в пределах 0,38–0,76; у растений с листьями в пределах 1,14–2,14.

В связи с недостаточно высокой точностью построения графиков изменения ускорения для дальнейших расчетов приняты теоретические кривые.

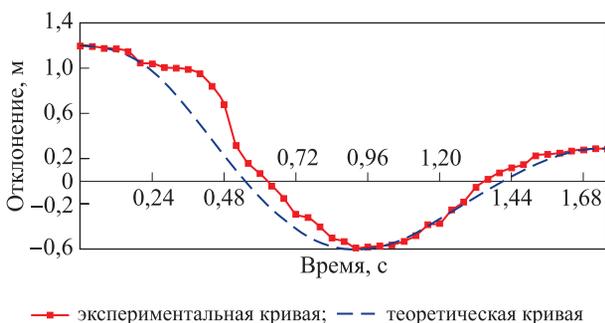


Рис. 4. График колебаний березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 4. Graph of fluctuations in birch leaves ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

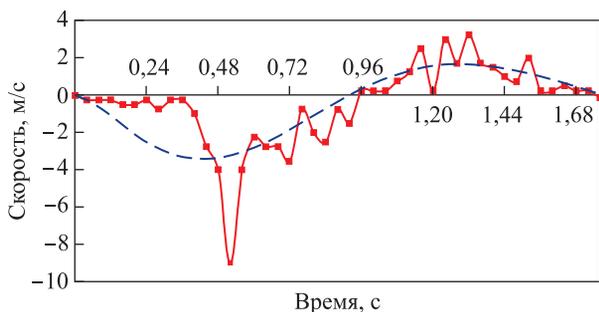


Рис. 5. График изменения скорости вершины березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 5. Chart speed change tops birch with sheets ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

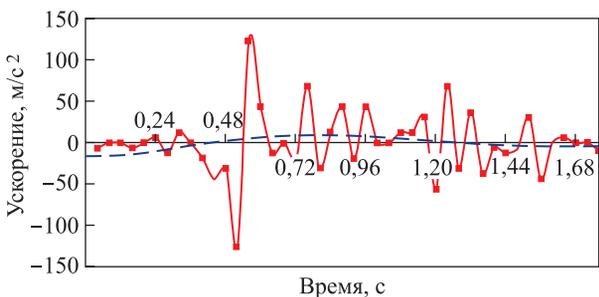


Рис. 6. График изменения ускорения вершины березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 6. The graph of change of acceleration peaks birch with sheets ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

Теоретические графики ускорений для двух пород растений показаны на рис. 7. Наибольшее ускорение в начальный момент времени находится в пределах 16...55 м/с², при этом наблюдается закономерность: чем меньше период колебаний, тем больше ускорение вершины.

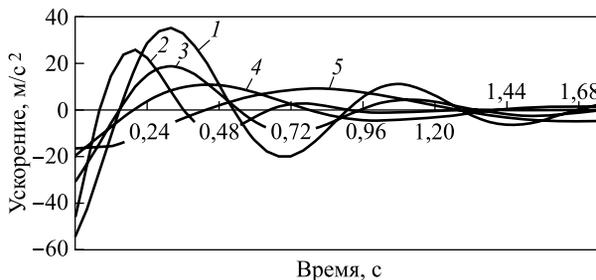


Рис. 7. График изменения ускорения вершины растений с листьями: 1 — осина ($H = 0,90$ м), 2 — осина ($H = 0,55$ м), 3 — береза ($H = 0,54$ м), 4 — береза ($H = 1,00$ м), 5 — береза ($H = 1,75$ м)

Fig. 7. A graph of the acceleration of the tops of plants with leaves: 1 — aspen $H = 0,90$ m, 2 — aspen ($H = 0,55$ m), 3 — birch ($H = 0,54$ m), 4 — birch ($H = 1,00$ m), 5 — birch ($H = 1,75$ m)

Определение потерь препарата выполнено по формуле (3). Принято: $\sigma = 0,0726$ Н/м, $\rho_{ж} = 1000$ кг/м³ при 20 °С [2, 8].

