

Методика оптимизации некоторых параметров автоматизированного лесного питомника

С.Н. Орловский^{1а}, А.И. Карнаухов^{2б}, В.А. Соколова^{3с}, А.А. Ореховская^{4д},
С.А. Партко^{5е}, А.С. Кривоногова^{6ф}, С.В. Алексеева^{7г}

¹ Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск, Россия

² Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, 82, Красноярск, Россия

³ Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, 18, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, ул. Вавилова, 1, пос. Майский, Белгородская обл., Россия

⁵ Донской государственный технический университет, пл. Гагарина, 1, Ростов-на-Дону, Россия

⁶ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия

⁷ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, 4, Санкт-Петербург, Россия

^а orlovskiysergey@mail.ru, ^б sky_angel_33@mail.ru, ^с sokolova_vika@inbox.ru, ^д orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru, ^е parlana@rambler.ru, ^ф kas.spb.lta@mail.ru, ^г pum222@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0001-8904-834X>, ^б <https://orcid.org/0000-0002-7284-2050>, ^с <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>,

^д <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>, ^е <https://orcid.org/0000-0002-8568-0716>, ^ф <https://orcid.org/0000-0001-6320-7197>,

^г <https://orcid.org/0000-0002-0629-5650>

Статья поступила 06.10.2022, принята 27.10.2022

Интенсификация лесохозяйственного питомнического хозяйства и снижение трудоемкости работ в нем могут быть достигнуты благодаря совершенствованию агротехники выращивания и комплексной механизации производственного процесса посадки лесных культур и ухода за ними. При решении этих задач, связанных с оптимизацией параметров экономической системы эксплуатации лесного питомника, приходится минимизировать суммарные затраты на выполнение всех видов работ по выращиванию саженцев и уходу за ними. Цель работы — определить оптимальную площадь автоматизированного лесного питомника и оптимальную ширину тягового моста, которая обеспечит выполнение работ по подготовке почвы, посадке, уходу и выкопке сеянцев лесных культур без выполнения трудоемких работ, затрат горючего и при полной механизации и автоматизации технологического процесса. Использование автоматизированного, управляемого компьютером агромоста даст возможность перейти к «безлюдной» технологии обработки почвы и ухода за растениями в лесном питомнике. Для этого предлагается применить специальную катящуюся по рельсам ферму, на которой расположена тележка, передвигающаяся по ней в поперечном направлении, неся сменные почвообрабатывающие орудия (плуг, борону, культиватор, сажалку, выкопчные приспособления и др.). Перемещение фермы и тележки должно обеспечить их точное позиционирование относительно посадочных мест. Работа может выполняться без участия человека и затрат труда, горючего и времени. При этом требуется выбрать технологию работ, предложить конструкцию технического средства для ее выполнения и обосновать необходимость его применения. Использование агромоста снижает трудоемкость лесовосстановительных работ, а также трудоемкость за счет применения новой технологии.

Ключевые слова: питомник; агромост; технология; затраты; эффективность; саженцы; оптимизация; площадь; методика.

Methodology for optimization of some parameters of automated forest nursery

S.N. Orlovskiy^{1а}, A.I. Karnauhov^{2б}, V.A. Sokolova^{3с}, A.A. Orekhovskaya^{4д},
S.A. Partko^{5е}, A.S. Krivonogova^{6ф}, S.V. Alekseeva^{7г}

¹ Krasnoyarsk State Agrarian University; 90, Mira Pros., Krasnoyarsk, Russia

² Reshetnev Siberian State Aerospace University; 82, Mira Pros., Krasnoyarsk, Russia

³ St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy; 18, Bolshaya Morskaya St., St. Petersburg, Russia

⁴ Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin; Mayskiy, Belgorod region, 1, Vavilov St., Russia

⁵ Don State Technical University; 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russia

⁶ St. Petersburg State Forest Technical University; 5, Institutsky Per., St. Petersburg, Russia

⁷ St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 4, Vtoraya Krasnoarmeiskaya St., St. Petersburg, Russia

^a orlovskiysergey@mail.ru, ^b sky_angel_33@mail.ru, ^c sokolova_vika@inbox.ru, ^d orehovskaja_aa@bsaa.edu.ru,

