

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>	6
Лесосечные работы	
Макаренко А.В., Редькин А.К. <i>Влияние технологических решений на условия и эффективность работы манипуляторных лесозаготовительных машин</i>	7
Мехренцев А.В., Стариков Е.Н. <i>Подходы формирования модели высокопроизводительной занятости в лесопромышленном комплексе региона (на примере лесопромышленного комплекса свердловской области)</i>	12
Ширнин Ю.А., Стешина Л.А., Танрывердиев И.О. <i>Автоматизация отбора деревьев при выборочных рубках леса</i>	19
Корпачев В.П., Пережилин А.И., Андрияс А.А., Сладикова С.М. <i>Проблемы проектирования лесосводки и лесочистки лож водохранилищ ГЭС Сибири</i>	24
Григорьев И.В., Макуев В.А., Былев А.Б., Хахина А.М., Григорьева О.И., Калинин С.Ю. <i>Оценка уплотнения почвогрунта при ударных воздействиях на расстоянии от места удара</i>	30
Григорьев И.В., Макуев В.А., Никифорова А.И., Хитров Е.Г., Устинов В.В., Калинин С.Ю. <i>Исследование коэффициента сопротивления передвижению колесных лесных машин</i>	36
Абузов А.В., Рябухин П.Б. <i>К вопросу определения среднего расстояния трелевки и производительности трехлинейной аэрокатно-канатной системы</i>	42
Якимович С.Б., Тетерина М.А. <i>Сравнительная оценка способов комплектования систем машин для заготовки сортиментов</i>	46
Сухих А.Н., Рунова Е.М., Смехов С.Н. <i>Актуальные аспекты повышения эффективности технологии лесозаготовок</i>	51
Матросов А.В., Быковский М.А. <i>Современные машины и оборудование для пакетирования лесосечных отходов и тонкомерной древесины</i>	56
Лаптев А.В. <i>Технологические схемы разработки лесосек при выполнении выборочных рубок с использованием многооперационных машин манипуляторного типа</i>	62
Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В. <i>Технологические схемы производства щепы на лесосеке с использованием мягких контейнеров</i>	70
Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Шмырев Д.В. <i>Моделирование технологии производства щепы на лесосеке с использованием мягких контейнеров</i>	75
Германович А.О. <i>Моделирование работы рубильной машины на мобильном шасси</i>	83
Матюшкина О.Н. <i>Варианты применения канатных установок на выборочных рубках в равнинной местности</i>	88
Пашков А.В. <i>Биоресурсный потенциал лесов Подмосковья как перспектива для ведения лесного хозяйства в регионе</i>	91

Рукомойников К.П. <i>Графоалгоритмический подход к обоснованию рациональной технологии поквартального освоения участков лесного фонда</i>	96
Санников С.П., Герц Э.Ф., Шипилов В.В., Серков П.А. <i>Моделирование системы мониторинга перемещения лесосырьевых потоков и пожаров на основе синергетической сети Rfid датчиков</i>	104
Дербин В.М., Дербин М.В. <i>Некоторые особенности сертификационных процессов лесопользования</i>	111

Транспорт леса

Запруднов В.И., Редькин А.К., Найман В.С., Ширнин Ю.А. <i>Многофункциональная дорога</i>	116
Камусин А.А., Казначеева Н.И., Борисов В.А., Акинин Д.В. <i>Исследование гидропривода технологического оборудования лесозаготовительных машин</i>	119
Камусин А.А., Казначеева Н.И., Борисов В.А., Акинин Д.В. <i>Некоторые критерии устойчивости автопоезда</i>	122
Камусин А.А., Ларионов В.Я., Левушкин Д.М. <i>Повышение транспортно-эксплуатационных характеристик лесных дорог</i>	127
Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Евстратова К.А. <i>Грузовая транспортная единица</i>	130
Войтко П.Ф., Мазуркин П.М., Гайсин И.Г. <i>Прогнозирование водных поставок лесоматериалов потребителям</i>	132
Ларионов В.Я., Камусин А.А., Левушкин Д.М. <i>Расчет средних скоростей движения лесовозного автотранспорта</i>	138
Камусин А.А., Казначеева Н.И., Борисов В.А., Акинин Д.В. <i>Устойчивость движения прицепов лесовозных автопоездов</i>	143

Нижнескладские работы

Федоренчик А.С., Леонов Е.А. <i>Обеспечение устойчивого снабжения энергообъектов древесным топливом с созданием минимально необходимых запасов</i>	146
Рукомойников К.П., Стрельчук В.С., Виноградов П.Н. <i>Обоснование математической модели продольного раскроя лесоматериалов</i>	151
Чамеев В.В., Васильев Г.Л. <i>Математическая модель и алгоритм по определению сортового состава круглых лесоматериалов и выхода готовой продукции</i>	156
Бутко Г.П. <i>Эффективность лизингового подхода к приобретению нового оборудования</i>	163
Прохоров В.Ю., Лаптев А.В. <i>Результаты исследований трибологических характеристик УУКМ для тяжелонагруженных узлов трения машин манипуляторного типа</i>	166

CONTENTS

<i>Preface</i>	6
Cutting works	
Makarenko A.V., Red'kin A.K. <i>The influence of technological decisions on the conditions and efficiency of the work of the manipulator of forest machines</i>	7
Mehrencev A.V., Starikov E.N. <i>Approaches to create a model of high productivity employment in a regional timber industry (using the example of a timber industry of the sverdlovsk region)</i>	12
Shirnin U.A., Steshina L.A., Tanryverdiev I.O. <i>Automatic selection of trees in selected woodcutting</i>	19
Korpachyov V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Sladikova S.M. <i>Problems of designing of forest cutting and clearance in the reservoir floors hps of siberia</i>	24
Grigorev I.V., Makuev V.A., Bylev A.B., Hahina A.M., Grigoreva O.I., Kalinin S.Yu. <i>The estimation of condensation of ground at shock influences on distance from a place of impact</i>	30
Grigor'ev I.V., Makuev V.A., Nikiforova A.I., Hitrov E.G., Ustinov V.V., Kalinin S.Ju. <i>Research of factor of resistance to movement of wheel wood machines</i>	36
Abuzov A.V., Rjabuhin P.B. <i>On the determination of the average distance skidding and productivity trilinear balloon-string systems</i>	42
Jakimovich S.B., Teterina M.A. <i>Comparative appraisal of ways of round timber harvesting machines systems composition</i>	46
Sukhih A.N., Runova E.M., Smehov S.N. <i>Modern aspects of efficiency harvesting technology</i>	51
Matrosov A.V., Bykovskiy M.A. <i>Modern machines and equipment for bunchers logging residues and forest thinners wood</i>	56
Laptev A.V. <i>Technological development scheme in cutting areas when performing selective logging using multioperational machines manipulator type</i>	62
Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Shmyrev D.V. <i>Technological scheme of chip production in the cutting area in soft containers</i>	70
Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Shmyrev D.V. <i>Modeling of technological processes of forest residues with the use of soft containers</i>	75
Germanovich A.O. <i>Modeling work on mobile chippers chassis</i>	83
Matyushkina O.N. <i>Applications of cable systems for selective felling in flat terrain</i>	88
Pashkov A.V. <i>Bioresource potential of moscow region forests as perspective for forestry in region</i>	91
Rukomojnikov K.P. <i>Algorithmic graph theory to the justification of rational technology development of forest compartment</i>	96

Sannikov S.P., Shipilov V.V., Serkov P.A., Serebrennikov M.Yu. *Modeling of the system of the monitoring the moving the timber material and fire on base synergetic network rfid sensor* 104

Derbin V.M., Derbin M.V. *Some features of certification processes of forest management* 111

Transport timber

Zaprudnov V.I., Red'kin A.K., Najman V.S., Shirnin Ju.A. *Multifunctional road* 116

Kamusin A.A., Kaznacheeva N.I., Borisov V.A., Akinin D.V. *Investigation of hydraulic drive of technological equipment of forest machines* 119

Kamusin A.A., Kaznacheeva N.I., Borisov V.A., Akinin D.V. *Some criteria for stability of road-trains of the* 122

Kamusin A.A., Larionov V.Ya, Levushkin D.M. *Increasing transport characteristics of forest roads* 127

Karpachev S.P., Sherbakov E.N., Evstratova K.A. *Cargo transport unit* 130

Voitko P.F., Mazurkin P.M., Gaisin I.G. *Forecast of water timber delivery to consumers* 132

Larionov V.Ya, Kamusin A.A., Levushkin D.M. *Calculation of average speeds of vehicles for transportation of timber* 138

Kamusin A.A., Kaznacheeva N.I., Borisov V.A., Akinin D.V. *Stability of motion trailers hauling trucks* 143

Work on the low landing

Fedorenchik A.S., Liavonau Y.A. *Ensuring a sustainable supply of power facilites with the creation fuelwood minimum required reserves* 146

Rukomojnikov K.P., Strelchuk V.S., Vinogradov P.N. *Substantiation of mathematical model of longitudinal timber sawing* 151

Chameev V.V., Vasil'ev G.L. *Mathematical model and algorithm for determining the varietal composition of round timber and finished products output* 156

Butko G.P. *Ensuring the competitiveness of the forest complex* 163

Prohoroff V.J., Laptev A.V. *Research results of the tribological behavior of the cccm for heavy-duty friction units of machines manipulative type* 166

ПРЕДИСЛОВИЕ

Этот номер журнала в основном связан с событиями, во многом повлиявшими на положительные результаты в подготовке кадров специалистов и ученых для лесного комплекса России и ряда европейских и азиатских стран. Речь идет о 95-летию создания Московского лесотехнического института (МЛТИ) и 70-летию воссоздания и постоянного функционирования кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства – ТОЛП (ранее кафедры механизации лесоразработок МЛТИ). К этим событиям приурочено проведение конференции по итогам научно-исследовательской работы университета за 2013 год, а также выездное заседание учебно-методической комиссии (УМК) по лесоинженерному делу учебно-методического объединения в области лесного дела. В работе конференции приняло участие более 800 человек из 28 организаций, вузов, НИИ. С докладами и сообщениями выступили более 600 человек. Доложенные результаты НИР получили положительные оценки и рекомендованы к опубликованию.

Учебно-методическая комиссия по лесоинженерному делу, охватывающая подготовку специалистов, бакалавров и магистров для лесной промышленности, была весьма представительной и, несмотря на известные финансовые трудности, в ее работе приняли участие представители всех основных вузов России и Беларуси, ведущих подготовку названных кадров.

Учебно-методическая комиссия в результате обсуждения предложений приняла решения, необходимые для подготовки по профилю «Лесозаготовительное и деревоперерабатывающее производство». Это касается и открытия новых профилей по другим направлениям, издания учебной и методической литературы, дальнейшего взаимодействия ученых вузов.

Члены УМК приняли участие в конференции и чествовании кафедры ТОЛП. О результатах деятельности кафедры достаточно обстоятельно рассказано в Лесной газете, университетской газете, а также в буклете.

Ректор МГУЛ, председатель УМО
профессор В.Г. Санаев



ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА УСЛОВИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ МАНИПУЛЯТОРНЫХ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А.В. МАКАРЕНКО, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук,

А.К. РЕДЬКИН, проф. зав. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, д-р техн. наук

makarenko@mgul.ac.ru

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

В статье рассмотрены вопросы моделирования распределения деревьев по территории лесосеки и на рабочей площадке лесозаготовительной машины. На основании результатов распределения деревьев было произведено моделирование производительности машины и среднего времени цикла обработки деревьев на рабочей площадке. Получены зависимости данных параметров от расстояния центра площадки от центра распределения деревьев.

Ключевые слова: лесосека, трелевочный волок, разыгрывание координат деревьев, рабочая площадка

Эффективность организации производственного процесса проведения лесосечных работ определяется, как известно, исходными данными природно-производственных условий разрабатываемой лесосеки и применяемой системой машин, с одной стороны, и разработанной технологией выполнения работ – с другой. Естественным требованием к разрабатываемому технологическому процессу является достижение необходимого (или наилучшего) соответствия между этими группами факторов. К ключевым технологическим решениям следует отнести выбранную сеть трелевочных и дополнительных волоков, ширину пазов, расположение погрузочных пунктов, режим работы лесозаготовительных машин в зависимости от их типа, маршруты движения машин и, возможно, рациональное распределение выполнения смежных операций. К таким смежным операциям можно отнести предварительную сортировку выпиленных сортиментов харвестером, создание укрупненных пачек для трелевки валочно-пакетирующими машинами и др.

Проектируемая сеть трелевочных волоков в зависимости от конфигурации лесосеки или делянки, расположения неразрабатываемых участков и особенностей концентрации деревьев по территории лесосеки определяет условия работы на рабочей

площадке для машин, выполняющих валку деревьев (ВПМ, харвестер и др.), объем грузовой работы трелевочных машин, производительность передвижных процессоров и др. [2]. Для решения в общем виде вопроса о влиянии расположения трелевочных волоков на производительность лесозаготовительных машин необходима математическая модель лесосеки с возможным размещением деревьев и их групп при заданных таксационных характеристиках древостоя и с рассмотрением различных вариантов прокладки сети трелевочных волоков [1]. Математическая модель расположения деревьев должна отражать реальные лесные условия и для конкретной лесосеки при разработке технологического процесса может быть заменена таксационными картами выделов или аэрофотоснимками.

Известно, что расположение деревьев, особенно при естественном лесовозобновлении, на любом лесном участке неравномерное, с хорошо выделяемыми куртинами, где плотность древостоя выше, и прогалинами. В самих куртинах расположение деревьев также имеет различную плотность, более высокую в центре куртины и затем снижающуюся к периферии. При пересечении куртин плотность древостоя на периферии может повышаться. По предварительным исследованиям, координаты центров распределения куртин

по выделенному лесному участку (лесосеке) можно считать подчиняющимися равномерному закону распределения. Запас древесины в куртинах как доля от общего запаса древесины на лесосеке также подчиняется равномерному закону распределения. На основании данных положений и при задании числа куртин на лесосеке разработан алгоритм с обобщенным программным кодом для моделирования расположения куртин и запаса древесины в них, который представлен ниже.

```

задание числа куртин n
for i = 1 to n
    разыгрывание случайных величин равномерно
    распределённых в интервале 0...1
    sl1 = RND(1); sl2 = RND(2)
    определение координат центров куртин
    xk(i) = A · sl1; yk(i) = B · sl2
    if если координаты не находятся в границах
    лесосеки then i = i - 1
next i
'определение запаса древесины в куртине
for i = 1 to n
    sl(i) = RND(i)
    slob = slob + sl(i)
next i
for i = 1 to n
    Q(i) = Q · sl(i) / slob
next i

```

где A и B – размеры наибольшей протяженности лесосеки по осям координат;

Q – общий запас древесины на лесосеке.

Следующим шагом моделирования расположения деревьев на лесосеке является разыгрывание координат самих деревьев. Распределение деревьев, как в куртине, так и по всему лесному участку (лесосеке), хорошо отвечает требованиям неоднородного поля точек, распределенных по закону Пуассона [3]. Первое из требований определяет, что точки на плоскости должны располагаться поодиночке (ординарность). Второе требование – отсутствие взаимодействия в поле – означает, что количество точек на одной части участка никак не влияет на число точек в другой части участка. В связи с тем, что плотность распределения деревьев по лесосеке не является постоянной, третье требование – однородность – не выполняется. Наиболее подходящим законом распределения вероятностей координат деревьев для подобного случая является двумерный нормальный закон рас-

пределения с ограничением на минимальное расстояние между последовательно моделируемыми координатами деревьев. Величина минимального расстояния между деревьями определяется требованиями по проведению рубок ухода. В первом приближении можно принять, что случайные величины (координаты деревьев), входящие в двумерный нормальный закон распределения, не коррелированы.

