

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ЗАГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОЙ ЗЕЛЕНИ ХВОЙНЫХ ПОРОД

магистрант **В.И. Морозов**

кандидат технических наук, доцент **Н.А. Петрушева**

Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация

Настоящее исследование посвящено разработке процесса заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород при помощи мобильной установки с дальнейшим расчетом ее производительности. Во время исследования были рассмотрены действующие технологии заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород. Достоинства данных технологий состоят в том, что они включают в себя комплексную переработку древесной зелени с целью сохранения витаминов и других полезных веществ для производства различной продукции, основными недостатками являются использование стационарного оборудования на территории производителя, что негативно сказывается на сохранении эфирных масел, содержащихся в хвое. В результате анализа было установлено, что при хлыстовой заготовке происходит потеря сырья на этапах валки и трелевки, для заготовки используются стационарные отделители древесной зелени, а ее переработка происходит на заводах – изготовителях продукции из древесной зелени; при сортиментной заготовке отделенные сучья с ветвями, содержащие хвойные побеги, могут собираться как порубочные остатки для формирования куч с последующим сжиганием. На основании данного анализа предлагается технология с использованием разрабатываемой мобильной установки, способной располагаться как на территории лесосеки, так и на погрузочной площадке. Составлены информационно-логическая и математическая модели, исходя из которых была выведена формула производительности установки и выявлена зависимость наиболее значимого фактора, влияющего на производительность установки. Так, при минимальных временных затратах производительность составит $36,1 \text{ м}^3$, при максимальных временных затратах производительность составит $25,3 \text{ м}^3$.

Ключевые слова: древесная зелень, заготовка, переработка, хвоя, мобильность

TECHNOLOGY OF CONIFEROUS FOLIAGE HARVESTING AND PROCESSING

Master's Degree Student **V.I. Morozov**

PhD (Engineering), Associate Professor **N.A. Petrusheva**

Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology",
Lesosibirsk, Russian Federation

Abstract

The present study is devoted to the development of harvesting and processing coniferous wood greens using a mobile unit with further calculation of its productivity. During the study, the existing technologies for the preparation and processing of coniferous wood greens were considered. The advantages of these technologies are that they include the integrated processing of wood greens to preserve vitamins and other useful substances for the production of various products. The main disadvantages are the use of stationary equipment for the territory of the manufacturer, which negatively affects the preservation of the essential oils contained in the needles. As a result of the analysis, it was found that there is a loss of raw materials at the stages of felling and skidding during tree-length harvesting. Stationary harvesting of green wood is used for harvesting, and its processing occurs at plants manufacturing wood green products. Separated branches containing coniferous shoots can be collected as chopping residues in cut-to-length to form heaps with subsequent burning. Based on this analysis, we propose a technology using the developed mobile unit that can be located both in the cutting area and at the loading site. The information-logical and mathematical models have been compiled

based on which the formula for the plant performances have been derived and the dependence of the most significant factor affecting the plant performance was revealed. So the productivity is 36.1 m³ at the minimum time costs, the productivity is 25.3 m³ at the maximum time costs.

Keywords: foliage, harvesting, processing, needles, mobility

Введение

М.И. Зайцева (2014) исследовала проблему использования отходов лесозаготовок в виде древесной зелени хвойных пород. В ходе лесозаготовок хвойные деревья и кустарники валяются на землю, и происходит процесс обрубки сучьев с хвоей. Деловую древесину увозят, а сучьями либо устилают трелевочные волокна (на которых они дробятся и превращаются в труху под гусеницами тракторов), либо сжигают [5].

Ф.Т. Солодской (2014) исследовал комплексное использование древесной зелени, которая имеет в составе биологически активные вещества, такие как: эфирные масла, витамины (В₁, В₂, В₆, С, Е, К, Р и др.), провитамин А (каротин), белки, жиры, углеводы, микроэлементы и протеины [10]; получил следующие результаты: при комплексной переработке древесной зелени хвойных пород получают широкий спектр продукции медицинского, парфюмерно-косметического и пищевого назначения, кормовые добавки для сельскохозяйственных животных, хвойно-витаминную муку.