^e parlana@rambler.ru, ^f kas.spb.lta@mail.ru, ^g pum222@mail.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-8904-834X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-7284-2050>, ^c <https://orcid.org/0000-0001-6880-445X>,

^d <https://orcid.org/0000-0001-8149-7191>, ^e <https://orcid.org/0000-0002-8568-0716>, ^f <https://orcid.org/0000-0001-6320-7197>,

^g <https://orcid.org/0000-0002-0629-5650>

Received 06.10.2022, accepted 27.10.2022

The intensification of the forestry nursery economy and the reduction of the labor intensity of work in it can be achieved by improving the agricultural technology of growing and complex mechanization of the production process of planting forest crops and caring for them. When solving these problems related to optimizing the parameters of the economic system for the operation of a forest nursery, it is necessary to minimize the total costs for performing all types of work on growing seedlings and caring for them. The purpose of the work is to determine the optimal area of the automated forest nursery and the optimal width of the traction bridge, which will ensure the performance of soil preparation, planting, care, and digging of seedlings of forest crops without labor-intensive work, fuel costs and with full mechanization and automation of the technological process. The use of an automated, computer-controlled agro-bridge will make it possible to switch to a "unmanned" technology of tillage and plant care in a forest nursery. For this, it is proposed to use a special farm rolling on rails, on which a trolley is located, moving along it in the transverse direction, carrying replaceable tillage tools (plough, harrow, cultivator, planter, digging devices, etc.). The movement of the truss and cart must ensure their precise positioning relative to the seats. Work can be performed without human intervention and the cost of labor, fuel and time. At the same time, it is required to choose the technology of work, propose the design of a technical means for its implementation and justify the need for its application. The use of an agrobridge reduces the complexity of reforestation work, reduces labor intensity through the use of new technology.

Key words: nursery; agricultural bridge; technology; costs; efficiency; seedlings; optimization; area; methodology.

Введение. В настоящее время в Российской Федерации более 80 % лесных культур создается посадкой семян и саженцев, выращивание которых организовано в лесных питомниках. Дальнейшая интенсификация питомнического хозяйства будет осуществляться не за счет роста посевных площадей, а в результате увеличения выхода стандартного посадочного материала с единицы площади, на основе совершенствования агротехники выращивания, применения удобрений и комплексной механизации всех производственных процессов [1; 18; 19].

При решении ряда задач, связанных с оптимизацией параметров экономической системы, приходится минимизировать суммарные затраты. Как правило, одна группа затрат в этом случае с возрастанием независимого переменного увеличивается, вторая — уменьшается, третья — остается постоянной. Например, в сельском хозяйстве с ростом количества техники, приходящейся на единицу посевной площади, затраты на реновацию увеличиваются, потери урожая из-за проведения работ в более короткие сроки сокращаются, а затраты на заработную плату и ремонт техники, отнесенные на единицу работы, остаются практически постоянными [2; 3; 20; 21].

Описание объекта исследования. Если функциональные зависимости представленных затрат известны, то наша задача — определить площадь питомника так, чтобы выход продукции на 1 р. приведенных затрат был максимальным.

Целевая функция имеет следующий вид:

$$C = \frac{r_0}{\sum_{i=1}^9 \pi_i} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где $\sum_{i=1}^9 \pi_i$ — сумма всех затрат по выращиванию саженцев в питомнике, p ; π_0 — реализация продукции, p .

Сумму всех затрат (p) по выращиванию саженцев в автоматизированном лесном питомнике найдем из выражения [4]:

$$\sum_{i=1}^9 \pi_i = \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 + \pi_6 + \pi_7 + \pi_8 + \pi_9,$$

где π_1 — затраты по укладке рельсовых путей; π_2 — затраты на приобретение тягового моста; π_3 — стоимость семян; π_4 — зарплата производственным рабочим; π_5 — стоимость машин; π_6 — затраты на электроэнергию; π_7 — затраты на содержание зданий и сооружений; π_8 — стоимость вспомогательных материалов; π_9 — транспортные затраты.

Определим затраты по укладке рельсовых путей.