Перед разыгрыванием значений координат деревьев для каждой куртины необходимо определить количество деревьев, то есть число разыгрываний для каждого центра распределения. Количество деревьев можно определить с помощью следующей процедуры, выполняемой предварительно или параллельно с определением координат деревьев. На основании ранее проведенных обширных исследований [1] известно, что распределение диаметров деревьев на высоте 1,3 м согласуется с нормальным законом распределения вероятностей, если возраст древостоя соответствует времени главной рубки или согласуется с логнормальным законом, если возраст древостоя соответствует времени последних этапов рубок ухода (рубок прореживания и проходных рубок). Производя разыгрывание диаметров деревьев по первому или второму законам распределения (с учетом заданных условий), можно для каждого значения диаметра определить объем хлыста с применением ОСТ 13-232-87 «Хлысты древесные. Методы поштучного измерения и таблицы объемов» при условии предварительного задания разряда высот для древостоя. При достижении суммарного объема хлыстов запаса древесины в куртине разыгрывание прекращается, а число розыгрышей соответствует числу деревьев куртины. Ниже представлен алгоритм с обобщенным программным кодом для разыгрывания числа деревьев и их координат для одной из куртин на лесосеке.

```

Do while Qs < Qk
    i = i + 1
    разыгрывание случайных величин равномерно
    распределённых в интервале 0...1
    sl1 = RND(1); sl2 = RND(2)
    определение диаметра дерева

```

```

d(i) = f(md, σd, sl1, sl2)
q(i) = g(d(i), h)
Qs = Qs + q(i)
'разыгрывание координат деревьев
'с учётом минимального расстояния
  между ними
Do
  sl3 = RND(3); sl4 = RND(4); sl5 = RND(5);
  sl6 = RND(6)
  rez = true
  определение координаты дерева по оси x
  x(i) = f(xk, σk, sl3, sl4)
  определение координаты дерева по оси y
  y(i) = f(yk, σk, sl5, sl6)
  For j = 1 to i
    if  $\sqrt{(x(j) - x(i))^2 + (y(j) - y(i))^2} \leq l$  then
      если расстояние между деревьями
      меньше l
      rez = false
    end if
  next i
Loop while rez = false
Loop

```

где $f(x1, x2, x3, x4)$ – функция разыгрывания нормально распределенных случайных чисел, имеющая четыре аргумента: математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение и два случайных числа, равномерно распределенных в диапазоне 0–1;

$g(x1, x2)$ – функция определения объема хлыста, имеющая аргументами диаметр дерева на высоте 1,3 м, и номер разряда высот, Q_k – запас древесины в куртине.

Одна из реализаций представленных алгоритмов по распределению деревьев по территории лесосеке представлена на рис. 1.

После разработки математической модели распределения деревьев по территории лесосеки можно определить, как размещены деревья на каждой рабочей площадке лесозаготовительной машины, выполняющей валку (ВПМ, харвестер и др.), в зависимости от маршрута ее движения и текущего местоположения машины относительно центра распределения деревьев куртины. Расчет времени пребывания машины на каждой рабочей площадке и объема заготовленной древесины позволит оценить производительность лесозаготовительной машины в зависимости от выбранной сети трелевочных волоков и распределения деревьев и куртин по территории лесосеки. Для выделения из общего разыгранного числа деревьев тех, которые находятся на рабочей площадке машины, необходимо задать ширину пасаки, максимальный и минимальный вылеты манипулятора машины. Условие выделения является, естественно, то, что расстояние от дерева до оси вращения манипулятора должно быть больше его максимального вылета с предыдущей стоянки и меньше этого значения с текущей стоянки. Математически данное условие выражается неравенствами

$$\sqrt{(x(i) - m1_x)^2 + (y(i) - m1_y)^2} \geq R$$

$$\sqrt{(x(i) - m2_x)^2 + (y(i) - m2_y)^2} \leq R,$$

где $m1_x, m1_y$ и $m2_x, m2_y$ – координаты предыдущей и текущей стоянок машины;

R – максимальный вылет манипулятора.

Результат моделирования расположения деревьев на рабочих площадках при

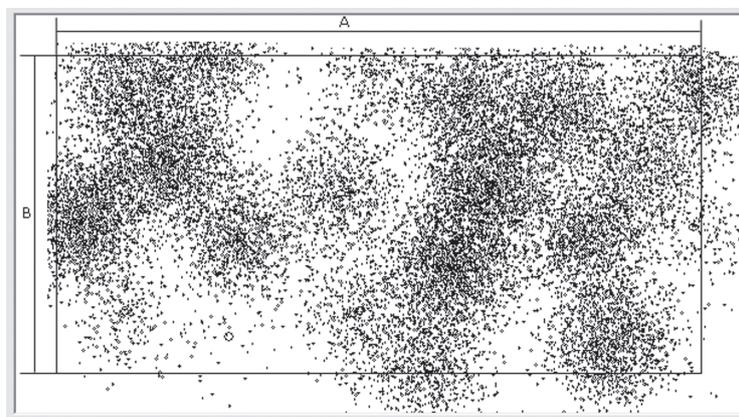


Рис. 1. Распределение деревьев по территории лесосеки

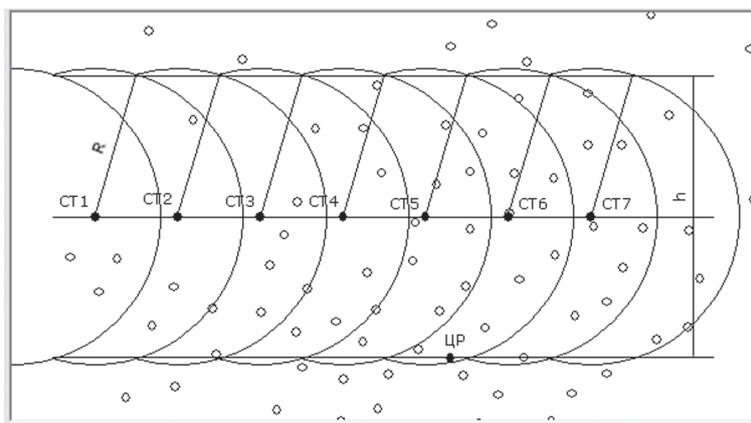


Рис. 2. Моделирование расположения деревьев на рабочих площадках машины

расположении центра распределения на расстоянии половины ширины пасаки от оси направления движения машины представлен на рис. 2.

Из рис. 2 видно, как меняется расположение и количество деревьев по рабочим площадкам в зависимости от расположения машины от центра распределения куртины. Для стоянок 4–6 деревья заполняют рабочую площадку практически равномерно, с небольшим смещением к центру распределения. Для 1 и 2 стоянок машины деревьев на рабочих площадках меньше и они расположены в основном с правой стороны по ходу машины. Такое изменение условий работы машины на рабочих площадках определенным образом сказывается на изменении соотношений продолжительности элементов времени цикла работы машины на стоянках. При снижении количества деревьев на рабочих площадках время передвижения машины относительно других элементов цикла будет, естественно, расти. Кроме того, расстояние передвижения машины между стоянками также может увеличиться с тем, чтобы машины могла занять более выгодную позицию, при условии, что ей не помешают растущие деревья по ходу движения. С увеличением плотности расположения деревьев будет расти доля остальных элементов цикла: спиливания деревьев, работы манипулятора, поворота платформы и др. в зависимости от типа машины. Имеет также значение концентрация деревьев на рабочей площадке. Если деревья сконцентрированы на одной из сторон относительно хода машины, то время, приходящееся на поворот платформы, будет

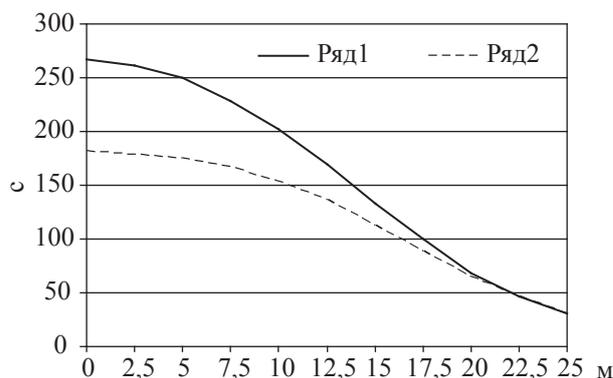


Рис. 3. Изменение среднего времени цикла работы ВМ на рабочей площадке: ряд 1 – ВМ без накопителя (типа ЛП-19А с ЗСУ для удержания одного дерева), ряд 2 – ВМ с накопителем (типа МЛ-135, ВМ-130)

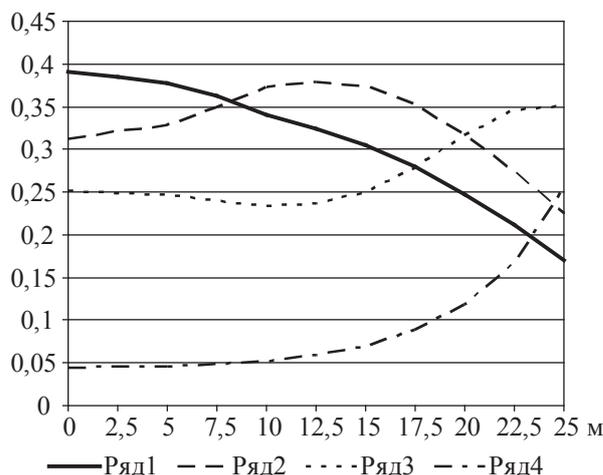


Рис. 4. Зависимости элементов времени цикла от расстояния между ВМ центром рассеивания, в долях от общего времени цикла: ряд 1 – время захвата и спиливания дерева; ряд 2 – время наведения манипулятора; ряд 3 – время поворота платформы с манипулятором и сброска деревьев в пачку; ряд 4 – время передвижения машины между стоянками

уменьшаться. Для ВПМ, оснащенных захватно-срезающим устройством с накопителем для удержания нескольких деревьев, концентрация деревьев в определенном месте рабочей площадки может существенно снизить время на поворот платформы между спиливанием деревьев, которые одновременно удерживаются в захвате. На рис. 3 представлены графики изменения среднего времени цикла работы на рабочей площадке ВПМ с накопителем и без него в зависимости от расположения машины относительно центра рассеивания куртины деревьев, полученные в результате моделирования. Передвижение машины относительно центра куртины соответствует рис. 2.

На рис. 4 представлены зависимости продолжительности элементов времени цикла от расположения машины относительно центра рассеивания в долях от общего времени цикла. Моделирование производилось для ВПМ, оснащенных ЗСУ с накопителем. Как видно из графиков, время на пиление (кривая 1) начинает уменьшаться в общем времени цикла сразу после удаления машины от центра рассеивания, так как число деревьев на рабочей площадке также уменьшается. Время на наведение манипулятора (кривая 2) и его поворот на поворотной платформе (кривая 3) в общем времени цикла ведут себя перемененно в зависимости от сочетания количества деревьев и их расположения на рабочей площадке машины. Время пере-

движения машины между стоянками в общем времени цикла (кривая 4) постоянно возрастает, так как время работы машины на стоянке снижается с уменьшением количества деревьев на рабочей площадке при удалении машины от центра рассеивания куртины.

Рассмотренные математические модели работы лесозаготовительных машин на лесосеке с учетом распределения и концентрации деревьев по ее территории позволяют оценить правильность технологических решений по проведению лесосечных работ. В особенности это касается проектирования сети трелевочных волоков, а также и других технологических решений, перечисленных ранее. Кроме того, моделирование работы лесозаготовительных машин может позволить решить и обратную задачу – комплектование системы машин в зависимости от природно-производственных условий разрабатываемых лесосек.

Библиографический список

1. Редькин, А.К. Основы моделирования и оптимизации процессов лесозаготовок / А.К. Редькин – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 256 с.
2. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке / А.В. Макаренко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. – № 1. – С. 99–105.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров – М.: Академия, 2003. – 456 с.

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL DECISIONS ON THE CONDITIONS AND EFFICIENCY OF THE WORK OF THE MANIPULATOR OF FOREST MACHINES

Makarenko A.V. (MSFU), Red'kin A.K. (MSFU)

makarenko@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU)

1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishi, Moscow region, Russia

The article considers the questions of modeling of distribution of trees on the territory of logging sites and on a working platform of the harvester. Based on the results of distribution of trees have been modelled productivity of machines and the average cycle time of the trees on the working site. The questions of computer software design skid trails on the cutting area. The dependences of these parameters from the distance of the site from the centre of distribution of trees.

Keywords: cutting area, skidding portage, playing coordinate trees, work area

References

1. Redkin, A.K. *Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov lesozagotovok* [Basics of modeling and optimization of harvesting]. Moscow. Lesnaja promyshlennost' [Timber industry], 1988. 256 p.
2. Makarenko, A.V. *Programmnoye proyektirovaniye trelevochnykh volokov na lesoseke* [Software design skid trails on the cutting area]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013. № 1, pp. 99-105.
3. Venttsel, Ye.S. Ovcharov L.A. *Teoriya veroyatnostey i yeye inzhenernyye prilozheniya* [Probability theory and its engineering applications]. Moscow. Akademiya, 2003. 456 p.

ПОДХОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЗАНЯТОСТИ В ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.В. МЕХРЕНЦЕВ, *проф.*, ректор УГЛТУ, канд. техн. наук,

Е.Н. СТАРИКОВ, *зав. каф.* экономики лесного бизнеса, канд. экон. наук

starik1705@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, РФ, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37.

В статье проанализировано состояние рабочих мест в лесопромышленном комплексе Свердловской области с точки зрения их качества, основанного на достигнутом уровне производительности труда. Выделены возможные направления развития перспективных секторов лесопромышленного бизнеса, которые способны привести к существенному повышению среднеотраслевой производительности труда и качества рабочих мест. Далее рассматриваются подходы и направления по формированию модели высокопроизводительной занятости в региональном лесопромышленном комплексе на основе кластерной формы организации лесного бизнеса. Дана оценка экономической эффективности создания лесоперерабатывающего кластера в Свердловской области, включающая оценку развития сектора высокопроизводительной занятости. Предложены элементы экономического механизма реализации кластерной инициативы.

Ключевые слова: лесной бизнес, производительность труда, занятость, рабочие места, критерии, направления развития, экономический кластер, лесоперерабатывающий кластер, Свердловская область, эффективность, механизм реализации

Региональный лесопромышленный комплекс Свердловской области в настоящее время ориентирован на выпуск традиционных видов лесопромышленной продукции, среди которых пиломатериалы, фанера, древесные плиты (ДВП, ДСП) и целлюлозно-бумажная продукция (бумажная тара, картон, бумага, обои, изделия санитарно-гигиенического назначения). Наряду с этими продуктовыми направлениями развивается мебельная промышленность и деревянное домостроение. В отрасли занято более 11,5 тыс. работающих, а валовой объем отгрузки продукции собственного производства превышает 16,0 млрд руб. в год в текущих ценах. В то же время существующая продуктовая линейка, с учетом сложившихся уровней цен на готовую продукцию и затрат на ее производство, не способна обеспечить достаточный для современных стандартов жизни доход работающих и уровень прибыли, необходимый для развития предприятий, осуществления их модернизации и технического перевооружения производства. И тем самым не позволяет эффектив-

но решать задачи, связанные с повышением производительности труда и обеспечением высокой производительности рабочих мест. Так, оценивая производительность труда в отрасли, сейчас можно говорить об уровне 0,60–0,85 млн руб. на одного работающего в год (при среднем уровне по промышленному комплексу региона – 2,3 млн руб. в год на одного занятого). Среднеотраслевой уровень заработной платы отстает от среднего по экономике региона в 1,8–1,9 раза, в зависимости от вида производств.