График зависимости радиуса сегмента жидкости, которая может удержаться на растении во время его колебаний, от ускорения приведен на рис. 8.

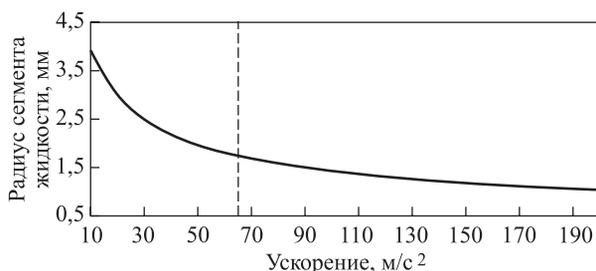


Рис. 8. Зависимость радиуса сегмента жидкости от ускорения

Fig. 8. The dependence of the radius of the segment of the fluid acceleration

При увеличении ускорения от g до максимального $a_{max} = g + x'' = 65$ м/с² (см. рис. 8) при $\Theta = 90^\circ$ радиус частицы пестицида, которая может удержаться на растении, уменьшается с 3,9 до 1,77 мм, а ее масса — с 124,9 до 11,6 мг. Левая часть графика (до вертикальной линии) отражает реально возможные значения ускорений вершин растений при контактной обработке.

Результаты

С учетом того, что при химическом уходе контактным способом норма расхода жидкости не превышает 38 л/га [9, 10], определена толщина

наносимой на растения пленки рабочего раствора. Рассчитано соответствующее этой толщине ускорение, способное оторвать частицу препарата от растения. Толщина пленки раствора составляет 0,7 мм при ускорении вершины, равном 400 м/с^2 . Таким образом, для самых неблагоприятных условий обработки имеется почти четырех кратный запас по ускорению на отрыв.

Список литературы

- [1] Прикладная механика: учеб. пособие для вузов // под ред. В.М. Осецкого, 2-е изд. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.
- [2] Бэтчелер Дж. Введение в динамику жидкости / под ред. Г.Ю. Степанова; пер. с англ. М.: Мир, 1973. 760 с.
- [3] Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. М.: Стройиздат, 1990. 247 с.
- [4] Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. 2-е изд. М.: Комкнига, 2006. 440 с.
- [5] Котов А.А. Исследования колебаний стволиков древесных растений // Лесное хозяйство, 2012. № 5. С. 47–48.
- [6] Котов А.А. Новые машины для химического ухода в лесных питомниках и культурах // Лесное хозяйство, 2010. № 3. С. 44–46.
- [7] Котов А.А. Экспериментальные исследования параметров колебаний древесных растений // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 5. С. 196–199.
- [8] Скобелицын Ю.А. Истечение жидкостей через насадки, отверстия, распылители, водовыпуски, капельницы. Краснодар: КСХИ, 1989. 120 с.
- [9] Львов С.И., Путятин Ю.П., Шашова М.В. Контактный способ нанесения гербицидов и арборицидов // Лесное хозяйство, 1990. № 12. С. 43–45.
- [10] Шутов И.В., Бельков В.П., Мартынов А.Н. Применение гербицидов и арборицидов в лесовыращивании: справочник. М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.

Сведения об авторах

Котов Алексей Александрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov@mgul.ac.ru

Алябьев Алексей Федорович — аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), olgaalexrud@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017 г.