Пусть площадь питомника S , его длина l_1 , ширина l_2 , ширина тягового моста l_3 (см. рисунок). Чтобы обработать всю площадь питомника, необходимо проложить $2/3$ продольных и $2l_2$ поперечных рельсов. Затраты на прокладку рельсов пропорциональны их длине, т. е. [5–9; 22]:

$$\pi_1 = \beta_1 [a_0 \left(\frac{l_2}{l_3} + 1 \right) l_1 + 2a_0 l_2], \quad (2)$$

где a_0 — стоимость укладки 1 пог. м рельсового пути, p ; β_1 — коэффициент, учитывающий норму амортизации, текущий ремонт и коэффициент эффективности.

Стоимость тягового моста выразим аналитической зависимостью в виде параболы:

$$\pi_2 = \beta_2 b_0 G = \beta_2 b_0 (A_0 B l_3^2), \quad (3)$$

где β_2 — коэффициент, учитывающий норму амортизации, текущий ремонт и коэффициент эффективности; b_0 — стоимость единицы изготовления устройства, p ; G — вес тягового моста, m ; A_0 — постоянная составляющая веса тягового моста, не зависящая от его ширины; $B l_3^2$ — часть веса тягового моста, зависящая от его ширины, m .

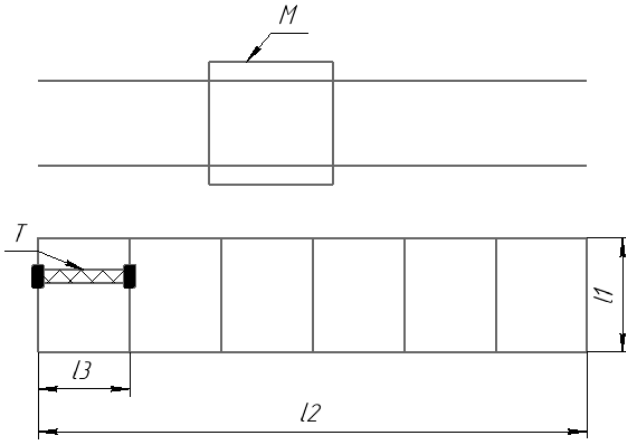


Рис. Схема движения тягового моста в автоматизированном лесном питомнике: Т — тяговый мост; l_1 — длина питомника; l_2 — ширина питомника; l_3 — ширина тягового моста; М — механизм переезда

Для определения оптимальных значений l_1 , l_2 , l_3 минимизируем функцию:

$$\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 = \beta_1 \left[a_0 \left(\frac{l_2}{l_3} + 1 \right) l_1 + 2a_0 l_2 \right] + \beta_2 b_0 A_0 + \beta_2 b_0 B l_3^2 \quad (4)$$

Учитывая соотношение:

$$l_1 l_2 = S \quad (5)$$

и подставив из выражения (3) в уравнение (2), получим:

$$\Pi = \beta_1 a_0 \left(\frac{l_2}{l_3} + 1 \right) \frac{S}{l_2} + 2\beta_1 a_0 l_2 + \beta_2 b_0 (A_0 + B l_3^2). \quad (6)$$

Взяв частные производные и $\frac{\partial \Pi}{\partial l_2}$ от функции (4), приравняв их к нулю и решив полученные уравнения относительно l_2 и экстремальные значения l_2 и l_3 [10–12]:

$$l_2 = \sqrt{\frac{S}{2}} \quad (7)$$

$$l_3 = \sqrt[3]{\frac{a_0 S}{2b_0 B}} \quad (8)$$

$$l_1 = \sqrt{2S} \quad (9)$$

С учетом формул (5–7):

$$\Pi_2 = \beta_2 b_0 A_0 + \frac{\beta_2^3 \sqrt[3]{b_0 B a_0^2}}{\sqrt[3]{4}} \sqrt[3]{S^2},$$

$$\Pi_3 = \sum_{i=1}^n a_i b_i n_i S,$$

где a_i — коэффициент пропорциональности; b_i — стоимость Γ кг семян 1-й культуры, p ; n_i — норма высева семян 1-й культуры на 1 га, $кз/га$;

$$\Pi_4 = a_1 S,$$

где a_1 — коэффициент пропорциональности;