Как показывает производственно-хозяйственная практика, создание новых производственных мощностей, ориентированных на производство традиционных видов лесопромышленной продукции, не дает устойчивого положительного эффекта. Так, в лесопромышленном комплексе Свердловской области в период 2008–2012 гг. по схеме *brown-field* были реализованы два крупных инвестиционных проекта – построены производственные мощности Выйского ДОКа и фанерный завод «Аргус» в пос. Восточный.

В результате сегодня эти новые предприятия вынуждены конкурировать на рынке с традиционными производителями данной продукции в режиме освоения производства, что существенно снижает их конкурентный потенциал. Кроме того, на их экономике негативно отражаются понесенные инвестиционные затраты, увеличивающие текущую себестоимость продукции при существующем уровне рыночных цен.

В этой связи более эффективным направлением трансформации производственно-технологического потенциала отрасли, обеспечивающим в то же время и формирование высокопроизводительных рабочих мест, является создание новых видов высокотехнологичных производств при модернизации действующих предприятий. Примерами последних лет в этом ряду являются инвестиционные проекты по освоению производства ламинированной опалубочной фанеры в ЗАО «Фанком» и бумаги санитарно-гигиенического назначения в ЗАО «Туринский целлюлозно-бумажный завод».

Вообще понятие «высокотехнологичные производства (отрасли)» впервые было использовано в исследованиях по определению влияния научно-технического прогресса на экономику примерно в конце 80-х гг. XX века [1]. Исследования показали, что применение результатов, получаемых в научно-технической сфере, устойчиво локализуется в так называемых высокотехнологичных производствах (отраслях), которые открывают возможности для опережающего экономического роста и формируют предпосылки для создания нового технологического уклада. Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) был даже разработан специальный стандарт отнесения отраслей и производств к разряду высокотехнологичных. Характерными особенностями таких производств, согласно данному стандарту, являются [2]:

- темпы роста, в 3–4 раза превышающие темпы роста прочих производств и отраслей хозяйства;

- большая доля добавленной стоимости в конечной продукции;

- высокая производительность труда, существенно превышающая средний уровень по другим отраслям (производствам) и экономике в целом;

- повышенная заработная плата работающих;

- крупные объемы экспорта;

- высокий инновационный потенциал, ускоряющий развитие не только обладающей им отрасли или производства, но и других смежных отраслей.

Таким образом, исходя из обозначенных критериев высокотехнологичных производств, видим, что задача формирования высокопроизводительной занятости в конкретной отрасли решается, главным образом, через опережающее развитие подобных сегментов. В то же время сегодня в лесопромышленном комплексе Свердловской области практически единственным производством, в основном удовлетворяющим базовым критериям высокотехнологичности, можно назвать производство целлюлозно-бумажной продукции (тара, писчая бумага, обои, санитарно-гигиенические изделия) в ЗАО «Туринский целлюлозно-бумажный завод» (в то же время уровень средней заработной платы работников на этом предприятии не отвечает критериям высокотехнологичного производства).

Недостаточное количество высокотехнологичных производств по глубокой механической, химической и энергетической переработке древесного сырья является ключевой системной проблемой развития отрасли, сдерживающей экономический рост лесопромышленного производства и решение задачи формирования высокопроизводительной занятости. Процесс массового создания высокопроизводительных рабочих мест в лесопромышленном комплексе Свердловской области, требуемый для достижения целей долгосрочной экономической политики государства, может быть реализован только при условии масштабного развития «прорывных», высокотехнологичных производств и внедрения новых высоких технологий, обладающих мультипликативным эффектом, к которым можно отнести [3]:

– заготовку древесного сырья в режиме несплошных рубок с применением современных лесозаготовительных комплексов с процессорным управлением (производительность труда в данных видах деятельности составляет 2,5–3,0 млн руб. на одного работающего в год);

– переработку низкосортной древесины и древесных отходов на различные виды нормированного биотоплива (древесный уголь для металлургии, древесные гранулы, топливные брикеты, торрефицированное древесное топливо). Здесь производительность труда превышает 3,0 млн руб. на одного работающего в год;

– производство различных видов инновационной продукции (активные угли, термомодифицированная древесина, новые виды лесохимической и бумажной продукции на основе нанотехнологий, новые виды экологичной бумажной упаковки и иной бумажной продукции – водорастворимая бумага, «умная бумага» и др.) (производительность труда в таких секторах достигает 3,7–3,8 млн руб. на одного работающего в год);

– развитие производственно-технологической базы деревянного домостроения (производительность труда до 2,5 млн руб. на одного работающего в год);

– внедрение энергоэффективных технологических процессов во всех видах лесопромышленных производств.

В этой связи модель формирования новых высокопроизводительных рабочих мест в лесопромышленном комплексе Свердловской области должна включать следующие направления:

– расширение действующих и создание новых производств в экспортноориентированных секторах лесного комплекса и секторах высокой переработки (производство мебели, деревянное домостроение и пр.);

– развитие высокотехнологичных производств в секторе малого лесного бизнеса, ориентированного на выпуск, в первую очередь, инновационной продукции (древесный уголь, нормированное древесное биотопливо, активный уголь, торрефицированные древесные гранулы и брикеты и др.). Элементами механизма создания таких производств могут

выступить муниципальные программы развития, включая, в первую очередь, программы освоения местных видов энергетических ресурсов, а также развития и поддержки малого и среднего предпринимательства (на основе софинансирования инвестиционных проектов за счет средств инвестора, бюджетных средств и средств муниципальных фондов развития). Основные преимущества развития таких производств на территории муниципальных образований связаны с высокой производительностью труда, относительно небольшими объемами инвестиций и их высокой эффективностью (средний срок окупаемости проектов – 2,5–3 года). Кроме того, развитие данных видов производств влечет за собой формирование новых рынков и, как следствие, создание новых рабочих мест в отраслях-потребителях данной продукции.

При этом реализация указанных направлений приведет к созданию дополнительных новых рабочих мест в смежных отраслях-потребителях продукции лесного комплекса и отраслях обеспечивающей инфраструктуры, что связано с мультипликативным эффектом развития. При этом часть рабочих мест в данных отраслях также будут высокопроизводительными. В первую очередь, это относится к производствам и отраслям химической промышленности, металлургии (белая металлургия), энергетики (муниципальная биоэнергетика на основе древесных видов топлива), оптовой и розничной торговле, транспорту. Согласно экспертным оценкам, одно рабочее место в секторе высокотехнологичных производств лесного комплекса способно сформировать до 2,5 рабочих мест в последующей цепи воспроизводственного процесса.

Практическая реализация модели формирования высокопроизводительной занятости в лесопромышленном комплексе Свердловской области, по мнению авторов, может быть осуществлена в рамках кластерного подхода организации лесопромышленного бизнеса.

С позиции системного подхода экономический кластер представляет собой совокупность субъектов хозяйственной деятельности, объединенных в организационную

структуру, элементы которой находятся во взаимосвязи и взаимозависимости и совместно функционируют с определенной целью. Формирование эффективных технологических цепочек из нескольких самостоятельных хозяйствующих субъектов является стратегическим мероприятием, требующим долгосрочных вложений и возможным только на основе их самоорганизации путем реализации предпосылок, сложившихся как внутри этих субъектов, так во внешней среде их потенциальных объединений. Такое взаимодействие должно приводить к дополнительным выгодам для каждого из участников и создавать стимулы к формированию единого механизма функционирования [4]. В случае налаживания эффективных хозяйственных связей кластеры не только увеличивают объем совокупного внутреннего валового продукта, но и способствуют росту предложения рабочих мест, расширению налогооблагаемой базы, привлечению инвестиций и т.д. Кроме того, важной отличительной чертой экономического кластера является его инновационная ориентированность. Наиболее успешные кластеры формируются там, где реализуется прорыв в области техники и технологии производства с последующим выходом на новые «рыночные ниши» через развитие высокотехнологичных секторов [5].

Базовой предпосылкой для формирования на территории Свердловской области лесоперерабатывающего кластера является организация в Уральском государственном лесотехническом университете Уральского лесного технопарка, который в настоящее время выполняет роль инфраструктурного механизма поддержки развития высокотехнологичных производств в сегменте инновационного малого и среднего лесопромышленного бизнеса. Так, за период после создания в 2007 г. в нем было коммерциализировано более десяти научно-технических разработок, создано 14 малых инновационных предприятий, 6 из которых в настоящее время являются самостоятельными бизнес-структурами лесного предпринимательства и обеспечивают высокопроизводительную занятость более чем для 100 человек. Реализуемые предпри-

ятиями Уральского лесного технопарка инвестиционные проекты, в частности проект ООО «Ултан» по антисептической обработке деревянных изделий, проект ООО «ПЛПК» по производству влагостойкой ДСП, позволят уже в ближайшей перспективе освоить производство импортозамещающей продукции и создать до 2015 г. дополнительно не менее 45 новых высокопроизводительных рабочих мест. Таким образом, тиражирование полученного опыта по инкубированию и развитию малых инновационных форм, а также внедрение научно-технических разработок в производственно-хозяйственную деятельность при модернизации и строительстве новых производственных мощностей в рамках кластерной структуры, согласно экспертной оценке, смогут дать положительный эффект, связанный с формированием сегмента высокопроизводительной занятости в лесопромышленном бизнесе региона в кратчайшие сроки – в период 1–2 лет.

С другой стороны, необходимо обратить внимание на целый ряд системных проблем, с которыми сталкиваются сегодня предприятия лесопромышленного комплекса и которые формируют систему экономических рисков при формировании регионального лесоперерабатывающего кластера. В первую очередь это:

- высокий уровень производственных издержек на предприятиях – потенциальных участниках кластера, не позволяющий выпускать конкурентоспособную продукцию;
- несовершенство законодательства (новый Лесной кодекс; реформирование ОАО «РЖД»), резко обострившее проблему вывозки лесного сырья с мест заготовки; введение на территории России с марта 2013 г. норм Еврорегламента);
- ресурсные ограничения (человеческие, финансовые, научно-технологические, со стороны инновационной инфраструктуры и др.);
- недостаточный уровень развития транспортной инфраструктуры (в т.ч. отсутствие автомобильных дорог, обеспечивающих движение автопоездов с общей массой более 70 т);

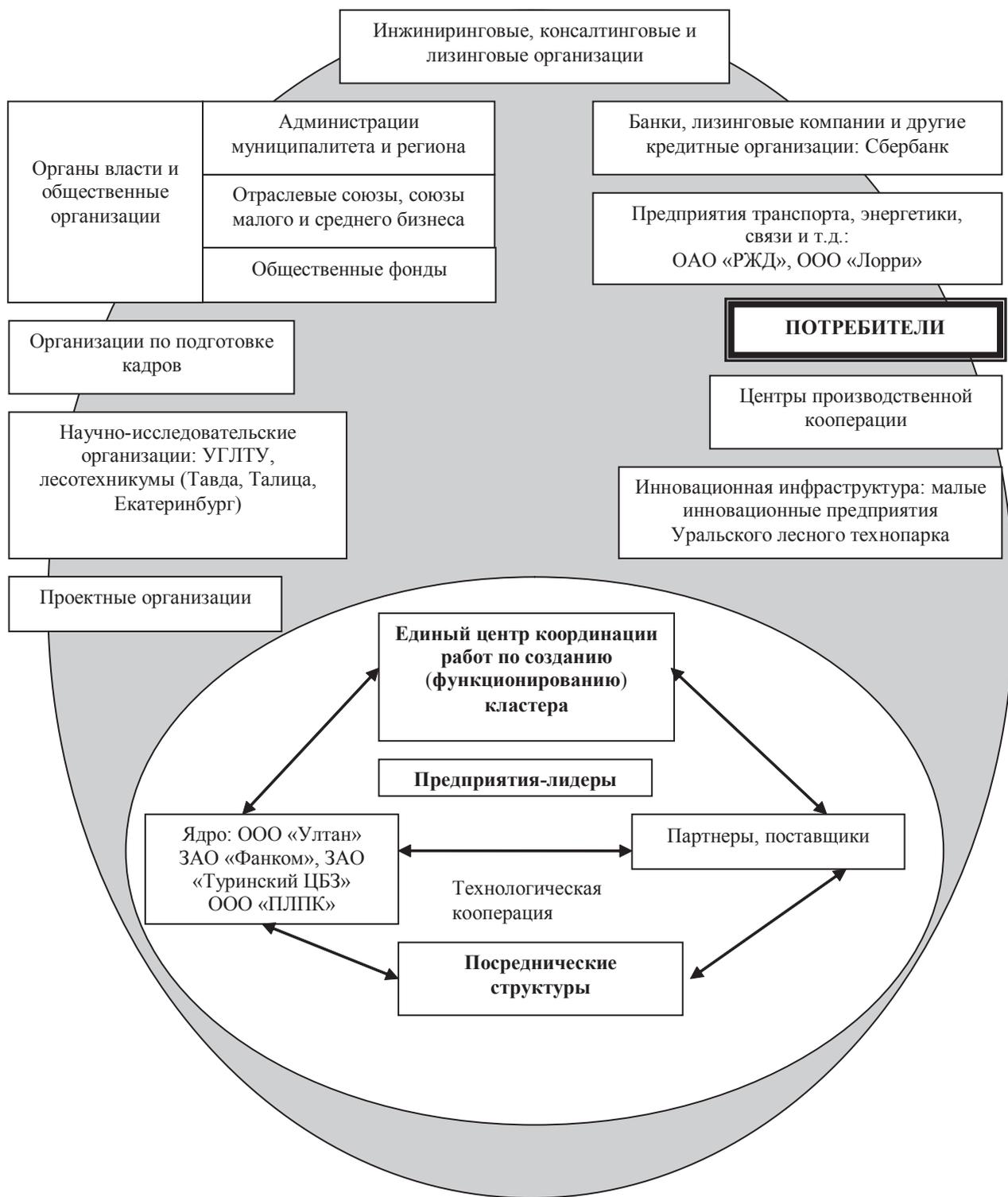


Рисунок. Структура лесоперерабатывающего кластера Свердловской области

– отсутствие организационных предпосылок для реализации кластерной инициативы (отсутствие инициатора (лидера), неготовность ведущих менеджеров и собственников предприятий к эффективным и взаимовыгодным партнерским отношениям, отсутствие обос-

нованной стратегии и программы развития бизнеса в форме кластера, отсутствие действенных и адресных мер поддержки развития кластерных структур со стороны государства)

В то же время, структура потенциального регионального лесоперерабатывающего

Экономическая эффективность создания лесоперерабатывающего кластера в Свердловской области

Наименование показателя	I этап 2013–2014 гг.	II этап 2015–2017 гг.	III этап 2018–2020 гг.	IV этап 2021–2025 гг.
Отгрузка продукции, млн руб. в год	4 400,00	6 200,00	8 100,00	11 500,00
Объем инвестиций в основной капитал, накопительным итогом, млн руб.	70,00	150,00	290,00	540,00
Численность организаций в кластере, ед.	15	30	40–50	80–100
Доля инновационно-активных организаций, %	8	12	17	25
Численность занятых на предприятиях кластера, тыс. чел.	2,0	2,2	2,4	2,8
Доля высокопроизводительной занятости в общей численности работающих, %	10	15	24	35

кластера сегодня уже практически сформировалась (рисунок). Так, в качестве его ядра могут выступить ЗАО «Фанком», ЗАОр «Туринский ЦБЗ», ООО «Ултан», ООО «ПЛПК».