THE STUDY OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE DESTRUCTION UNDESIRABLE WOODY VEGETATION BY CHEMICAL METHOD

A.A. Kotov, A.F. Alyabiev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kotov@mgul.ac.ru

During contact application arboricideto unwanted woody plants, they are rejected by the working body of the machine, and after its passage do damped oscillations, at which the possible shedding of particles of the drug from the plants under the action of inertial forces. The aim of this work is a theoretical and experimental study of kinematic parameters of the oscillations of the trunks of woody vegetation under chemical care contact way to eliminate losses of working fluid applied on the plants, as well as the determination of the particle size of the drug, able to stay on the plants at different values of acceleration. Consider the forces acting on a particle of working fluid applied to the plant. Thus we consider two cases of location of its plant. The analytical expressions of particle size, able to stay on the plant, and acceleration of the top of the plant are received. To determine the acceleration necessary experimental determination of the initial deflection of the top of the barrel, the oscillation frequency and logarithmic decrement of the oscillations. Therefore, with the help of video from a birch and an aspen performed experiments to determine these parameters. To determine the effect of air resistance, the plant is then freed from the leaves, and the recording was repeated under the same conditions. When you decrypt the videos first, the plots of the deviations of the tops of the plants, and then by the method of graphical differentiation of the obtained dependence of the acceleration peaks as the duration of the oscillations. The comparison of the fluctuation parameters obtained experimentally and calculated from the theoretical dependencies. The period of oscillations for plant height, respectively, from 0,5 to 1,7 m without leaves varies from 0,2 to 0,84 with, for plants with leaves from a 0,56 to 1,72 C. Moreover, at the beginning of the oscillation period is much longer than in their middle and end, especially for plants with leaves. Obviously, this is due to air resistance, slowing the tops of plants with fluctuations. There has been discovered the experimental dependence of the size of drug particles from the acceleration.

Keywords: weeds, contact application of pesticides, the fluctuations of plants, acceleration, experiment, ecology

Suggested citation: Kotov A.A., Alyab'ev A.F. *Issledovanie ekologicheskoy bezopasnosti unichtozheniya nezhelatel'noy drevesnoy rastitel'nosti khimicheskim metodom* [The study of ecological safety of the destruction undesirable woody vegetation by chemical method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 19–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-19-24

References

- [1] *Prikladnaya mekhanika: ucheb. posobie dlya vuzov; pod red. V.M. Osetskogo* [Applied mechanics: proc. manual for schools; ed. by V. M. Osickova]. Moscow: Mashinostroenie publ., 1977. 488 p.
- [2] Batchelor J. Introduction to fluid dynamics (Russ. ed.: Batchelor J. *Vvedenie v dinamiku zhidkosti*. Moscow, Mir Publ., 1973.760 p.).
- [3] Kalicun V.I., Drozdov E.V. *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Fundamentals of hydraulics and aerodynamics]. Moscow: Stroizdat publ., 1990. 247 p.
- [4] Timoshenko S.P. Fluctuations in engineering (Russ. ed.: Timoshenko S.P. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow: Komkniga publ., 2006, 440 p.).
- [5] Kotov A.A. *Novye mashiny dlya khimicheskogo ukhoda v lesnykh pitomnikakh i kul'turakh* [New machines for the chemical of care in nurseries and forest cultures]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2010, no. 3, pp. 44–46.
- [6] Kotov A.A. *Issledovaniya kolebaniy stvolikov drevesnykh rasteniy* [Investigation of vibrations of trunks of woody plants]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2012, no. 5, pp. 47–48.
- [7] Kotov A.A. *Ekspperimental'nye issledovaniya parametrov kolebaniy drevesnykh rasteniy* [An experimental study of the parameters of the oscillations of woody plants]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 5, pp. 196–199.
- [8] Skobelitsyn Yu.A. *Istechenie zhidkostey cherez nasadki, otverstiya, raspyliteli, vodovypuski, kapel'nitsy* [The outflow of fluids through nozzles, holes, sprays, water outlets, droppers]. Krasnodar: KSKhI, publ. 1989, 120 p.
- [9] 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.
- [10] Shutov I.V., Bel'kov V.P., Martynov A.N. *Primeneniye gerbitsidov i arboritsidov v lesovyrashchivanii* [The use of herbicides and arboritsidy when growing forests]. Moscow: Agropromizdat publ., 1989, 223 p.

Author's information

Kotov Aleksey Aleksandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), kotov@mgul.ac.ru

Alyabiev Aleksey Fedorovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), alyabiev@mgul.ac.ru

Received 16.06.2017