$$\Pi_5 = \beta_3 A_1,$$

где A_1 — стоимость машин, p ; β_3 — коэффициент, учитывающий норму амортизации, текущий ремонт и коэффициент эффективности;

$$\Pi_6 = a_2 S,$$

где a_2 — коэффициент пропорциональности;

$$\Pi_7 = \beta_4 A_2$$

где A_2 — стоимость всех зданий, p ; β_4 — коэффициент, учитывающий норму амортизации, текущий ремонт и коэффициент эффективности;

$$\Pi_8 = a_3 S,$$

где a_3 — коэффициент пропорциональности;

$$\Pi_4 = dRQ + CQ, \quad (10)$$

где d — стоимость 1 т·км по тарифам, $p./m \cdot км$; R — расстояние, на которое перевозятся саженцы (сеянцы), $км$; Q — вес перевозимых саженцев (сеянцев), $т$; C — стоимость погрузочно-разгрузочных работ, $p./m$.

Результаты и их обсуждение. Зависимость R и Q от площади питомника найдем, исходя из следующих соображений [13–15; 22–25].

Пусть площадь гослесфонда, на территории которого расположены лесхозы, равна F . Лесхозы края (области и или республики) должны производить ежегодно посадку саженцев (сеянцев) i -й культуры на площади S_{oi} . Пусть норма посадки саженцев (сеянцев) a_{i1} . Тогда лесхозам края (области или республики) для проведения лесопосадочных работ необходимо $S_{oi} a_{i1}$ саженцев (сеянцев).

Введем понятие плотности саженцев (сеянцев) i -й культуры:

$$\eta_{oi} = \frac{S_{oi} a_{i1}}{F} \quad (11)$$

Выход саженцев (сеянцев) в питомнике пропорционален его площади:

$$\sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n a_{6i} S, \quad (12)$$

где a_{6i} — коэффициент пропорциональности при выращивании i -й культуры.

Принимая в первом приближении зону, которую может обслужить питомник площадью S , в виде круга, имеем:

$$\sum_{i=1}^n N_i = \sum_{i=1}^n \pi R^2 \eta_{oi}, \quad (13)$$

где R — радиус обслуживания питомника, расстояние перевозки саженцев (сеянцев), $км$.

Тогда:

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{6i}}{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} \sqrt{S} \quad (14)$$

Вес перевозимых саженцев (сеянцев) i -й культуры найдем из выражения:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i a_{6i} S}{1000} \quad (15)$$

где ξ_i — вес 1 000 саженцев (сеянцев) i -й культуры.

С учетом формул (8), (9), (10):

$$\Pi_9 = \frac{\sum_{i=1}^n d \xi_i a_{6i}}{1000} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{6i}}{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} S \sqrt{S} + \frac{\sum_{i=1}^n c \xi_i a_{6i}}{1000} S$$

Выход реализованной продукции определим из выражения [16; 17]:

$$\Pi_0 = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \gamma_i \sigma_i}{1000} S,$$

где c_i — отпускная цена 1 000 саженцев (сеянцев) 1-й культуры, p_i ; γ_i — выход саженцев (сеянцев) 1-й культуры с 1 га площади, $шт.$; σ_i — часть площади питом-

ника, с которой имеется ежегодный выход саженцев (сеянцев) 1-й культуры.

Целевая функция (1) примет окончательный вид:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \gamma_i \sigma_i}{1000} \frac{S}{\left(\beta_1 \sqrt[3]{2} + \frac{\beta_2}{\sqrt[3]{4}}\right)^3 \sqrt[3]{a_0^2 b_0 B^3 \sqrt{S^2} + 2^2 \sqrt{2} \beta_1 \sqrt{S} + (\sum_{i=1}^n a_i b_i n_i + a_1 + a_2 + a_3) S + \frac{\sum_{i=1}^n c_i^2 a_{6i}}{1000} S + \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 a_{6i}}{1000} S} + \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 a_{6i}}{1000} S + \frac{\sum_{i=1}^n a_{6i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} * S \sqrt{S} + \beta_2 b_0 A_0 + \beta_3 A_1 + \beta_4 A_2 \rightarrow \max$$

Для нахождения оптимальной площади питомника необходимо взять производную от целевой функции $\frac{\partial U}{\partial S}$, приравнять к нулю и решить полученное уравнение относительно S .