Среди основных поставщиков и партнеров можно назвать:

- лесозаготовительные предприятия (например, ЗАО «ПО «Свердлес»);
- предприятия по производству комплектующих, реагентов, смол, региональные строительные организации;
- Ассоциацию малоэтажного деревянного домостроения Свердловской области;
- посреднические и научно-образовательные структуры (учреждения и организации академической, отраслевой, вузовской науки, в частности, Уральский государственный лесотехнический университет, лесотехникумы в городах Тавда, Талица, Екатеринбург; учреждения и организации деловой и производственной инфраструктуры, финансово-кредитные учреждения, логистические центры и др., обеспечивающие непрерывность производственного процесса и развитие производственных связей).

Продукция кластера – это продукция третьего (ДВП, ДСП и фанера) и четвертого (писчебумажная продукция и лесохимия) переделов с высокой добавленной стоимостью, способствующая формированию высокопроизводительной занятости.

В таблице представлена оценка эффективности реализации кластерной иници-

ативы по формированию в Свердловской области лесоперерабатывающего кластера.

Важно отметить, что помимо прямых экономических эффектов, связанных с увеличением объемов отгрузки продукции собственного производства и инвестиций, реализация кластерной инициативы обеспечивает трансформацию структуры лесопромышленного производства в направлении увеличения доли выпуска новых видов продукции с высокой добавленной стоимостью и формирования на этой основе устойчивого сегмента высокопроизводительной занятости. Так, согласно проведенной авторами оценке, к 2020 г. практически каждое четвертое рабочее место в лесоперерабатывающем кластере может стать высокопроизводительным и обеспечивать выработку на уровне более 3,3 млн руб. в год на одного работающего в текущих ценах (таблица).

Для реализации данной кластерной инициативы требуется эффективный экономический механизм, который должен опираться на принципы государственно-частного партнерства, и совершенствование нормативно-правовой базы государственного регулирования и поддержки развития лесного бизнеса и включать в состав такие первоочередные элементы, как:

- институционализация кластерной инициативы (оказание поддержки в разработке концепции и программы развития кластера, создании центра кластерного развития и др.);

– завершение формирования и организация постоянной актуализации информационного банка данных о технологических возможностях предприятий регионального лесопромышленного комплекса в рамках реализации Программы развития производственной кооперации на территории Свердловской области [6];

– содействие в установлении кооперационных связей (производственных, информационных и др.) между участниками кластера;

– совершенствование внутриобластной инфраструктуры, обеспечивающей развитие кооперации;

– внедрение конкурсной системы приобретения ресурсов для предприятий лесопромышленного комплекса;

– разработка и внедрение законодательных инициатив по развитию механизма обеспечения предприятий-участников кластера доступными лесосырьевыми ресурсами в рамках реализации проектов комплексной малоэтажной застройки жилья эконом класса;

– активное привлечение предприятий малого и среднего предпринимательства к участию в реализации кластерной инициативы;

– расширение линейки механизмов государственной и муниципальной поддержки малых инновационных и внедренческих

форм бизнеса и увеличение объемов ресурсного обеспечения в рамках использования существующего инструментария поддержки таких форм, при особом внимании к поддержке стартапов и исследовательско-внедренческих МИПов, не имеющих стартового капитала.

Библиографический список

1. Внешнеэкономические проблемы перехода России на инновационный путь развития/ ред. Ситарян С.А. – М.: Наука, 2001. – 252 с.
2. Федоров, С.В. Сущность и специфические особенности наукоемких отраслей / С.В. Федоров // Креативная экономики, 2009. – № 12(27). – С. 50–53.
3. Мехренцев, А.В. Об основных направлениях создания новых рабочих мест в лесопромышленном комплексе Свердловской области / А.В. Мехренцев, Е.Н. Стариков // Эко-Потенциал, 2013. – № 1–2. – С. 24–32.
4. Ларионова, Н.А. Кластерный подход в управлении конкурентоспособностью региона / Н.А. Ларионова // Экон. вестник Ростовского ГУ. – 2007. – № 1. – Ч. 2. – 295 с.
5. Важенин, С.Г. Территориальная конкуренция в экономическом пространстве / С.Г. Важенин, В.Л. Берсенов, И.С. Важенина, А.И. Татаркин. – Екатеринбург: Институт экономики УрО РАН, 2011. – 488 с.
6. Постановление Правительства Свердловской области от 6 апреля 2009 г. № 371-ПП «О Программе развития кооперации на территории Свердловской области до 2020 г.». – Екатеринбург: Собрание законодательства Свердловской области, 20.05.2009. – № 4 (2009). – Ст. 434.

APPROACHES TO CREATE A MODEL OF HIGH PRODUCTIVITY EMPLOYMENT IN A REGIONAL TIMBER INDUSTRY (USING THE EXAMPLE OF A TIMBER INDUSTRY OF THE SVERDLOVSK REGION)

Mehrencev A.V. (USFEU), Starikov E.N. (USFEU)

starik1705@yandex.ru

Ural State Forest Engineering University (USFEU)
Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The article analyzes the working places in the timber industry of the Sverdlovsk region in terms of their quality, based on the achieved level of productivity. Specified the possible ways of development of the perspective sectors of timber industry, which can lead to a significant increase the level of productivity and quality of working places. Further, the approaches of creating a model of high productivity employment in the regional timber industry are considered on the basis of using of the cluster forms of forestry business organization. The estimation of economic efficiency of the wood-processing cluster of the Sverdlovsk region is made, including the assessment of development of the high productivity employment sector. Proposed the elements of the economic mechanism of implementation of the cluster initiative.

Keywords: forestry business, productivity, employment, working places, criteria, development trends, economic cluster, wood processing cluster, Sverdlovsk region, efficiency, implementation mechanism.

References

1. *Vneshneekonomicheskiye problemy perekhoda Rossii na innovatsionnyy put razvitiya* [Foreign economic problems of Russia's transition to innovative development]/ red. Sitaryan S.A. – Moscow. Nauka, 2001. – 252 p.

2. Fedorov S.V. *Sushchnost i spetsificheskiye osobennosti naukoymekikh otrasley* [The nature and specific features of high-tech industries]. Kreativnaya ekonomiki. 2009. № 12(27). pp. 50-53.
3. Mekhrentsev A.V., Starikov Ye.N. *Ob osnovnykh napravleniyakh sozdaniya novykh rabochikh mest v lesopromyshlennom komplekse Sverdlovskoy oblasti* [On the main directions of creating new jobs in the lumber industry of the Sverdlovsk region]. Eko-Potentsial. 2013. № 1-2. pp. 24-32.
4. Larionova N.A. *Klasternyy podkhod v upravlenii konkurentosposobnostyu regiona* [Cluster approach in the management of the region's competitiveness]. Terra economicus. 2007. № 1. Ch.2. – 295 p.
5. Vazhenin S.G., Bersenev V.L., Vazhenina I.S., Tatarkin A.I. *Territorialnaya konkurentsia v ekonomicheskom prostranstve* [Territorial competition in the economic space]. – Yekaterinburg: Institut ekonomiki UrO RAN, 2011. – 488 p.
6. *Postanovleniye Pravitelstva Sverdlovskoy oblasti ot 6 aprelya 2009 goda № 371-PP «O Programme razvitiya kooperatsii na territorii Sverdlovskoy oblasti do 2020 goda»* [Resolution of the Government of Sverdlovsk region from April 6, 2009 № 371-PP «On the Program of development of cooperation in the Sverdlovsk Region 2020»]. – Yekaterinburg: Sobraniye zakonodatelstva Sverdlovskoy oblasti, 20.05.2009, № 4 (2009), st. 434.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТБОРА ДЕРЕВЬЕВ ПРИ ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ ЛЕСА

Ю.А. ШИРНИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств ПГТУ, д-р техн. наук,*

Л.А. СТЕШИНА, *доц. каф. проектирования и производства электронно-вычислительных средств ПГТУ, канд. техн. наук,*

И.О. ТАНЫРЬВЕРДИЕВ, *асп. каф. проектирования и производства электронно-вычислительных средств ПГТУ*

ShirninYA@volgatech.net, SteshinaLA@volgatech.net, TanryverdievIO@volgatech.net
ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, кафедра ТОЛП 424000,
Респ. Марий Эл, г. Йошкар-ола, пл. Ленина, д. 3.

В статье рассмотрены проблемы производительности технологического процесса выборочных рубок леса с использованием валочно-сучкорезно-раскряжевочных машин. Особое внимание уделено циклограммам работы ВСРМ. Рассмотрена система поддержки принятия решений оператора лесных машин, теоретико-множественные и имитационные модели принятия решений на основе нечеткой логики и нечетких правил отбора деревьев в рубку.

Ключевые слова: харвестер, выборочная рубка, автоматизация, маршрут, отбор деревьев

В настоящее время в развитии технологий механизированных лесозаготовок наблюдается серьезное противоречие между высоким уровнем технологической оснащенности лесозаготовителей техникой, с одной стороны, и весьма низкими показателями производительности за смену – с другой. Закупка новой техники и заимствование западных технологий лесозаготовок не дают желаемого результата, так как средняя производительность оператора валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (далее ВСРМ) составляет 10–15 м³/ч, в то время как, например, опытный финский оператор может заготовить до 40 м³/ч, используя аналогичные метод и технику [1].

Целью данной работы является предложение по повышению производительности ВСРМ при проведении выборочных рубок леса.

Деятельность оператора современных ВСРМ представляет собой сложный многофункциональный процесс, состоящий из множества основных и дополнительных операций. К основным операциям относят перемещение ВСРМ на рабочую позицию, подведение харвестерной головки, захват и срезание дерева, протяжку ствола, раскряжевку и укладку сортиментов.

К дополнительным операциям можно отнести действия оператора ВСРМ для повышения эффективности своей работы или работы последующей машины, такие как поиск дерева, оптимизация маршрута движения ВСРМ к объекту разработки, оптимизация наведения срезающей головки на дерево и т.д.

Моделирование каждого приема из основной и дополнительной групп позволит

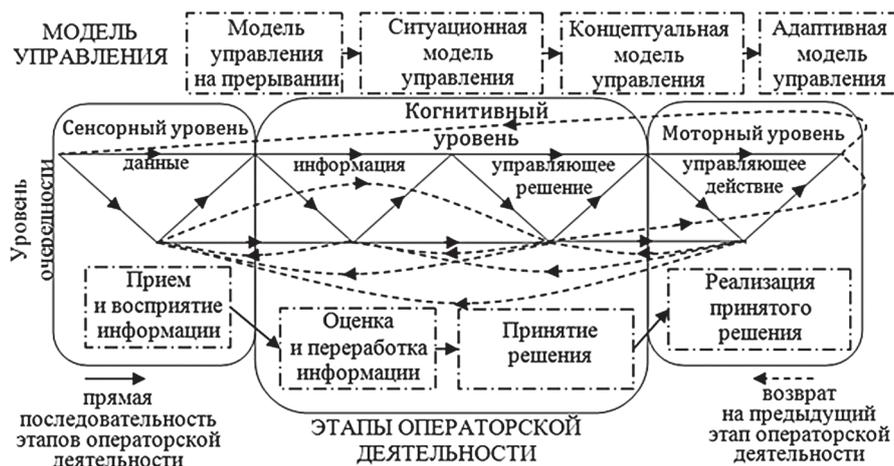


Рис. 1. Системная модель операторских функций

получить рекомендации по оптимальной организации всего сквозного технологического процесса лесозаготовок [2, 7].

Согласно современным представлениям, деятельность оператора при выполнении отдельных операций может быть представлена в виде системной модели [3], изображенной на рис. 1, которая может быть применима к большинству типичных действий оператора.

Циклограмма работы оператора ВСРМ свидетельствует, что наибольшую сложность для оператора представляют дополнительные операции, длительность выполнения которых напрямую зависит от опыта работы оператора и определяет эффективность работы ВСРМ.

Так, опытный оператор ЛЗМ последовательно выполняет четыре этапа операторской деятельности, представленные на рис. 1.

Кроме того, возможен возврат на предыдущий этап операторской деятельности или рекурсия вследствие ошибочного выполнения предыдущих действий. Так, например, при ошибочном результате поиска дерева обнаружить ошибку возможно на этапе захвата дерева, поскольку на этом этапе измерение таксационных параметров дерева производится бортовыми системами ВСРМ. Следовательно, в данном случае производится возврат на этап поиска дерева. Аналогичная ситуация может возникнуть и при решении задачи поиска оптимального маршрута перемещения ВСРМ, влекущая рекурсивную итерацию процесса прокладки маршрута. Описанные ситуации представлены на схеме в виде прерывистых линий, а частота их

появления зависит, в первую очередь, от опыта оператора и успешности выполнения им этапа операторской деятельности. Например, если принятие управляющего решения затруднительно на основе имеющейся информации, то возможен альтернативный выбор между принятием решения в условиях неопределенности, дополнительная оценка информации или возврат на этап приема и восприятия информации с целью ее актуализации или уточнения.

В исследовании зависимости производительности операторов лесозаготовительных машин от их опыта работы, проведенном НИИ леса Финляндии (*METLA*), было выявлено, что в среднем операторы харвестеров выходят на 90 % уровень средней выработки только к 9-му месяцу работы, а на 100 % – только на 13-й месяц [4]. Кроме того, исследователи подчеркивают, что при выборочных рубках квалификация оператора является определяющей. Для допуска к проведению выборочных рубок необходим более высокий уровень обучения, чем те навыки, которые позволяют работать оператору в условиях сплошных рубок. Система «оператор – ЛЗМ – объект разработки» представляет собой типичную эргатическую систему управления (ЭСУ) подвижным объектом. Применение компьютерного интеллекта к задачам обеспечения деятельности оператора эргатических систем управления является важнейшим резервом повышения эффективности и безопасности ЭСУ [5].

Таким образом, предложено использование системы поддержки принятия решений

(СППР), обеспечивающей поддержку операторской деятельности.

Модель принятия решения о назначении рубки дерева представлена в виде теоретико-множественной модели

$$MP = \langle ЦД, МЛ, МД, МЛМ, БП \rangle,$$

где *ЦД* – цель деятельности;

МЛ – модель линейных размеров дерева;

МД – модель делянки;

МЛМ – модель лесозаготовительной машины;

БП – база правил назначения рубки.

Модель линейных размеров дерева формируется путем математической обработки измерительной информации – матрицы глубины пространства

$$ML = \langle ДС, ВС, КФ, МГП \rangle,$$

где *ДС* – диаметр ствола на высоте 1,3 м.;

ВС – расчетная высота ствола;

КФ – коэффициенты формы;

МГП – матрица глубины пространства, полученная оптическими средствами измерения.

Модель делянки, в свою очередь, формируется на основании количества обнаруженных деревьев в поле зрения оптического измерителя параметров древостоя

$$MD = \langle ПН, ПД, КД \rangle,$$

где *ПН* – плотность насаждений;

ПД – порода дерева (установлена оператором вручную);

КД – количество деревьев, обнаруженных в площади обзора оптического измерителя параметров древостоя.

Статическая модель лесозаготовительной машины призвана служить для оптимизации пути движения лесозаготовительной машины

$$MLM = \langle ТМ, СТ, ГР \rangle,$$

где *ТМ* – тип машины (ВСРМ, харвестер);

СТ – вылет стрелы (расстояние, на котором дерево может быть захвачено и обработано);

ГР – габаритные размеры лесной машины (ширина, высота) для расчета проходимости.

Концептуальная модель СППР оператора лесозаготовительной машины показана на рис. 2.