При нынешних технологиях в процессе лесозаготовок от общей биомассы древесины используется стволовая часть, которая составляет до 65 %, оставшиеся 35 % составляют отходы, 17 % из которых составляет древесная зелень, для сосны обыкновенной диаметром 40 сантиметров масса древесной зелени со всего дерева составляет 36 килограмм, в большинстве случаев она остается на лесосеке, что представляет собой потерю в производстве товаров для народного хозяйства.

Под действием солнечной энергии в хвое образуются различные биологически активные вещества: фитонциды, ферменты, витамины и др. Часть этих веществ расходуется на рост дерева, а часть откладывается в запас. Таким образом, хвоя является лабораторией и кладовой, в которой образуются и откладываются ценные вещества.

Цель данной работы заключается в разработке технологии заготовки и переработки древесной

зелени хвойных пород на территории лесосеки. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести предварительный анализ действующих технологий в настоящее время, выделив достоинства и недостатки;
- описать технологический процесс разрабатываемой технологии по заготовке и переработке древесной зелени хвойных пород;
- вывести формулу производительности и вычислить зависимость производительности от наиболее влияющего фактора.

Материалы и методы

Материалами исследования в процессе работы послужили научные статьи, размещенные в журналах, публикации, диссертации, учебная литература и электронные ресурсы.

Для достижения цели исследования используется системный и комплексный подход. Применительно к научной проблематике использован комплекс современных методов исследований: числового моделирования, математического планирования и статистического анализа.

Рассматривая действующие технологии, было выявлено, что отделение сучьев с хвоей происходит стационарными барабанными отделителями [4]; мобильными отделителями древесной зелени [9] при хлыстовой заготовке. При сортиментной заготовке используются харвестеры и процессоры [6]. Переработка включает в себя стационарное оборудование с целью получения биологически активных и химических компонентов [3, 7, 8, 11, 12, 13].

Сокращение объемов сплошных рубок и расширение применения выборочных и постепенных рубок ставит лесопользователей в условия необходимости применения более совершенной технологии и техники, отвечающей лесоводственным и экологическим требованиям. В связи с этим возрастает интерес к сортиментной технологии лесозаготовок, позволяющей наиболее производительно механизировать эти виды рубок с учетом совре-

менных экологических требований. Одной из основных причин тенденции развития сортиментной технологии в мире являются успехи скандинавских машиностроителей, которые разработали и представили на рынок высокопроизводительные и надежные многооперационные машины для получения сортиментов на лесосеке [9].

В результате проведенного анализа существующих технологий переработки древесной хвой и исследований [2] был разработан технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород, включающий в себя мобильную установку.

Результаты и обсуждение

Технологический процесс при заготовке древесной зелени основывается на технологическом процессе заготовки деревьями и включает в себя следующие операции: валка дерева – трелевка деревьев на верхний склад – раскряжевка деревьев – погрузка сучьев в мобильную установку – вывозка сортиментов.

В данном случае валка осуществляется валочно-пакетирующей машиной, затем поваленные деревья трелюются на верхний склад грузовой платформой на базе форвардера. На погрузочном пункте деревья раскряжевываются при помощи процессора, сучья складываются в кучи, а сортименты в штабеля. Сучья и тонкомерные деревья загружают комлем вперед в приемную часть мобильной установки, в узле отделения хвоя отделяется от сучьев и веток, затем измельчается. Под ситом измельчителя древесной зелени расположены пакетодержатель и вакуумная-упаковочная машина.

Принцип работы мобильной установки заключается в отделении хвоя от веток, ее измельчении и вакуумном упаковывании.

Использование мобильной установки возможно, когда наряду с заготовкой деловой древесины при сплошнолесосечной сортиментной технологии осваиваются лесосечные отходы. Операция измельчения древесной зелени может выполняться на делянке, или на погрузочной площадке у лесовозной дороги, или на территории предприятия-потребителя [1].