В данном случае необходимо решить уравнение:

$$\frac{1}{3} (\beta_1 \sqrt[3]{2} + \frac{\beta_2}{\sqrt[3]{4}})^3 \sqrt[3]{a_0^2 b_0 B^3 \sqrt{S^2} + (2 - \beta_1) \sqrt[3]{2} a_0 \sqrt{S}} - \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 a_{6i}}{2000} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{6i}}{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} S \sqrt{S} + \beta_2 b_0 A_0 + \beta_3 A_1 + \beta_4 A_2 = 0 \quad (16)$$

Обозначив:

$$\begin{aligned} \sqrt[6]{S} &= Y \\ \frac{1}{3} (\beta_1 \sqrt[3]{2} + \frac{\beta_2}{\sqrt[3]{4}})^3 \sqrt[3]{a_0^2 b_0 B^3} &= D_1 \\ (2 - \beta_1) \sqrt[3]{2} a_0 &= D_2 \\ \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 a_{6i}}{2000} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_{6i}}{\sum_{i=1}^n \pi \eta_{oi}}} &= D_3 \\ \beta_2 b_0 A_0 + \beta_3 A_1 + \beta_4 A_2 &= D_4 \end{aligned}$$

Заключение. Получим следующее уравнение для нахождения оптимальной программы:

$$D_1 Y^4 + D_2 Y^3 + D_3 Y^9 + D_4 = 0$$

Для нахождения численных значений оптимальной площади нами рассматривались такие варианты автоматизированного лесного питомника:

1. Выращивание двухлетних сеянцев сосны и трехлетних сеянцев ели с выходом 4 млн шт./га.

2. Выращивание двухлетних сеянцев сосны, трехлетних елей и двухлетних саженцев сосны соответственно с выходом:

- 3 млн и 1 млн шт./га;
- 3 200 тыс. и 800 тыс. шт./га;
- 3 400 тыс. и 600 тыс. шт./га;
- 3 600 тыс. и 400 тыс. шт./га.

3. Выращивание крупномерного посадочного материала четырехлетней сосны и пятилетней ели с выходом:

- 1 млн шт./га;
- 800 тыс. шт./га;
- 600 тыс. шт./га;
- 400 тыс. шт./га.

Расчеты показали, что оптимальная площадь автоматизированного лесного питомника и оптимальная ширина тягового моста составляют соответственно при 1-м варианте — 20 га, 34 м; при 2-м варианте в случае а, б, в — 15 га, 31 м; в случае г — 16 га, 31 м; при 3-м варианте в случае а — 30 га, 39 м; б — 40 га, 42 м; в — 40 га, 46 м; г — 75 га, 52 м.

Предложенная методика позволяет определить оптимальную площадь автоматизированного лесного питомника и ширину тягового моста для любой области.

Литература

- ВНИИПОМлесхоз. Разработки института. Каталог. Красноярск, 1989. 24 с.
- Волков Р.С. Технология и механизация выращивания укрупнённого посадочного материала хвойных пород в питомниках Восточной Сибири // Современные машины и механизмы в лесном хозяйстве: сб. науч. тр. Красноярск: ВНИИМлесхоз, 1973. Вып. 1. С. 73-81.
- Корнеподрезчик КН-1,2. Технические условия. Красноярск: ВНИИМлесхоз, 1973. 27 с.
- Орловский С.Н. Проектирование машин и оборудования для садово - паркового и ландшафтного строительства. Красноярск: СИБГТУ, 2004. 108 с.
- Герасимов М.И., Кухар И.В. Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды. Красноярск: СГТУ, 1999. 48 с.
- Саламатов Ю.П. Система законов развития техники. 2-е изд. Красноярск, 1996. 87 с.
- Вторая международная конференция по самовосстанавливаемому земледелию на основе системного подхода No-Till (17-20 авг. 2005 г.). Днепропетровск: Изд-во «Агро-Союз», 2005. 243 с.