Имитационная модель СППР представлена на рис. 3.

Решатель представляет собой машину нечеткого логического вывода *Mamdani* с алгоритмами приведения к нечеткости.

Лингвистические переменные аппарата нечеткой логики разделены на 4 группы:

– диаметр ствола дерева;

– высота дерева;

– коэффициент формы дерева;

– плотность насаждений.

Каждая имеет 3 значения – большой, средний, малый.

Предлагаемый способ автоматизированного принятия решений по назначению деревьев в рубку при их обработке лесозаготовительной машиной осуществляется следующим образом.

На первом этапе стереоизображение рабочей области лесного массива со стереопары камер 3, установленных на лесозаготовительной машине, передается в ЭВМ и вычисляется методом стереоскопического параллакса [6] матрица глубины пространства перед лесозаготовительной машиной.

На втором этапе производится анализ матрицы глубины пространства и определяется количество деревьев в рабочей зоне путем нахождения прямоугольных областей матрицы с равными элементами.

На третьем этапе производится расчет таксационных показателей каждого дерева в рабочей зоне лесозаготовительной машины, таких как диаметр ствола, коэффициент формы ствола, наличие повреждений по формулам

$$d_{1,3} = 2n \left(\frac{\tan(90 - \frac{1}{a_c})}{l_0} \right),$$

где $d_{1,3}$ – диаметр дерева на высоте 1,3 метра;

n – количество пикселей, занимаемых исследуемым деревом на стереоизображении;

a_c – угол обзора видеокамеры в горизонтальной плоскости;

l_0 – расстояние до исследуемого дерева.

$$f = d_0 / d_{1,3},$$

где f – коэффициент формы ствола;

d_0 – диаметр дерева у шейки корня;

$d_{1,3}$ – диаметр дерева на высоте 1,3 м.

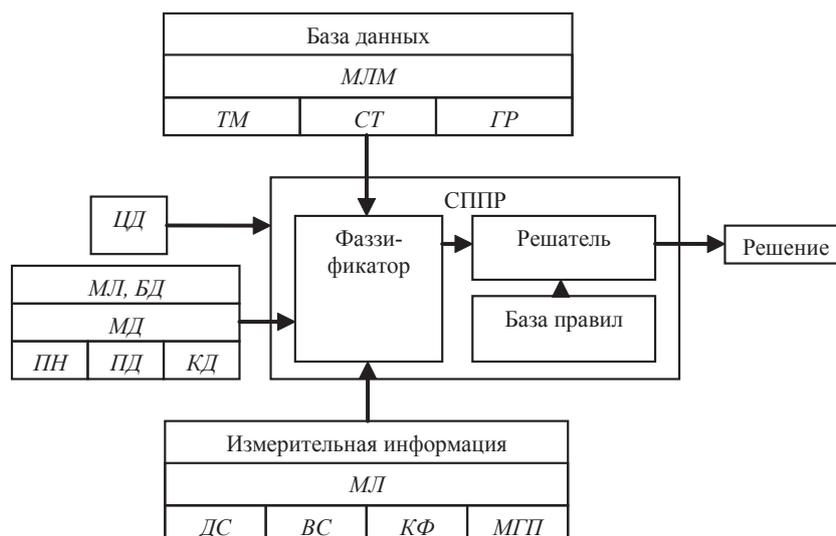


Рис. 2. Концептуальная модель СППР оператора

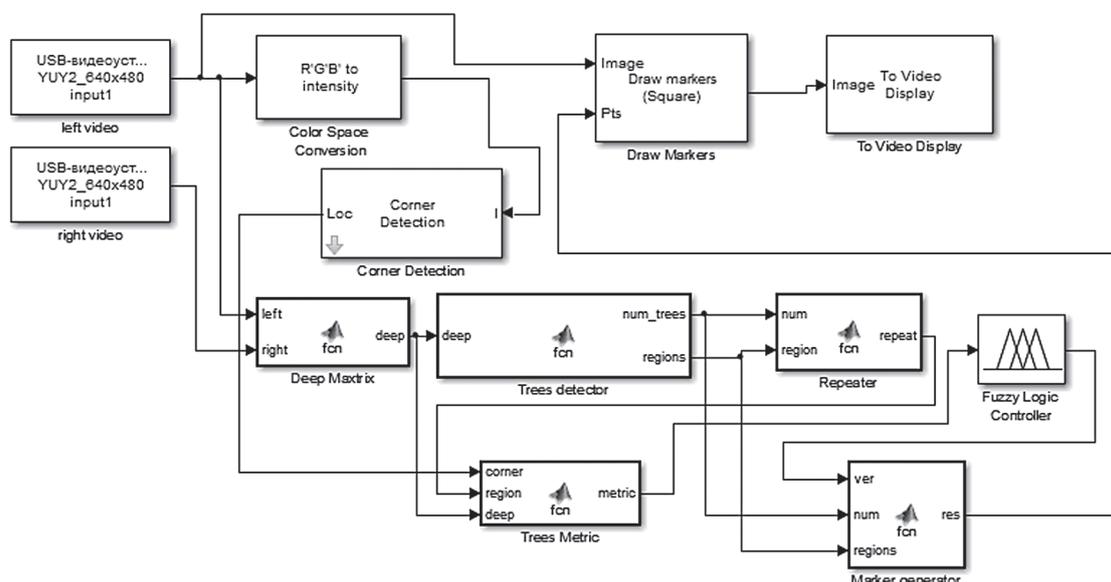


Рис. 3. Имитационная модель СППР оператора

Причем, в качестве условного показателя наличия повреждений принимается наличие локальных изменений цвета древесного ствола, что свидетельствует о разрушении коры дерева.

На четвертом этапе автоматизировано, посредством решателя на основе нечеткой логики на основании данных, полученных на предыдущих этапах, принимается вероятностное решение о назначении в рубку каждого обнаруженного дерева в рабочей зоне лесозаготовительной машины и подсвечивается на мониторе оператора дерево с максимальной вероятностью назначения его в рубку.

В таблице приведены примеры правил, входящих в базу правил назначения рубки. Важно отметить, что базы правил различны для каждого вида рубки (выборочная главного пользования, рубка ухода, просветления и т.д.), для каждого вида леса (хвойный, лиственный) и возраста леса.

Таким образом, в настоящее время разработана и апробирована имитационная модель СППР при отборе деревьев, подлежащих механизированной рубке.

В процессе апробации на вход модели СППР подавались линейные размеры дерева, а на выходе получали вероятность назначения рубки для данного объекта.

Примеры правил назначения рубки

Наименование правила	Правило
Несоответствие <i>МЛ</i> по диаметру дерева пороговым требованиям	Если <i>ДС(Д)</i> МАЛЫЙ, ТО $D \cap \{Pr\}$
Несоответствие <i>МД</i> по плотности насаждений пороговым требованиям	Если <i>ПН</i> БОЛЬШОЙ И <i>КФ(Д)</i> БОЛЬШОЙ, ТО $D \cap \{Pr\}$

Качество выносимых решений контролировалось экспертами, в лице которых выступали специалисты – таксаторы. Для принятия решений экспертами использовались таксационные карты и таблицы.

Совпадение в выборе назначенных в рубку деревьев на основе СППР и с использованием экспертной оценки таксаторов составило 76 %, что соответствует высокой степени согласованности.

В настоящее время представляется актуальной задача автоматизации процесса дистанционного измерения линейных размеров деревьев и уточнение и корректировка базы правил СППР, обеспечивающей большую степень согласованности.

Библиографический список

1. Сюнев, В.С. Анализ потребности в обучении операторов лесозаготовительных машин / В.С. Сюнев, А.П. Соколов, А.А. Селиверстов, А.П. Коновалов и др. – Metla, 2008. – С. 5–7.
2. Шегельман, И.Р. Трансформация системы лесосырьевой и технологической подготовки в организации лесопользования / И.Р. Шегельман, В.М.

Лукашевич // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3. – Ч. 1. – С. 739–743.

3. Петухов, И.В. Методологические основы оценки профпригодности оператора эргатических систем / И.В. Петухов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; <http://www.science-education.ru/108-8581> (дата обращения: 13.03.2013).
4. Сюнев, В.С. Анализ потребности в обучении операторов лесозаготовительных машин / В.С. Сюнев, А.П. Соколов, А.А. Селиверстов, А.П. Коновалов и др. – Metla, 2008. – С. 9.
5. Теряев, Е.Д. Современные проблемы автоматизации и интеллектуализации эргатических систем управления подвижными объектами / Е.Д. Теряев, К.В. Петрин, А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов // Монография «Интеллектуальные системы управления» под ред. акад. С.Н. Васильева. – М.: Машиностроение, 2010. – С. 84–95.
6. Котюжанский, Л.А. Вычисление карты глубины стереоизображения на графическом процессоре в реальном времени // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (ч. 2). – С. 444–449.
7. Ширнин, Ю.А. Обоснование технологических параметров лесосек и режимов работы лесозаготовительных машин: учебное пособие/ Ю.А. Ширнин, К.П. Рукомойников, Н.И. Роженцова, А.Ю. Ширнин; под. Ред. проф. Ю.А. Ширнина. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – 172 с.

AUTOMATIC SELECTION OF TREES IN SELECTED WOODCUTTING

Shirnin U.A. (Volga State University of Technology), Steshina L.A., (Volga State University of Technology), Tanryverdiev I.O. (Volga State University of Technology)

ShirninYA@volgatech.net, SteshinaLA@volgatech.net, TanryverdievIO@volgatech.net
Volga State University of Technology, 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

The article is devoted to the performance the process of selective forest cutting using harvesters. Particular attention is given to harvester operating cycle. Considered decision support system operator forestry machines, set-theoretic and simulation models of decision-making based on fuzzy logic and fuzzy rule selection of trees for felling.

Keywords: harvester, selective felling, automation, route, selection trees

References

1. Syunev V.S., Sokolov A. P., Seliverstov A.A., Konovalov A.P., Katarov V.K., Gerasimov Yu.Yu., Vyalkkyu E., Karvinen S. *Analiz potrebnosti v obuchenii operatorov lesozagotovitelnykh mashin* [Analysis of the training needs of operators of harvesting machines]. METLA, 2008, pp. 5-7.
2. Shegelman I.R., Lukashevich V.M. *Transformatsiya sistemy lesosyryevoy i tekhnologicheskoy podgotovki v organizatsii lesopolzovaniya* [Transformation of forest resources and technological training in forest management organization]. Fundamentalnyye issledovaniya. 2012. № 3, ch.1. pp. 739-743.

3. Petukhov, I.V. *Metodologicheskiye osnovy otsenki profprigodnosti operatora ergaticheskikh sistem* [Methodological basis for assessing proficiency operator ergonomics systems]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8581> (data obrashcheniya: 13.03.2013).
4. Syuney V.S., Sokolov A. P., Seliverstov A.A., Konovalov A.P., Katarov V.K., Gerasimov Yu.Yu., Vyalkkyu E., Karvinen S. *Analiz potrebnosti v obuchenii operatorov lesozagotovitelnykh mashin* [Analysis of the training needs of operators of harvesting machines]. METLA, 2008, pp. 9
5. Teryayev, Ye. D., Petrin K.V., Filimonov A.B., Filimonov N.B. *Sovremennyye problemy avtomatizatsii i intellektualizatsii ergaticheskikh sistem upravleniya podvizhnymi obyektami* [Modern problems of automation and intellectualization ergonomics systems of mobile objects]. Monografiya «Intellektualnyye sistemy upravleniya» pod red. akad. S.N. Vasilyeva. – Moscow. Mashinostroyeniye, 2010. – pp. 84–95.
6. Kotyuzhanskiy L.A. *Vychisleniye karty glubiny stereoizobrazheniya na graficheskom protsessore v realnom vremeni* [Calculation of the depth mapstereo graphic processor in real-time]. *Fundamentalnyye issledovaniya*. – 2012. – № 6 (part 2). – pp. 444-449.
7. Shirnin, Yu.A., Rukomoynikov K.P., Rozhentsova N.I., Shirnin A.Yu. *Obosnovaniye tekhnologicheskikh parametrov lesosek i rezhimov raboty lesozagotovitelnykh mashin: uchebnoye posobiye* [Substantiation of technological parameters of cutting areas and modes of harvesting machines : Tutorial]. – Yoshkar-Ola: Mari State Technical University, 2009. – 172 p.

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОСВОДКИ И ЛЕСООЧИСТКИ ЛОЖ ВОДОХРАНИЛИЩ ГЭС СИБИРИ

В.П. КОРПАЧЕВ, проф. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук,
А.И. ПЕРЕЖИЛИН, доц. каф. использования водных ресурсов,
А.А. АНДРИЯС, доц. каф. использования водных ресурсов СибГТУ, канд. техн. наук,
С.М. СЛАДИКОВА, доц. каф. использования водных ресурсов СибГТУ

ivr@sibgtu.ru, alexpr_1982@mail.ru, andriyas@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный технологический университет»,
660049, г. Красноярск, пр-т Мира, д. 82

В данной статье авторы попытались обобщить огромный теоретический и практический потенциал информации, накопленный за годы исследований данной проблемы. Исходным материалом послужил огромный банк данных, собранных в результате натурных обследований уже построенных и создаваемых водохранилищ, опыт проектирования и проведения работ по подготовке лож к затоплению.

Ключевые слова: ложе водохранилища, лесосводка, лесоочистка, проблемы

Крупнейшие гидроэлектростанции Сибири, построенные в лесопокрытой зоне с запасами древесины до 500 м³/га, стали мощными источниками активного воздействия на окружающую природную среду. И теперь «наука» поставлена перед необходимостью бороться с последствиями загрязнения и засорения водохранилищ и рек, поскольку не были своевременно устранены причины, обусловившие эти неблагоприятные последствия.

Устранить все негативные последствия возведения водохранилищ ГЭС на окружающую среду, наиболее полно рассмотренные в работе [1], практически невозможно. Однако еще на раннем этапе (стадия проекта) возможно и необходимо предусмотреть пре-

дупредительные и компенсационные мероприятия.

Основным нормативным документом, устанавливающим основные требования к проектированию, строительству и эксплуатации водохранилищ с целью обеспечения качества воды в них, соответствующего требованиям водно-санитарного законодательства, является СанПиН 3907–85, согласно которым одним из основных мероприятий по подготовке ложа водохранилища является санитарная подготовка территории затопления, включающая:

– санитарную очистку территорий населенных пунктов, предприятий, зданий и сооружений, подлежащих выносу, а также мест массивного загрязнения;

Таксационные показатели древесно-кустарниковой растительности

Показатель	Ложе в границах		Всего
	Красноярского края	Иркутской области	
Площадь, тыс. га:			
затапливаемых земель;	138,1	16,9	154,9
покрытая лесной растительностью;	108,5	14,1	122,6 (126,5)
товарных насаждений;	31,6	6,0	37,6 (78,6)
спецучастков	16,2	0,5	16,7 (26,9)
Общий запас, млн. м ³ :			
древесно-кустарниковой растительности;	8,2	1,4	9,6 (13,5)
товарных насаждений	4,4	0,9	5,3 (12,8)
Средний запас товарных насаждений, м ³ /га	139	150	141 (163)
Средний состав товарных насаждений	3Л2С2Е2Б1Ос+П,К	3С2Л3Е2Б+К,П,Ос	

Примечание: в скобках приведены значения для 1974 г. по [3]; к товарным отнесены древостои с диаметром на высоте груди ≥ 16 см и запасом ≥ 60 м³/га.

- очистку от древесной и кустарниковой растительности;
- мероприятия в местах захоронений;
- подготовку прибрежных участков водохранилищ около населенных пунктов
- санитарных зон.