Рассмотрим работу мобильной установки, если она устанавливается на верхнем складе, за-

грузка ветвей с хвоей осуществляется человеком, переработанная хвоя находится в разгрузочном кузове объемом 60 литров.

Для наглядного рассмотрения операций была составлена информационно-логическая модель технологического процесса мобильной установки, представленная на рис. 1.

На основании информационно-логической модели была составлена математическая модель мобильной установки, представленная на рис. 2. В прямоугольниках отображено время исполнения основных операций, в четырехугольниках отображены переход состояния одной операции в другую при $(t_i \geq t_{i-1})$; количество ветвей с хвоей (n_1); максимально возможное количество ветвей для погрузки (n_2); количество выгруженных порубочных остатков (n_3); количество погруженных порубочных остатков (n_4); время на выполнение основных работ (n_5).

Составим формулу производительности установки:

$$\left(\left(\left((t_3 + t_{11} + t_{13} + t_{15}) \cdot n_{\text{вет}} + t_5 + t_7 + t_9 \right) \cdot n_{\text{cp}} \right) \cdot n_{\text{ц}} \right) + t_{18} + t_{20}. \quad (1)$$

Обозначим цикл операций по загрузке и разгрузке кузова мобильной установки $(t_3 + t_{11} + t_{13} + t_{15})$ как T_1 . Цикл операций на работу установки $(t_5 + t_7 + t_9)$ обозначим как T_2 . Цикл операций на подготовительно-заключительные работы $(t_1 + t_{18} + t_{20})$ обозначим как T_3 .

Тогда формула примет вид

$$\left((T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2) \cdot n_{\text{cp}} \right) \cdot n_{\text{ц}} + T_3 = T_{\text{см}} \quad (2)$$

$$\left((T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2) \cdot n_{\text{cp}} \right) \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (3)$$

$$\left(T_1 \cdot n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{cp}} + T_2 \cdot n_{\text{cp}} \right) \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (4)$$

$$T_1 \cdot n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{cp}} \cdot n_{\text{ц}} + T_2 \cdot n_{\text{cp}} \cdot n_{\text{ц}} = T_{\text{см}} - T_3 \quad (5)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{cp}} \cdot n_{\text{ц}} \cdot \left(T_1 + \frac{T_2}{n_{\text{вет}}} \right) = T_{\text{см}} - T_3 \quad (6)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{cp}} \cdot n_{\text{ц}} = \frac{T_{\text{см}} - T_3}{T_1 + \frac{T_2}{n_{\text{вет}}}} \quad (7)$$

$$n_{\text{вет}} \cdot n_{\text{cp}} \cdot n_{\text{ц}} = \frac{(T_{\text{см}} - T_3) \cdot n_{\text{вет}}}{T_1 \cdot n_{\text{вет}} + T_2}, \quad (8)$$

где $n_{\text{вет}}$ – среднее количество веток за одну загрузку, шт.;

n_{cp} – среднее количество веток на один цикл работы, шт.;

$n_{ц}$ – среднее количество циклов за смену, раз.

Левая часть уравнения ($n_{вет} \cdot n_{ср} \cdot n_{ц}$) равна количеству обрабатываемых веток с хвоей за смену, $N_{ср/см}$, шт.

Формула сменной производительности мобильной установки будет иметь вид

$$P_{см} = V_{ср} \cdot \varphi \cdot N_{ср/см}, \quad (9)$$

где $V_{ср}$ – среднее количество хвои на 1 ветви, m^3 ;

φ – коэффициент использования рабочего времени, 0,8.

Для оценки факторов, влияющих на сменную производительность установки, определены

временные диапазоны каждой операции (табл. 1). Количество сучьев сосны сибирской к объему ствола в коре для IV разряда высоты варьируется от 10 до 18 %. Средние и максимальные размеры сучьев при объеме хлыста (в коре), m^3 равны 2,5 см, при объеме 0,76 m^3 диаметр сучьев равен 4,3 см [1].