- Жуков Ю.Н. Автоматизированный мостовой агротехнический комплекс - АМАК // Сеятели и хранители: в 2-х кн. М.: Современник, 1992. Кн. 2. 527 с.
- Жалнин Э.В., Муфтеев Р.С. История развития и перспективы внедрения мостового растениеводства // Тракторы и с.-х. машины. 2002. № 5. С. 23-30.
- Овчинников Ф.М., Чупров В.И. Задачи научных исследований по автоматизации выращивания посадочного материала древесных пород // Современные машины и механизмы в лесном хозяйстве: сб. науч. тр. ВНИИМлесхоза. Красноярск, 1976. Вып. II. С. 45-47.
- Безрукий Л.П., Макеев Н.К. От серпа до комбайна. Мн.: Ураджай, 1984. 239 с.
- Владимиров И.А. С плугом по кругу // Изобретатель и рационализатор. 1990. № 6. С. 3-5.
- Корниенко П.П., Сериков Ю.М., Зинин В.Ф., Казаков В.И. Механизация обработки почвы под лесные культуры. М.: Агропромиздат, 1987. 247 с.
- Коршун В.Н., Карнаузов А.И., Кухар И.В. Метод анализа технологических машин для лесного хозяйства // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). С. 163-169.
- Кураев В.Н., Шестакова В.А. Изменение свойств почвы при различных способах подготовки их к лесным культурам // Лесоведение. 1970. № 1. С. 75-82.