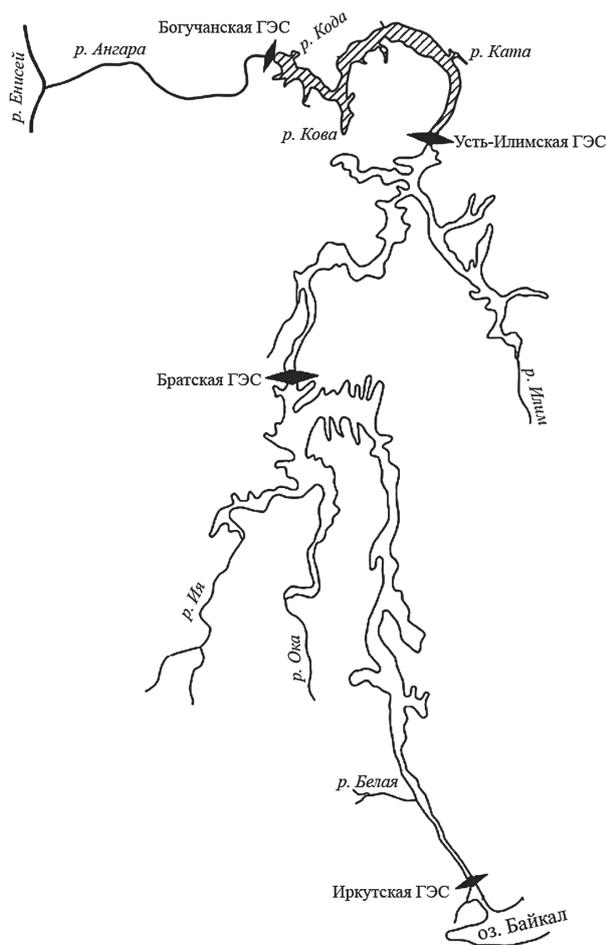


Рисунок. Водоохранилища Ангарского каскада ГЭС

Для водохранилища с коэффициентом водообмена менее 6, а также для водохранилищ емкостью до 10 млн. м³ лесосводка и лесочистка обязательны на всей затапливаемой территории; лесосводка и лесочистка обязательны также в пределах санитарных зон существующих и вновь создаваемых населенных пунктов. При этом древесные и порубочные остатки, если они не могут быть использованы или вывезены, сжигаются на месте без оставления недожогов [2].

Опыт строительства и эксплуатации водохранилищ ГЭС Сибири показал, что ни на одном водохранилище не были выполнены работы по лесосводке и лесочистке в плановых объемах [1] ввиду разного рода возникающих проблем. В качестве примера рассмотрим основные проблемы, возникающие при проектировании мероприятий по подготовке ложа водохранилища строящейся Богучанской ГЭС (БоГЭС), замыкающей Ангарский каскад (рисунок).

По результатам лесоинвентаризации, выполненной филиалом ФГУП «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект» в 2007 году, при общем запасе древесно-кустарниковой растительности 9559,2 тыс. м³ удельный вес товарных насаждений в зоне затопления составляет 55,3 %. Преобладают хвойные товарные насаждения (до 70 % запаса древесины). Сводные таксационные показатели древесно-кустарниковой растительности (по состоянию на

01.01.2008 г.) в зоне затопления строящейся БoГЭС приведены в табл. 1 [1].

В период с 1981 по 1987 гг. в зоне затопления БoГЭС в порядке лесосводки на территории Кежемского района Красноярского края предприятием К-100 было вырублено 6,2 млн м³ товарной древесины [4]. На территории Иркутской области лесосводка не проводилась.

К моменту проведения повторной лесосводки и лесочистки ранее очищенные площади вновь заросли древесно-кустарниковой растительностью, что создает определенные трудности при производстве работ и ведет к удорожанию сметы ГЭС.

Казалось бы, заблаговременное проведение лесосводки сократит расчетный годовой объем вырубki леса и позволит не создавать значительные мощности лесозаготовительных предприятий, не используемые в дальнейшем. Однако заблаговременные работы осложняются следующими обстоятельствами [5]:

- в пределах ложа будущего водохранилища находятся водоохранные зоны, в которых рубка леса запрещена, поэтому границы зоны затопления отбиваются в натуре и разрешение на вырубку древесины дается только после утверждения технического проекта и сроков строительства;

- на продолжительность работ влияют сроки строительства гидроузла, а также природно-климатические и лесорастительные условия района;

- в основном гидротехнические сооружения проектируются в малонаселенных районах, где отсутствуют потребители таких объемов древесины и нет транспортных путей для транспортировки ее в другие регионы страны;

- по сравнению с обычными лесозаготовками требуют повышенных капиталовложений на 1 м³ вырубаемой древесины. В то же время, как правило, в зонах затопления произрастают низкосортные насаждения, и поэтому отпускная стоимость заготовленной древесины оказывается ниже, а работы – менее рентабельными.

При планировании работ по подготовке ложа имеются свои особенности.

Постепенное наполнение водохранилища в течение нескольких лет вызывает необходимость перемещения нижних складов, рейдов и лесоперевалочных баз, что, как правило, требует строительства дополнительных подъездных дорог и переустройства коммуникаций. Рейды в связи с изменением отметок водохранилища подлежат переносу на значительные расстояния, а перебазирование приходится выполнять в сжатые сроки и без перерыва в работе по лесоэксплуатации. Наполнение водохранилища в течение навигационного сезона требует перемещения лесосплавных рейдов и изменения технологии работ на нижних складах и лесоперевалочных базах.

Поскольку из зоны затопления древесину вывозят преимущественно по зимним автодорогам или непосредственно тракторами к сплавным путям, наиболее рационально проводить лесосводку в зимнее время, а лесочистку – в летнее или осеннее время при отсутствии снежного покрова (за исключением болот), особенно на участках, требующих срезки пней заподлицо с землей или корчевки. Однако это в значительной мере зависит от отношений объема работ по лесосводке и лесочистке.

Применяемые при лесосводке и лесочистке технологии работ и механизмы мало чем отличаются от используемых для ведения лесозаготовительных работ в обычных условиях [5]. При этом следует отметить, что на территории ложа будущих водохранилищ, как правило, имеются неблагоприятные топографические и геологические условия. Подлежащая вырубке древесина расположена отдельными куртинами либо узкими полосами. В лесосводку вовлекаются не только спелые и перестойные древостои, но и все деревья, имеющие на высоте груди диаметр от 8 см и запас от 10 м³/га [6]. Поэтому получаемая при лесосводке древесина имеет более низкое качество, чем при обычных лесозаготовках. Следовательно, применение на лесосводке новых высокопроизводительных машин (харвестеры, валочно-пакетирующие машины, скиддеры и др.) в настоящее время не

Основные технико-экономические показатели проведения лесосводки в зоне затопления БогЭС

Показатель	Единица измерения	Проект	
		1976 г.	2008 г.
Площадь, покрытая лесной растительностью	тыс. га	126,5	122,6
в том числе площадь с товарными запасами	тыс. га	78,6	37,6
Общий запас лесонасаждений	млн м ³	13,5	9,6
в том числе запас товарных насаждений	млн м ³	12,8	5,3
Запас товарных насаждений, подлежащих лесосводке (включенных в расчет)	млн м ³	12,1	4,7
Средний ликвидный запас на 1 га площади товарных насаждений	м ³ /га	134	120
Средний объем хлыста	м ³	0,30–0,39	0,30–0,39
Средний состав товарных насаждений		4С3Л1Е2Б	3Л2С2Е2Б1Ос+П,К
Продолжительность лесосводки	лет	8	4
Количество работающих	чел.	2338	1836
Способ организации работ		создание леспромхозов	подрядный способ (вахтовый метод)
Получаемая продукция		хлысты	сортименты
Транспорт леса		водный, сухопутный	сухопутный
Объем строительства грунтовых дорог	км	725,3	541,0
Затраты на реализацию проекта (в ценах)	млн руб.	352,28 (1976 г.)	1970,8 (2001 г*.)

Примечание: * – на основе методических и нормативных документов ценообразования (в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации) сметно-нормативной базой в строительстве используется базисный уровень цен 2001 г. с последующим пересчетом в текущий (прогнозный) уровень цен по соответствующим индексам изменения [8].

может быть рекомендовано, так как они не дадут значительного эффекта и их целесообразней использовать в лесных массивах с более качественными насаждениями.

Технико-экономические показатели проведения лесосводки ложа водохранилища БогЭС (табл. 2), рассчитанные ФГБОУ ВПО «СибГТУ» и ФГУП «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект», показывают, что заготовка товарной древесины и вывозка ее потребителям убыточна [7] (себестоимость 3 тыс. руб./м³, при средней по региону цене реализации 1 тыс. руб./м³) и обусловлена следующими причинами.

1. Работы должны производиться по обоим берегам р. Ангара и ее притоков узкими полосами в условиях сильно пересеченного рельефа и бездорожья, что приводит к снижению производительности труда, вызывает необходимость строительства и содержания автомобильных дорог значительной протяженности, в связи с чем удельный объем осваиваемой древесины на 1 км дороги в

несколько раз ниже, чем в обычных условиях лесозаготовок.

2. Протяженность фронта работ только по основному руслу реки Ангара составляет 375 км, что значительно усложняет заготовку и вывозку товарной древесины к пунктам потребления и ведет к удорожанию работ.

3. Разбросанность объемов деловой древесины по всей площади ложа водохранилища и слабо развитая сеть дорог круглогодичного пользования вызывает необходимость строительства и содержания дополнительных дорог для доставки рабочих, техники и ГСМ к месту работы и вывозки деловой древесины.

4. Дефицит рабочих кадров в Кежемском и Усть-Илимском районах, а также удаленность мест проведения работ от населенных пунктов вызывают необходимость организации работ вахтовым методом с проживанием персонала во временных вахтовых поселках, что влечет значительное увеличе-

ние затрат на содержание вахтовых поселков и оплату вахтовому персоналу.

5. Так как первичная лесосводка в ложе водохранилища БоГЭС была проведена более 25 лет назад, то в настоящее время в зоне затопления преобладают молодняки и средневозрастные насаждения, занимающие до 50 % от общей площади насаждений, а на спелые и перестойные приходится не более 20 %.

6. В Кежемском районе, на долю которого приходится 90 % территории зоны затопления, весьма ограничен сбыт древесины. Поэтому вместо планируемой в 1976 г. хлыстовой вывозки проектом 2008 г. предусмотрена вывозка сортиментами, что обусловлено изменившимися условиями сбыта древесины – в основном пользуется спросом пиловочник хвойных пород, при этом другие сортименты не находят сбыта (лиственничная деловая и вся дровяная древесина не смогут быть реализованы).

В связи с убыточностью лесосводки был принят вариант подготовки ложа водохранилища БоГЭС к затоплению с отказом от лесосводки, но с обязательным проведением лесочистки участков специального назначения (спецучастков) [9] в соответствии с требованиями технических условий [3] и СанПиН 3907-85. При этом под затопление будет оставлено около 10,3 млн. м³ древесины (9,1 млн. м³ сырораствующей древесно-кустарниковой растительности и 1,2 млн. м³ сухостоя и захламленности).

Имеющийся опыт проектирования лесосводки и лесочистки в ложах водохранилищ позволяет сделать вывод о том, что проведение работ по очистке зон затопления ГЭС, проектируемых в условиях Сибири, требует значительных материальных затрат, которые не могут быть компенсированы реализацией заготовленной при этом древесины (что еще раз наглядно доказывают приведенные технико-экономические показатели по БоГЭС). Отказ от проведения лесосводки позволит снизить объем выполняемых работ и затраты на их организацию.

Стоит отметить, что по материалам [10] проведение лесосводки в ложе водо-

охранилища БоГЭС не вызвано экологической необходимостью, так как отказ от нее и затопление товарных насаждений (составляющих всего 7 % от общего объема органических веществ) не окажут решающего влияния на качество воды в водохранилище. Основным источником засорения водохранилища являются не оставляемая под затопление древесина, а лесная подстилка, гумус и торф [4].

Библиографический список

1. Корпачев, В.П. Проблемы засорения водохранилищ ГЭС Сибири древесной массой: монография / В.П. Корпачев, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс. – Красноярск: СибГТУ, 2010. – 114 с.
2. СанПиН 3907– 85. Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ. Утв. заместителем Главного государственного врача СССР 01.07.1985 г.
3. Богучанская ГЭС на реке Ангаре: Технический проект. Т. III. Водохранилище и охрана окружающей среды. Кн. 1 Водохранилище. – М.: Гидропроект, 1976. – 219 с.
4. Разработка прогноза засорения и загрязнения водохранилища Богучанской ГЭС древесной массой и органическими веществами, комплекса предложений по очистке водохранилища от древесной массы: отчет о НИР, рук. В.П. Корпачев. – Красноярск, СибГТУ. – 2006. – 85 с.
5. Корпачев, В.П. Технологии и технические средства подготовки лож водохранилищ под затопление: учебное пособие для студентов вузов специальности 250401 всех форм обучения / В.П. Корпачев, А.И. Пережилин, А.А. Андрияс, И.В. Губин. – Красноярск: СибГТУ, 2009. – 136 с.
6. Инструкция по инвентаризации древесной и кустарниковой растительности в зонах затопления водохранилища. Утв. приказом Госкомитета СССР по лесному хозяйству № 14 от 04.02.1988 г.
7. Скудин, В.М. Особенности лесосводки зоны затопления Богучанской ГЭС / В.М. Скудин, К.И. Распопин, В.П. Корпачев // Лесная таксация и лесоустройство. – 2010. – № 1 (43). – С. 135–141.
8. МДС 81– 35.2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации. Утв. постановлением Госстроя России от 05.03.2004 г. № 15/1.
9. Протокол совещания у заместителя Председателя Правительства Российской Федерации Козака Д.Н. № ДК– П9– 141пр от 22.11.2010 г.
10. Прогноз качества воды в водохранилище и в нижнем бьефе Богучанской ГЭС. – Красноярск– Хабаровск: ИЛ СО РАН– ИВЭП ДВО РАН, 2009. – 187 с.

PROBLEMS OF DESIGNING OF FOREST CUTTING AND CLEARANCE
IN THE RESERVOIR FLOORS HPS OF SIBERIA

Korpachyov V.P. (Siberian state technological university), Perezhilin A.I. (Siberian state technological university), Andriyas A.A. (Siberian state technological university), Sladikova S.M. (Siberian state technological university)

ivr@sibgtu.ru, AlexPr_1982@mail.ru, andriyas@mail.ru
Siberian state technological university, Krasnoyarsk, Russia

In this article, the authors attempted to synthesize vast theoretical and practical capacity of the information accumulated over the years of research the problem. Source material served as a huge bank of data collected from field surveys have been built and created reservoirs, experience in designing and conducting work on preparation reservoir floors to flooding.