По формулам (1) – (9) и минимальным и максимальным значениям времени выполнения операции технологического цикла установки (табл. 1) составлена зависимость сменной производительности от среднего количества хвои (кг) на 1 m^3 ствола дерева при благоприятных и неблагоприятных условиях.

Таблица 1

Временные диапазоны каждой операции

Операция	Диапазон времени, с	Влияющие факторы
t_1	1200-2000	Уровень ГСМ, состояние спиц, ножей
t_3	10-20	Погодные условия, длина ветви, удаленность в рабочей зоне
t_5	3-8	Диаметр ветви, влажность, состояние спиц барабана
t_7	1-3	Влажность, насыпная плотность
t_9	180-240	Состояние ножей, влажность, размер хвои
t_{11}	1-2	Погодные условия, сезонные условия
t_{13}	5-10	Погодные условия, положение пакета
t_{15}	1-2	Погодные условия, сезонные условия
t_{18}	360-540	Погодные и сезонные условия
t_{20}	1500-2500	Состояние основных узлов, колесной базы, способ заправки

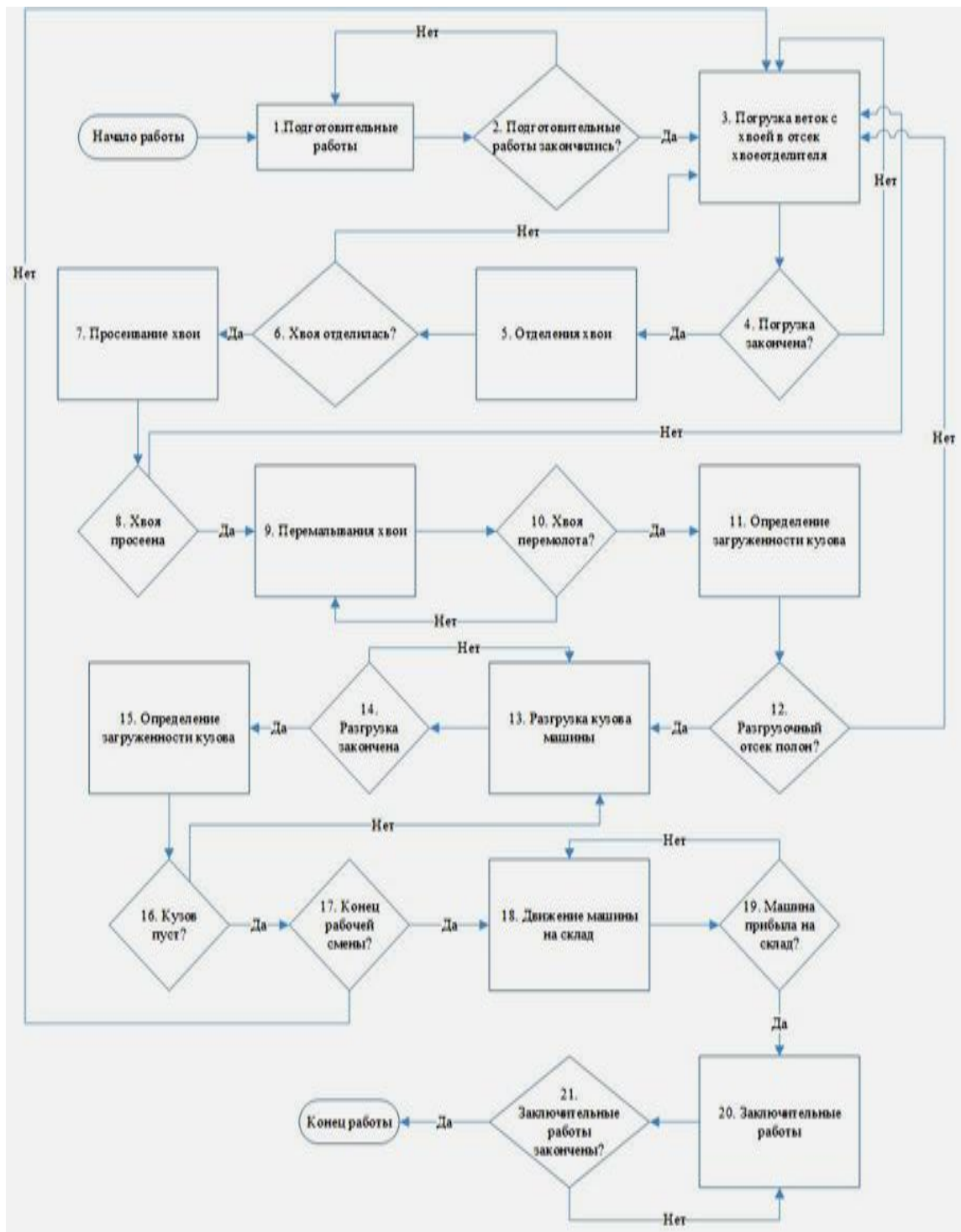


Рис. 1. Информационно-логическая модель технологического процесса мобильной установки