16. Кухар И.В. Роторная машина для послойной обработки почв // Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона: сб. ст. по материалам межрегион. науч.-практической конф. школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых (19 февр. 2014 г.). Красноярск: СибГТУ, 2014. Т. I. С. 80-81.
17. Орловский С.Н., Кухар И.В. Технология послойного фрезерования почв при их обработке под лесные культуры и орудие для ее выполнения // Сиб. лесной журнал. 2017. № 3. С. 74-80.
18. Hosseini M.S., Dohenbusch A., Skoupy A., Armoon R., Macku J. The study of deficit irrigation for forest semiarid areas // Environment and Ecology Research. 2016. V. 4. № 3. P. 119-127.
19. Payero J.O., Yonts C.D., Tarkalson D. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation // Extension. Un. Nebraska, 2005. P. 1-8.
20. Shock C.C., Shock B.M., Welch T. 2013. Strategies for Efficient Irrigation Water Use, Sustainable Agriculture Techniques, EM 8783: 1-6.
21. Robert G. Evans. Irrigation Technologies Comparisons. Factors Affecting The Choice Of An Irrigation System USDA-ARS-NPARRL. Sidney, Montana 59270. 2016. P. 34-50.
22. Robinson A.P., Ek A.R. The Consequences of Hierarchy for Modeling in Forest Ecosystems // Canadian Journal of Forest Research. 2000. V. 30. № 10. P. 1837-1846.
23. Larocque G.R. Forest Models. Encyclopedia of Ecology. Ed. by S.E. Jorgensen, B.D. Fath. Amsterdam, Elsevier, 2008. P. 1663-1673.
24. Zhang X., Cao Q.V., Wang H., Duan A., Zhang J. Projecting Stand Survival and Basal Area Based on a Self-Thinning Model for Chinese Fir Plantations. Forest Science. 2020. V. 66, iss. 3. P. 361-370.
25. Wasterlung Extent and causes of site damage due to forestry traffic // Scandinavian Journal of Forest Research. 1992. V. 7. № 1. P. 135-142.
8. Zhukov YU.N. Automated bridge agrotechnical complex - AMAK // Seyateli i hraniteli: v 2-h kn. M.: Sovremennik, 1992. Kn. 2. 527 p.
9. Zhalnin E.V., Mufteev R.S. History of development and prospects for the introduction of bridge crop production // Tractors and Agricultural Machinery. 2002. № 5. P. 23-30.
10. Ovchinnikov F.M., Chuprov V.I. Tasks of scientific research on automation of growing planting material of wood species // Sovremennye mashiny i mekhanizmy v lesnom hozyajstve: sb. nauch. tr. VNIIMleskhoza. Krasnoyarsk, 1976. Vyp. II. P. 45-47.
11. Bezrukij L.P., Makeev N.K. From sickle to combine. Mn.: Uradzhaj, 1984. 239 p.
12. Vladimirov I.A. With a plow in a circle // Izobretatel' i racionalizator. 1990. № 6. P. 3-5.
13. Kornienko P.P., Serikov YU.M., Zinin V.F., Kazakov V.I. Mechanization of soil cultivation for forest crops. M.: Agropromizdat, 1987. 247 p.
14. Korshun V.N., Karnauhov A.I., Kuchar I.V. Method of analysis of technological machines for forestry // Systems. Methods. Technologies. 2016. № 2 (30). P. 163-169.
15. Kuraev V.N., Shestakova V.A. Changing soil properties in various methods of preparing them for forest crops // Russian Journal of Forest Science. 1970. № 1. P. 75-82.
16. Kuchar I.V. Rotary machine for layer-by-layer soil treatment // Ekologicheskoe obrazovanie i prirodopol'zovanie v innovacionnom razvitii regiona: sb. st. po materialam mezhtregion. nauch.-prakticheskoj konf. shkol'nikov, studentov, aspirantov i molodyh uchenyh (19 fevr. 2014 g.). Krasnoyarsk: SibGTU, 2014. V. I. P. 80-81.
17. Orlovskij S.N., Kuchar I.V. Technology of layer-by-layer milling of soils during their processing for forest crops and a tool for its implementation // Siberian Journal of Forest Science. 2017. № 3. P. 74-80.
18. Nosseini M.S., Dohenbusch A., Skoupy A., Armoon R., Macku J. The study of deficit irrigation for forest semiarid areas // Environment and Ecology Research. 2016. V. 4. № 3. P. 119-127.
19. Payero J.O., Yonts C.D., Tarkalson D. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation // Extension. Un. Nebraska, 2005. P. 1-8.
20. Shock C.C., Shock B.M., Welch T. 2013. Strategies for Efficient Irrigation Water Use, Sustainable Agriculture Techniques, EM 8783: 1-6.
21. Robert G. Evans. Irrigation Technologies Comparisons. Factors Affecting The Choice Of An Irrigation System USDA-ARS-NPARRL. Sidney, Montana 59270. 2016. P. 34-50.
22. Robinson A.P., Ek A.R. The Consequences of Hierarchy for Modeling in Forest Ecosystems // Canadian Journal of Forest Research. 2000. V. 30. № 10. P. 1837-1846.
23. Larocque G.R. Forest Models. Encyclopedia of Ecology. Ed. by S.E. Jorgensen, B.D. Fath. Amsterdam, Elsevier, 2008. P. 1663-1673.
24. Zhang X., Cao Q.V., Wang H., Duan A., Zhang J. Projecting Stand Survival and Basal Area Based on a Self-Thinning Model for Chinese Fir Plantations. Forest Science. 2020. V. 66, iss. 3. P. 361-370.
25. Wasterlung Extent and causes of site damage due to forestry traffic // Scandinavian Journal of Forest Research. 1992. V. 7. № 1. P. 135-142.

References

1. VNIIPOMleskhov. Institute developments. Katalog. Krasnoyarsk, 1989. 24 p.
2. Volkov R.S. Technology and mechanization of growing enlarged planting material of conifers in nurseries of Eastern Siberia // Sovremennye mashiny i mekhanizmy v lesnom hozyajstve: sb. nauch. tr. Krasnoyarsk: VNIIMleskhov, 1973. Vyp. I. P. 73-81.
3. Root carver KN-1,2. Specifications. Krasnoyarsk: VNIIMleskhov, 1973. 27 p.
4. Orlovskij S.N. Design of machinery and equipment for garden - park and landscape construction. Krasnoyarsk: SibGTU, 2004. 108 p.
5. Gerasimov M.I., Kuchar I.V. Machines and equipment of environmental management and environmental protection. Krasnoyarsk: SGTU, 1999. 48 p.
6. Salamatov YU.P. System of laws for the development of technology. 2-e izd. Krasnoyarsk, 1996. 87 p.
7. Second International Conference on Self-Healing Agriculture Based on the No-Till System Approach (17-20 avg. 2005 g.). Dnepropetrovsk: Izd-vo «Agro-Soyuz», 2005. 243 p.