Key words: reservoir floor, forest cutting, forest clearance, problems

References

1. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A. *Problemy zasoreniya vodohranilishh GJeS Sibiri drevesnoj massoj: monografija* [Clogging problems hydroelectric reservoirs Siberia wood pulp : monograph]. Krasnoyarsk. SibGTU, 2010. 114 p.
2. SanPiN 3907– 85. *Sanitarnye pravila proektirovaniya, stroitel'stva i jekspluatacii vodohranilishh. Utv. zamestitelem Glavnogo gosudarstvennogo vracha SSSR 01.07.1985 g.* [SanPin 3907– 85 . Sanitary rules of design, construction and operation of reservoirs. Approved. Deputy Chief Medical Officer of the USSR 01.07.1985].
3. Boguchanskaja GJeS *na reke Angare: Tehnicheskij proekt. T. III. Vodohranilishhe i ohrana okruzhajushhej sredy. Kn. 1 Vodohranilishhe* [Boguchanskaya HPP on the Angara River : Technical project . T. III. Reservoir and the environment . Book. 1 Reservoir]. Moscow. Hydroproject, 1976. 219 p.
4. *Razrabotka prognoza zasoreniya i zagrijazneniya vodohranilishha Boguchanskoj GJeS drevesnoj massoj i organicheskim veshhestvami, kompleksa predlozhenij po ochistke vodohranilishha ot drevesnoj massy: otchet o NIR* [Development forecast contamination and pollution of the reservoir Boguchanskaya HPP wood pulp and organic substances, a set of proposals to clean the reservoir from wood pulp: research report, hands. VP Korpachev]. Krasnoyarsk, SibGTU. 2006. 85 p.
5. Korpachev V.P., Perezhilin A.I., Andriyas A.A., Gubin I.V. *Tehnologii i tehniczeskie sredstva podgotovki lozh vodohranilishh pod zatoplenie: uchebnoe posobie dlja studentov vuzov special'nosti 250401 vseh form obuchenija* [Technologies and means of preparation lies reservoirs under flooding: a textbook for students majoring 250401 all forms of training]. Krasnoyarsk, SibGTU, 2009. 136 p.
6. *Instrukcija po inventarizacii drevesnoj i kustarnikovoj rastitel'nosti v zonah zatopenija vodohranilishha. Utv. prikazom Goskomiteta SSSR po lesnomu hozjajstvu № 14 ot 04.02.1988 g.* [Instructions inventory of tree and shrub vegetation in the flooded areas of the reservoir. Approved . Order of the USSR State Committee on Forestry number 14 from 04.02.1988].
7. Skudin V.M., Raspopin K.I., Korpachev V.P. *Osobennosti lesosvodki zony zatopenija Boguchanskoj GJeS* [Features lesosvodki flood zone Boguchanskaya HPP]. *Lesnaja taksacija i lesoustrojstvo* [Forest inventory and forest management]. 2010. № 1 (43). pp. 135– 141.
8. *MDS 81– 35.2004. Metodika opredelenija stoimosti stroitel'noj produkcii na territorii Rossijskoj Federacii. Utv. postanovleniem Gosstroja Rossii ot 05.03.2004 g. № 15/1.* [MDS 81– 35.2004. Methods of determining the cost of construction products in the Russian Federation . Approved . Resolution of the Construction Committee of Russia from 05.03.2004, № 15/1.].
9. *Protokol soveshhanija u zamestitelja Predsedatelja Pravitel'stva Rossijskoj Federacii Kozaka D.N. № DK– P9– 141pr ot 22.11.2010 g.* [Minutes of the meeting with the Deputy Prime Minister Kozak DN Number DK– P9– 141pr from 22.11.2010].
10. *Prognoz kachestva vody v vodohranilishhe i v nizhnem b'efe Boguchanskoj GJeS* [Prediction of water quality in the reservoir and downstream Boguchanskaya HPP]. Krasnoyarsk– Khabarovsk: IL – IWEP SB RAS FEB RAS, 2009. 187 p.

ОЦЕНКА УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТА ПРИ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА РАССТОЯНИИ ОТ МЕСТА УДАРА

И.В. ГРИГОРЬЕВ, проф. каф. технологии лесозаготовительных пр-в СПбГЛТУ им. Кирова, д-р техн. наук,

В.А. МАКУЕВ, проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, д-р техн. наук,

А.Б. БЫЛЕВ, доц. каф. физики СПбГЛТУ им. Кирова, канд. физ.-мат. наук,

А.М. ХАХИНА, асп. каф. технологии лесозаготовительных пр-в СПбГЛТУ им. Кирова,

О.И. ГРИГОРЬЕВА, доц. каф. лесоводства СПбГЛТУ им. Кирова, канд. с.-х. наук,

С.Ю. КАЛИНИН, асс. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ

silver73@inbox.ru, makuev@mgul.ac.ru, unpplta@mail.ru,

hahin@mail.ru, grigoreva_o@list.ru, sergey281166@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Представлено краткое описание простой одномерной гипопластической модели, содержащей ключевые особенности теории гипопластичности, и ее обобщения на трехмерный случай. Рассмотрено распространение волн малой амплитуды в гипопластической среде. Получена оценка остаточного уплотнения грунта.

Ключевые слова: грунт, уплотнение почвогрунта, гипопластическая модель

Почвогрунт относится к средам, в которых при любых по интенсивности воздействиях при разгрузке возникают остаточные деформации. При ударных воздействиях на грунт такие остаточные деформации будут возникать и на некотором удалении от места удара в результате прохождения по грунту волн деформаций. Даже при слабых ударных воздействиях такие деформации, накапливаясь, могут вести к наблюдаемым изменениям. Так, в [1] обсуждалось влияние динамики движения лесных машин на уплотнение почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока.

Грунт представляет собой сложную многофазную дисперсную систему, макроскопическое поведение которой под действием нагрузок определяется протеканием многих параллельно идущих процессов различной механической природы. Для феноменологического описания напряженно-деформированного состояния и процессов в грунтах привлекают представления и методы механики сплошных сред, используя различные реологические модели для учета качественных и количественных характеристик деформационных процессов. Многообразие природных разновидностей грунтов и условий воздей-

ствия на них ведет к соответствующему многообразию форм макроскопического поведения среды.

Все известные модели грунтов можно подразделить на три группы:

1) деформационные линейно- и нелинейно-упругие модели;

2) упругопластические модели;

3) гипопластические модели, при этом остаточные деформации описываются упругопластическими и гипопластическими моделями.

В рамках упругопластических моделей изучение процессов распространения упругопластических деформаций было начато в [2, 3]. Для рассмотрения одномерных волн использовалась идея Адамара представления волн как поверхностей разрывов. Было получено, что скорости распространения пластических волн не превышают скорости распространения упругих волн. В работе [4] при помощи дополнительной гипотезы о максимальной диссипации энергии на разрыве была получена система уравнений сильного разрыва для упругопластической среды, также были найдены скорости распространения упругопластических ударных волн при условии пластичности Мизеса и Треска-Сен-

Венана. Вопросы плоского деформирования упругопластической среды под воздействием подвижных нагрузок рассматривались в [5].

Однако упругопластические тела на начальной стадии нагружения ведут себя упруго, что, вообще говоря, не так для почвогрунтов. Кроме того, появление пластических деформаций в упругопластических моделях задается дополнительно поверхностью текучести, направление пластических деформаций определяется потенциалом пластичности, а величина – из условий согласованности, что сильно усложняет математическую структуру моделей. Эти недостатки в известной мере преодолены в гипопластических моделях грунтов, появившихся в конце 70-х годов для описания гранулированных сред и значительно улучшенных впоследствии [6]. В них связь напряжение – деформация представляется нелинейным эволюционным уравнением таким, что различие между жесткостью грунта при сжатии и разгрузке автоматически учитывается с самого начала и при любых по интенсивности напряжениях. Коэффициенты этого определяющего уравнения в общем случае зависят от параметров напряженного состояния и пористости среды, а также от констант, характеризующих типы материалов.

Исследование процессов распространения волн в грунтах в рамках гипопластических моделей проводилось в [7–10]. Были получены нелинейные неоднородные волновые уравнения [7, 8], описывающие сдвиговые и продольные волны в сыпучих средах, и проанализированы их решения. На примере одномерных возмущений было показано [9], что распространение возмущения в грунте с учетом его нелинейных и неупругих свойств сопровождается формированием ударного фронта. В [10] для волн малой амплитуды при малых деформациях среды, генерируемых на границе занимающего полупространство грунта, было найдено также приближенное аналитическое решение, хорошо согласующееся с результатами численных расчетов. Однако в этих работах не рассматривались остаточные изменения грунта, вызванные прохождением волнового возмущения. Этот вопрос и является предметом настоящей статьи. На основе

приближенного решения, описанного в [10], получена оценка для остаточного уплотнения почвогрунта при распространении по нему одиночного плоского возмущения.

Определяющие уравнения описывают поведение материалов при деформациях и записываются в виде соотношений напряжение–деформация.

Простейшим определяющим уравнением является закон Гука

$$\sigma = \sigma(\varepsilon). \quad (1)$$

Согласно этому уравнению напряжение σ зависит только от относительной деформации ε и не зависит от пути нагружения и истории деформирования. Материалы и среды, которые могут быть описаны подобными соотношениями, называются упругими. Многочисленные наблюдения, проведенные в полевых и лабораторных условиях, показывают, что грунты не являются упругими и определяющие уравнения для них должны быть иными. Удовлетворительное описание деформационных свойств грунтов дает гипопластическое определяющее уравнение. Это трехмерное уравнение в частных производных эволюционного типа. Сначала на примере компрессионного теста поясним, каким образом нелинейные и неупругие свойства грунта отражаются в этом уравнении.

Поскольку при нагружении скорость деформации $\dot{\varepsilon} < 0$ отрицательна (точка над символом обозначает производную по времени), а при разгрузке $\dot{\varepsilon} > 0$ положительна, то неупругое поведение среды можно смоделировать, связывая уравнением скорость изменения напряжения со скоростью деформации. Простейшее определяющее уравнение, обобщающее (1) и отражающее неупругое поведение, можно записать тогда в виде

$$\dot{\sigma} = E_1 \dot{\varepsilon}, \quad \dot{\varepsilon} < 0 \text{ – нагружение;}$$

$$\dot{\sigma} = E_2 \dot{\varepsilon}, \quad \dot{\varepsilon} > 0 \text{ – разгрузка.}$$

Эти два соотношения переписываются в виде одного уравнения

$$\dot{\sigma} = \frac{E_1 + E_2}{2} \dot{\varepsilon} + \frac{E_1 - E_2}{2} |\dot{\varepsilon}|. \quad (2)$$

Неупругое поведение среды в гипопластических определяющих уравнениях моделируется введением модуля скорости деформации.

Описание нелинейного поведения среды при деформировании можно получить, полагая жесткость

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{\dot{\varepsilon}}$$

зависящей от приложенного напряжения. Уже простейшее допущение линейной зависимости жесткости от напряжения дает удовлетворительное согласие с результатами компрессионных тестов. В самом деле, уравнение (2) в этом случае принимает вид

$$\dot{\sigma} = C_1 \sigma \dot{\varepsilon} + C_2 \sigma |\dot{\varepsilon}|. \quad (3)$$

Если проинтегрировать это уравнение для фазы сжатия ($\dot{\varepsilon} < 0$), начиная с начального напряжения σ_0 , получим

$$\ln \sigma/\sigma_0 = (C_1 - C_2)(\varepsilon - \varepsilon_0).$$

Такая логарифмическая кривая напряжение – деформация грунта хорошо известна в механике грунтов.

Разгружая образец ($\dot{\varepsilon} > 0$), начиная с достигнутого на этапе сжатия напряжения σ_{\max} и ε_{\max} , интегрированием (3) находим

$$\ln \sigma/\sigma_{\max} = (C_1 - C_2)(\varepsilon - \varepsilon_{\max}).$$

Разгрузочная кривая следует другим логарифмическим путем, чем нагрузочная. Одновременно видим, что переход в определяющем уравнении к производным по времени от напряжения и деформации с учетом модуля скорости деформации вводит и зависимость связи напряжение – деформация от истории деформирования.

Таков в идейном плане подход, используемый в теории гипопластичности [6] для описания поведения грунтов. Обобщение на трехмерный случай производится непосредственно, при записи определяющего уравнения в терминах тензоров напряжений и скоростей деформаций. При построении моделей обычно используют производную тензора напряжений по времени, которая обращается в нуль при вращении материала как твердого тела относительно неподвижной системы координат. С учетом этого определяющее уравнение гипопластической среды в общем случае можно записать в виде [6]

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial t} = -(\sigma \omega)_{ij} + (\omega \sigma)_{ij} + L_{ijkl}(\sigma, D, e)D_{kl} + N_{ij}(\sigma, D, e) \|D\|, \quad (4)$$

где σ_{ij} – тензор напряжений,

$$\dot{\varepsilon}_{ij} \equiv D_{ij} = \frac{\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right)}{2}$$

– тензор скоростей деформаций и v_i – компонента вектора скорости частицы среды,

$$\omega_{ij} = \frac{\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right)}{2}$$

– тензор скоростей вращений,

$\|D\| = \sqrt{\text{tr}(DD)}$ – норма тензора скоростей деформаций и $\text{tr}(\dots)$ означает сумму диагональных элементов соответствующего тензора,

$e = (V - V_s)/V_s$ – пористость среды (V_s – объем твердой фазы, V – полный объем).

L и N – некоторые тензорные функции указанных аргументов, имеющие различные представления, в которые входят константы, характеризующие свойства материала.

Первые два слагаемых добавлены в (6), чтобы исключить из рассмотрения случай вращения материала как твердого тела относительно неподвижной системы отсчета. Слагаемое, содержащее $\|D\|$, является обобщением на трехмерный случай обсуждавшегося выше модуля $\dot{\varepsilon}$ в одномерном определяющем уравнении (3).

В [7–10] для исследования волн сжатия в грунтах выбрана следующая модель

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} = -\sigma \omega + \omega \sigma + f_1(\sigma)D + f_2(\sigma)\sigma \text{tr}(\sigma D) + N(\sigma) \|D\|. \quad (5)$$

Здесь

$$f_1(\sigma) = C_1 \text{tr}(\sigma), f_2(\sigma) = C_2 \text{tr}(\sigma),$$

$$N(\sigma) = (C_3 \sigma \sigma + C_4 \sigma^* \sigma^*)/\text{tr}(\sigma),$$

где $\sigma^* = \sigma - I \text{tr}(\sigma)/3$ – девиаторная часть тензора напряжений σ ,

I – единичный тензор,

C_1, \dots, C_4 – эмпирические константы, которые определяются из тестовых экспериментов в сочетании с решением определяющего уравнения.

Такая процедура называется калибровкой.

Исследуем характер эволюции возмущений, распространяющихся в грунтах.

Исходная система уравнений записывается в виде

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j}, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (6)$$

$$d\sigma_{ij}/dt = -(\sigma\omega)_{ij} + (\omega\sigma)_{ij} + f_1(\sigma)D_{ij} + f_2(\sigma)\sigma_{ij}tr(\sigma D) + N_{ij}(\sigma) \|D\|. \quad (7)$$

Уравнение (6) определяет изменение импульса среды. В нем ρ – плотность среды, v_i – скорость частиц среды, σ_{ij} – тензор напряжений, x_i – декартовы координаты, по повторяющимся индексам проводится суммирование. Уравнение (7) – определяющее уравнение.

Наличие нормы тензора скоростей деформаций в последнем слагаемом не позволяет линеаризовать систему уравнений (6) и (7) в окрестности значения $\|D\| = 0$, делая рассматриваемую гипопластическую модель среды нелинейной даже в малом.

Рассмотрим плоскую волну, распространяющуюся в положительном направлении оси X . В этом случае искомые компоненты скоростей и напряжений являются функциями только одной координаты x и времени t . В соответствии с постановкой задачи ограничимся случаем распространения малых деформаций, так что отклонения напряжений от начальных значений также малы ($\|\sigma - \sigma_0\| \ll \|\sigma_0\|$). Пусть оси X, Y, Z совпадают с главными осями тензора напряжений и начальное состояние среды является однородным и гидростатическим. Кроме того, ограничимся рассмотрением продольной волны. Поперечные волны являются упругими [8] и не ведут к появлению остаточной деформации среды. Вектор скорости тогда имеет только x -компоненту, которую обозначим v .