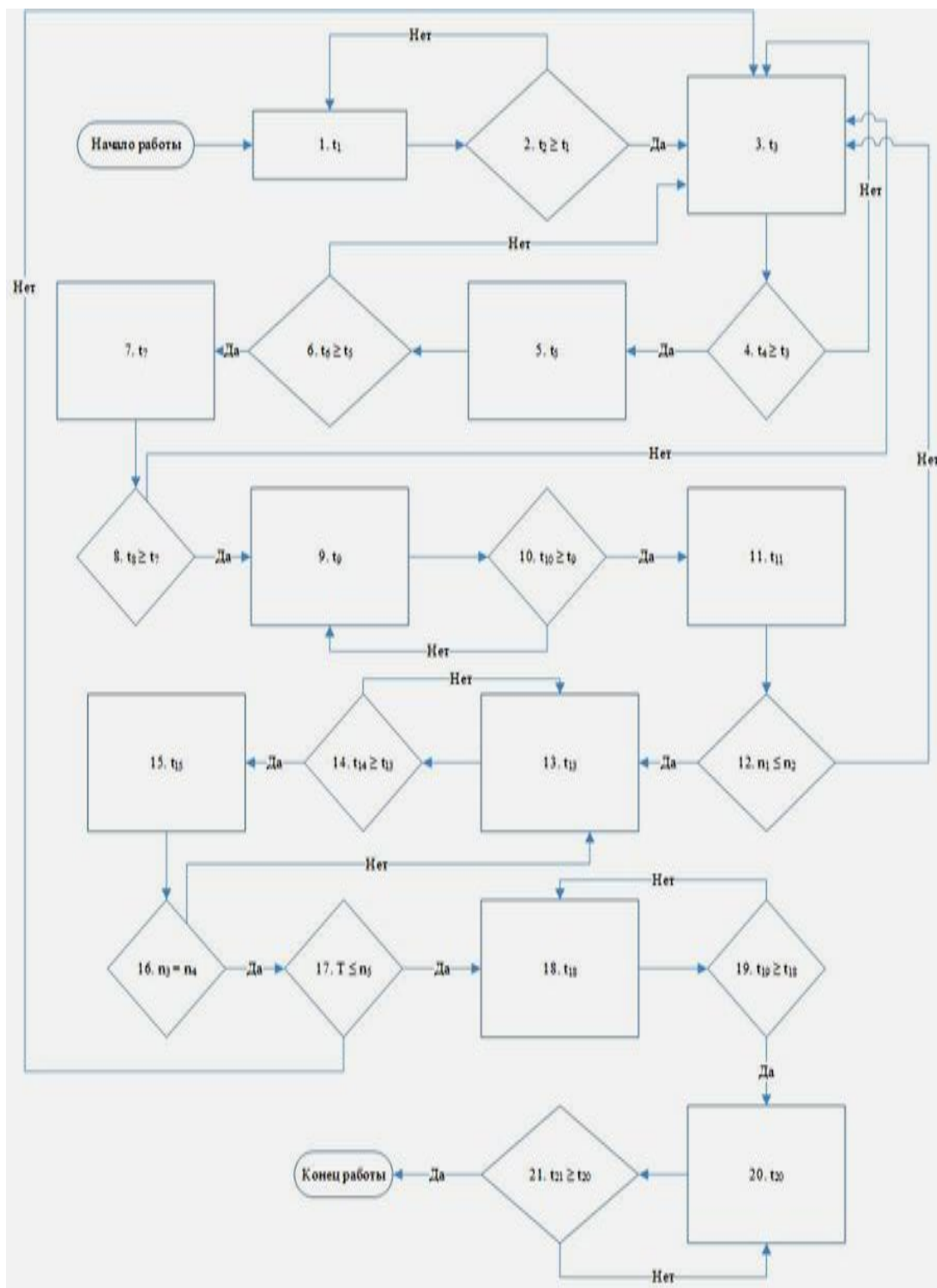


Рис. 2. Математическая модель технологического процесса заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород

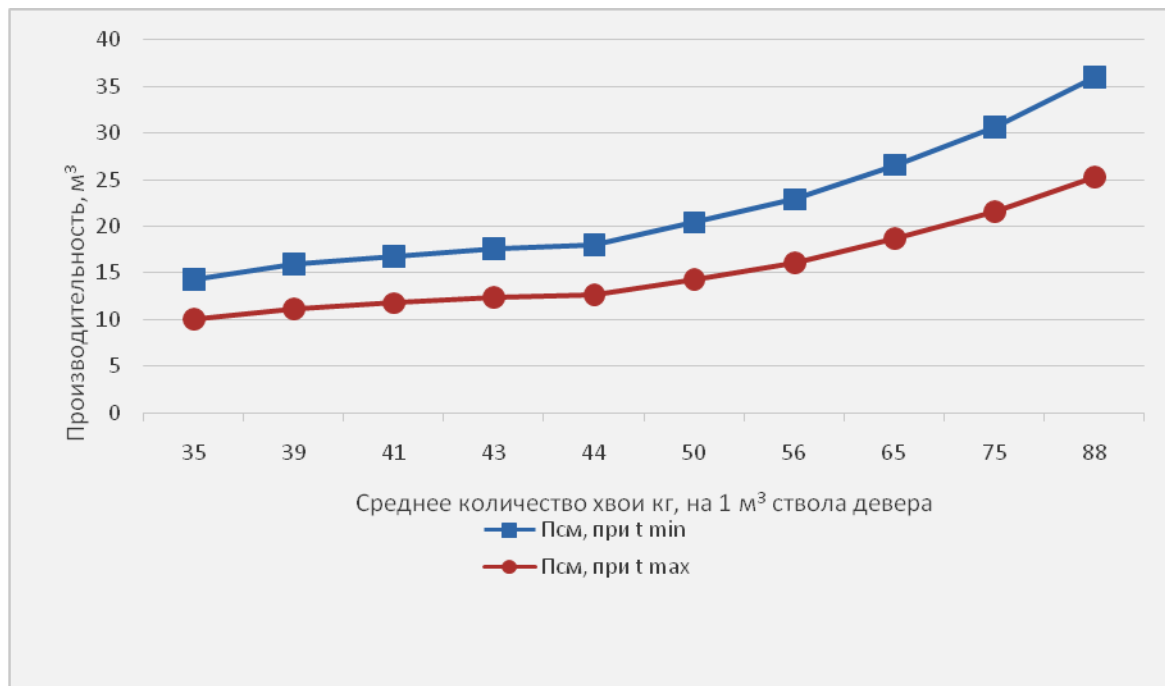


Рис. 3. Зависимость сменной производительности мобильной установки от среднего количества хвои, кг на 1 м³ ствола дерева при благоприятных и неблагоприятных условиях

Выводы

В результате исследований были рассмотрены действующие технологии, с учетом достоинств и недостатков был разработан технологический процесс заготовки и переработки древесной зелени хвойных пород с использованием разрабатываемой мобильной установки, которая способна отделять и перерабатывать древесную зелень на территории лесосеки; выведена формула производительности.

Сменная производительность зависит от среднего количества хвои на 1 м³ ствола дерева, производительность при минимальных временных затратах и минимальном количестве хвои составит 14,3 м³, при минимальном времени и максимальном запасе производительность составит 36,1 м³, при максимальных временных затратах и минимальном запасе составит 10 м³, при максимальных временных затратах и максимальном запасе составит 25,3 м³.

Библиографический список

1. Баранова, Н. Ф. Заготовка, транспортировка и хранение хвойной лапки / Н. Ф. Баранова, В. С. Фуфачева, И. В. Ступина // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 155–159.
2. Борин, К. В. Производство хвойной муки в условиях лесосеки / К. В. Борин, Н. А. Петрушева // Материалы научно-практической конференции с международным участием. – 2018. – С. 18-20.
3. Ботенкова, В. П. Устройство для заготовки хвойной лапки / В. П. Ботенкова // Хвойные бореальной зоны. – 2013. – № 1-2. – С. 138–142.
4. Вторичные материальные ресурсы лесной и деревообрабатывающей промышленности : справ. / под ред. А. Е. Юрченко. – Москва : Экономика, 2004. – 226 с.
5. Зайцева, М. И. Отходы переработки хвои сосны обыкновенной, как материал для теплоизоляционных плит / М. И. Зайцева, Г. Н. Колесников // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С. 155–159.

6. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет [Текст] : учеб. пособие / В. С. Сяунёв [и др.]. – Москва : НИИ Леса Финляндии METLA, 2011. – 143 с.
7. Матросов, А. В. Технологические процессы малообъемных лесозаготовок и метод их моделирования / А. В. Матросов // Лесной вестник. – 2006. – С. 90-93.
8. Посметьев, В. И. Состояние и пути решения проблемы заготовки древесной зелени на лесных объектах / В. И. Посметьев, И. Ф. Яковенко, О. С. Калашникова // Технология и оборудование деревообработки XXI века : Межвуз. сб. науч. тр. – Вып. 3. – Воронеж : ВГЛТА, 2005. – С. 55–57.
9. Сафина, А. В. Экстракция ценных компонентов из лесосечных отходов / А. В. Сафина // Лесной журнал. – 2018. – № 1. – С. 109–119.
10. Солодской, Ф. Т. Способ комплексной переработки хвои / Ф. Т. Солодской // Комплексное устойчивое управление отходами. – 2014. – № 5. – С. 138–140.
11. Al-Dajani, W. W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction / W. W. Al-Dajani, U. W. Tschiner // Tappi J. – 2008. – Vol. 7. – Iss. 6. – P. 3–8.
12. Fišerová, M. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions / M. Fišerová, E. Opálená // Wood Research. – 2012. – Vol. 57. – No. 4. – P. 505–514.
13. Koptsik, G. N. Pine needle chemistry near a large point so₂ source in northern Fennoscandia / G. N. Koptsik, S. V. Koptsik, D. Aamlid // Water, air, & soil pollution. – 2001. – № 1-4 III. – P. 929–934.

References

1. Baranova N. F., Fufacheva V. S., Stupina I. V. *Zagotovka, transportirovka i xranenie xvojnoj lapki* [Preparation, transportation and storage of a waste wood]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. №10. pp. 155-159. (In Russian)
2. Borin K. V., Petrusheva N. A. *Proizvodstvo xvojnoj muki v usloviyax leseki* [Production of coniferous flour in a cutting area]. *Materialy' nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodny'm uchastiem*. 2018. pp. 18-20. (In Russian)
3. Botenkova V. P. *Ustrojstvo dlya zagotovki xvojnoj lapki* [Device for harvesting pine waste wood]. *Xvojny'e boreal'-noj zony'*. 2013. №1-2. pp. 138-142. (In Russian)
4. *Vtorichny'e material'ny'e resursy' lesnoj i derevoobrabatyvayushhej promy'shlennosti: spravochnik* [Secondary material resources of forest and woodworking industry: a reference book] / pod red. A.E. Yurchenko. M.: E'konomika, 2004. 226 p. (In Russian)
5. Zajceva M. I., Kolesnikov G. N. *Otxody' pererabotki xvoi sosny' obyknovnoj, kak material dlya teploizolyacionny'x plit* [Waste processing of pine needles, ordinary, as a material for insulation boards]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. №10. pp. 155-159. (In Russian)
6. Syunyov V. S. [i dr.]. *Lesosechny'e mashiny' v fokuse bioenergetiki: konstrukcii, proektirovanie, raschet* [Forest cutting machines in the focus of bioenergy: structures, design, calculation]: учеб. пособие. М. : НИИ Леса Финляндии METLA, 2011. 143 p. (In Russian)
7. Matrosov A. V. *Texnologicheskie processy' maloob'emny'x lesozagotovki metod ix modelirovaniya* [Technological processes of low-volume logging and the method of their modeling]. *Lesnoj vestnik*. 2006. pp. 90-93. (In Russian)
8. Posmet'ev V. I., Yakovenko I. F., Kalashnikova O. S. *Sostoyanie i puti resheniya problemy' zagotovki drevesnoj zeleni na lesny'x ob'ektax* [Status and solutions to the problem of harvesting wood greens in forest areas]. *Mezhvuz. sb. nauchn. trudov «Texnologiya i oborudovanie derevoobrabotki XXI veka»*, vy'p. 3. Voronezh : VGLTA, 2005. pp. 55-57 (In Russian)
9. Safina A. V. *E'kstrakciya cenny'x komponentov iz lesosechny'x otxodov* [Extraction of valuable components from logging waste]. // *Lesnoj zhurnal*. 2018. № 1. pp. 109-119. (In Russian)

10. Solodskoj F. T. *Sposob kompleksnoj pererabotki xvoi* [Method for complex processing of needles]. *Kompleksnoe ustojchivoe upravlenie otходami*. 2014. № 5. S. 138-140 (In Russian).
11. Al-Dajani W. W., Tschiner U. W. Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping. Part I. Alkaline Extraction. *Tappi J.* 2008. Vol. 7, iss. 6. P. 3-8.
12. Fišerová M., Opálená E. Hemicellulose Extraction from Beech Wood with Water and Alkaline Solutions. *Wood Research*. 2012. Vol. 57, no. 4. P. 505-514.
13. Koptsik G. N., Koptsik S. V., Aamlid D. Pine needle chemistry near a large point so2 source in northern Fennoscandia. *Water, air, & soil pollution*. 2001. № 1-4 III. P. 929-934.

Сведения об авторах

Морозов Василий Иванович – магистрант, Лесосибирский филиал ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», г. Лесосибирск, Российская Федерация; e-mail: pga1233890@mail.ru.

Петрушева Надежда Александровна – доцент кафедры «Технологии лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств» Лесосибирского филиала ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кандидат технических наук, доцент, г. Лесосибирск, Российская Федерация, e-mail: petrusheva-n@mail.ru.

Information about authors

Morozov Vasilij Ivanovich – Master's degree student, Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: pga1233890@mail.ru.

Petrusheva Nadezhda Aleksandrovna – Associate Professor of the Department "Technologies of logging and wood processing industries" of the Lesosibirsk branch of FSBEI HE "Reshetnev Siberian State University of Science and Technology", PhD (Engineering), Associate Professor, Lesosibirsk, Russian Federation; e-mail: petrusheva-n@mail.ru.