Для продольной компоненты скорости среды из (6, 7) следует уравнение

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - c_p^2 \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = b \frac{\partial}{\partial x} \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right|. \quad (8)$$

Коэффициент C_p в этом уравнении имеет размерность скорости и зависит от невозмущенного напряженного состояния

$$c_p^2 = \frac{1}{\rho} \left[c_{tr}(\sigma^0) + \frac{c_2(\sigma_{xx}^0)^2}{tr(\sigma^0)} \right].$$

Коэффициент b имеет размерность квадрата скорости и характеризует нелинейные и дилатантные свойства среды

$$b = \frac{1}{\rho tr(\sigma^0)} \left[c_3(\sigma_{xx}^0)^2 + \frac{c_4}{9}(2\sigma_{xx}^0 - \sigma_{yy}^0 - \sigma_{zz}^0) \right].$$

Решение уравнения (8) зависит от знака производной $\partial v/\partial x$. Если $\partial v/\partial x < 0$ всюду и $b < c_p^2$, то уравнение (8) сводится к линейному волновому уравнению

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - (c_p^2 - b) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0$$

и, как известно, его решения соответствуют переносу начального возмущения без изменения формы с постоянной скоростью $c_1 = \sqrt{c_p^2 - b}$. Если $\partial v/\partial x < 0$, то уравнение принимает вид

$$\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - (c_p^2 + b) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = 0$$

и его решения соответствуют переносу начального возмущения без изменения формы с постоянной скоростью $c_2 = \sqrt{c_p^2 + b}$. В нашем случае $b > 0$, поэтому $c_2 > c_1$ и профили, соответствующие положительным значениям градиента скорости $\partial v/\partial x$, распространяются быстрее, чем профили с отрицательным значением этого градиента. Возмущения, соответствующие нагружению грунта, распространяются медленнее возмущений, отвечающих разгрузке грунта.

В предположении малости параметра b уравнение (8) можно упростить. Это позволит оценить и остаточную деформацию, возникающую в среде после прохождения волны.

Факторизуем волновой оператор

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c_p^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} = \left(\frac{\partial}{\partial t} - c_p \frac{\partial}{\partial x} \right) \left(\frac{\partial}{\partial t} + c_p \frac{\partial}{\partial x} \right)$$

и выделим волну, распространяющуюся в положительном направлении оси X . Для любого волнового профиля, распространяющегося в сторону $x > 0$ со скоростью, приближенно равной c_p , производные по x и t связаны соотношением

$$\frac{\partial}{\partial t} \approx -c_p \frac{\partial}{\partial x}$$

и волновой оператор переписывается в виде

$$\frac{\partial^2}{\partial t^2} - c_p^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} = -2c_p \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial}{\partial t} + c_p \frac{\partial}{\partial x} \right),$$

что позволяет уравнение (8) записать как

$$-2c_p \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + c_p \frac{\partial v}{\partial x} \right) = b \frac{\partial}{\partial x} \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right| \frac{n!}{r!(n-r)!}.$$

Интегрирование этого уравнения по координате x дает уравнение первого поряд-

ка, приближенно описывающего распространение плоского возмущения в грунте

$$\frac{\partial v}{\partial t} + c_p \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{b}{2c_p} \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right| = 0. \quad (9)$$

Опишем характер решения уравнения (9) на примере возмущения, у которого профиль возмущения в начальный момент времени имеет колоколообразный вид

$$v(x, 0) = v_0 e^{-\frac{(x-x_0)^2}{l^2}}. \quad (10)$$

Такого вида возмущения возникают при плоских ударных воздействиях на грунт.

В начальный момент времени возмущение локализовано в окрестности точки x_0 . Производная $\partial v/\partial x$ для этого профиля меняет знак, поэтому с течением времени по мере распространения профиль возмущения будет меняться: участки с отрицательной производной движутся со скоростью $c_1 = c_p - b/2c_p$, а участки с положительной производной движутся со скоростью $c_2 = c_p + b/2c_p$. В результате их взаимодействия амплитуда возмущения по мере распространения уменьшается и импульс через некоторое время исчезает. На рисунке представлено численное решение уравнения (9) в условных безразмерных координатах.

Уравнение первого порядка (9) получено с помощью приближенной факторизации волнового уравнения (8). Сравнение результатов численного решения этих уравнений [8] показывает, что характер эволюции сигналов остается тот же, однако процесс эволюции, описываемый уравнением (8), более медленный, чем моделируемый уравнением (9).

Исходя из описанной выше и подтвержденной расчетами картины распространения сигнала в среде, можно оценить время и дальность распространения импульса. Если считать, что начальное возмущение сосредоточено в области $(x_0 - l, x_0 + l)$, то импульс исчезает, когда левая граница импульса догонит правую, т.е. при выполнении условия

$$x_0 - l + c_2 t = x_0 + l + c_1 t.$$

Откуда находим время распространения импульса и дальность распространения $T = 2l/(c_2 - c_1) = 2lc_p/b$, $L = c_p T = 2lc_p^2/b$. Спустя время T импульс перемещается на расстоянии L от места первоначальной локализации и амплитуда сигнала становится меньше пер-

воначальной в e раз.

Пусть в момент времени \bar{t} через точку \bar{x} проходит максимум сигнала, тогда в этой точке совпадают значения сигнала, определяемые по ветви с отрицательной производной $\partial v/\partial x$, распространяющейся со скоростью c_1 , и значения сигнала, определяемые по ветви с положительной производной $\partial v/\partial x$, распространяющейся со скоростью c_2 . Согласно (10) это означает, что

$$\bar{x} - (x_0 + c_1 \bar{t}) = -\bar{x} + (x_0 + c_2 \bar{t})$$

Откуда

$$\bar{x} - x_0 = \frac{c_2 + c_1}{2} \bar{t} = c_p \bar{t}$$

т.е. максимум движется со скоростью c_p . Подставляя это значение в (10), находим максимальное значение импульса, проходящее через точку \bar{x}

$$\begin{aligned} \bar{x} - (x_0 + c_1 \bar{t}) &= (\bar{x} - x_0) \left(1 - \frac{c_1}{c_p}\right) = \\ &= \frac{b}{2c_p^2} (\bar{x} - x_0) = \frac{l}{L} (\bar{x} - x_0) \\ \text{и } v(\bar{x}, \bar{t}) &= e^{-\frac{(\bar{x}-x_0)^2}{l^2}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Теперь оценим остаточную деформацию среды δ в точке \bar{x} после прохождения импульса с помощью следующей цепочки преобразований

$$\begin{aligned} \delta &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{\partial u(x, t)}{\partial x} = \int_0^{\infty} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right) dt = \\ &= \int_0^{\infty} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) dt = \int_0^{\infty} \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} dt \end{aligned} \quad (12)$$

Если до момента времени \bar{t} через точку \bar{x} проходят участки с отрицательной производной $\partial v/\partial x$, то согласно (9)

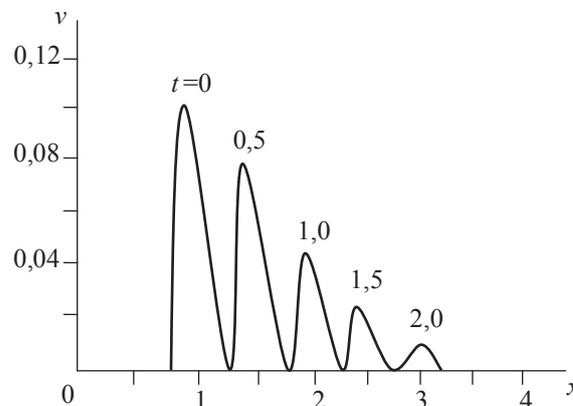


Рисунок. Численное решение уравнения (9) $v(x, t)$ в условных безразмерных координатах

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{c_1} \frac{\partial v}{\partial t}$$

После момента времени \bar{x} через точку \bar{x} проходят участки с положительной производной и

$$\frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{c_2} \frac{\partial v}{\partial t}$$

Подставляя эти выражения в (12), находим

$$\delta = \int_0^t \left(-\frac{1}{c_1} \frac{\partial v}{\partial t} \right) dt + \int_t^\infty \left(-\frac{1}{c_2} \frac{\partial v}{\partial t} \right) dt = -\frac{1}{c_1} v(\bar{x}, \bar{t}) + \frac{1}{c_2} v(\bar{x}, \bar{t}) = \left(\frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_1} \right) v(\bar{x}, \bar{t})$$

Как видим, остаточная относительная деформация отрицательна, что соответствует остаточному сжатию среды.

Таким образом, остаточную относительную деформацию на расстоянии r от места удара по направлению распространения сигнала можно оценить с учетом (11) величиной

$$|\delta| = \left(\frac{1}{c_2} - \frac{1}{c_1} \right) v_0 e^{-\frac{r^2}{l^2}} \approx \frac{b}{c_p^3} v_0 e^{-\frac{r^2}{l^2}}. \quad (13)$$

Оценка остаточной деформации получена на основе приближенного описания процесса распространения плоского продольного возмущения в почвогрунте. Процесс, описываемый точным уравнением (8), развивается медленнее. В силу этого оценка (13) является завышенной. Однако, как отмечалось в [9], в процессе распространения возмущения в силу нелинейных свойств грунта происходит формирование ударного фронта. Этот момент не учитывался приближенным решением и

может привести к усилению остаточной деформации. Влияние указанных обстоятельств на остаточную деформацию почвогрунта требует дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Григорьев, И.В. Математическая модель уплотняющего воздействия динамики поворота лесозаготовительной машины на боковые полосы трелевочного волокна / И.В. Григорьев, А.Б. Былев, А.М. Хахина, А.И. Никифорова // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия Естественные и технические науки. – № 8. – 2012. – С. 72–78.
2. Рахматулин, Х.А. О распространении волны разгрузки / Х.А. Рахматулин // ПММ, ISSN 0032–8235. – 1945. – № 1. – С. 91–100.
3. Томас, Т. Пластическое течение и разрушение в твердых телах / Т. Томас. – М.: Мир, 1964. – 308 с.
4. Быковцев, Г.И. О распространении ударных волн в упругопластических средах / Г.И. Быковцев, Л.Д. Кретьова // ПММ, ISSN 0032–8235. – 1972. – Вып. 1. – С. 106–116.
5. Быковцев, Г.И. Автомодельные решения уравнений динамики идеального упругопластического тела при условии пластичности треска // Г.И. Быковцев, А.В. Колокольчиков, П.Н. Сыгуров // ПМТФ. ISSN: 0869–5032, 1984. – № 6. – С. 148–156.
6. Kolymbas D. Introduction to hypoplasticity. Rotterdam. Balkema, 2000.
7. Berezin Yu. A., Osipov V.A., Hutter K. Evolution of plane disturbances in hypoplastic granular materials. Continuum Mech. Termodyn, V. 13, 2001. pp. 25–40.
8. Березин, Ю.А. Распространение акустических сигналов в грунтах / Ю.А. Березин, Л.А. Спандарева // ПТМФ. ISSN: 0869–5032, 2001. – № 4. – С. 177–183.
9. Fellin W. Numerical computation of linear inelastic waves in soil. Pure and Applied Geophysics, 2002.
10. Березин Ю.А. Продольные волны в сыпучих средах / Ю.А. Березин, Л.А. Спандарева // ПТМФ. ISSN: 0869–5032, 2001. – № 2. – С. 148–152.

THE ESTIMATION OF CONDENSATION OF GROUND AT SHOCK INFLUENCES ON DISTANCE FROM A PLACE OF IMPACT

Grigorev I.V. (St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU)), Makuev V.A. (MSFU), Bylev A.B. (St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU)), Hahina A.M. (St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU)), Grigoreva O.I. (St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU)), Kalinin S.Yu. (MSFU)

silver73@inbox.ru, makuev@mgul.ac.ru, unpplta@mail.ru, hahin@mail.ru, grigoreva_o@list.ru, sergey281166@yandex.ru
St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU), 194021, Saint– Petersburg, Institutskiy per 5
Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya street, 1, 141005, Mytischki, Moscow region, Russia

The short description of the simple one– dimensional hypoplastic model containing key features of the theory of hypoplasticity, and its generalization on a three– dimensional case is submitted. Distribution of waves of small amplitude in the hypoplastic environment is considered. The assessment of residual consolidation of soil is received.

Keywords: soil, soil consolidation, hypoplastic model.

References

1. Grigor'ev I.V., Bylev A.B., Hahina A.M., Nikiforova A.I. *Matematicheskaja model' uplotnjajushhego vozdejstviya dinamiki povorota lesozagotovitel'noj mashiny na bokovye polosy trelevochnogo voloka* [A mathematical model of the dynamics of the impact of the sealing machine to turn logging skid trails sidebands]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Estestvennye i tehnicheckie nauki. № 8. 2012. pp. 72-78.
2. Rahmatulin H.A. *O rasprostranenii volny razgruzki* [On the propagation of waves unloading]. PMM, ISSN 0032-8235.1945. № 1. pp. 91-100.
3. Tomas T. *Plasticheskoe techenie i razrushenie v tverdyh telah* [Plastic flow and fracture in solids]. Moscow. Mir, 1964. 308 p.
4. Bykovcev G.I., Kretova L.D. *O rasprostranenii udarnyh voln v uprugoplasticheskikh sredah* [On the propagation of shock waves in elastic-plastic media]. PPM, ISSN 0032-8235. 1972. V. 1. pp. 106-116.
5. Bykovcev G.I., Kolokol'chikov A.V., Sygurov P.N. *Avtomodel'nye reshenija uravnenij dinamiki ideal'nogo uprugoplasticheskogo tela pri uslovii plastichnosti treska* [Similar solutions of equations of the dynamics of an ideal elastoplastic body subject Tresca]. PMTF. ISSN: 0869-5032, 1984. № 6. pp. 148-156.
6. Kolymbas D. *Introduction to hypoplasticity*. Rotterdam. Balkema, 2000.
7. Berezin Yu. A., Osipov V.A., Hutter K. *Evolution of plane disturbances in hypoplastic granular materials. Continuum Mech. Termodyn*, V. 13, 2001. pp. 25-40.
8. Berezin Ju.A., Spondareva L.A. *Rasprostranenie akusticheskikh signalov v gruntah* [Propagation of acoustic signals in the soil]. PTMF. ISSN: 0869-5032, 2001. № 4. pp. 177-183.
9. Fellin W. *Numerical computation of linear inelastic waves in soil. Pure and Applied Geophysics*, 2002.
10. Berezin Ju.A., Spondareva L.A. *Prodol'nye volny v syupuchih sredah* [Longitudinal waves in granular media]. PTMF. ISSN: 0869-5032, 2001. № 2. pp. 148-152.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЮ КОЛЕСНЫХ ЛЕСНЫХ МАШИН

И.В. ГРИГОРЬЕВ, проф. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ, д-р техн. наук,

В.А. МАКУЕВ, проф. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, д-р техн. наук,

А.И. НИКИФОРОВА, доц. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ, канд. техн. наук,

Е.Г. ХИТРОВ, асп. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ,

В.В. УСТИНОВ, асп. каф. технологии лесозаготовительных производств СПбГЛТУ,

С.Ю. КАЛИНИН, ассистент каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ

silver73@inbox.ru, ipsop@mgul.ac.ru, tlzp@inbox.ru, yegorkhitrov@mail.ru, sergey28111966@yandex.ru
ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»
194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1

Рассмотрен упрощенный подход к расчету коэффициента сопротивления передвижению колесных машин в условиях бездорожья применительно к определению коэффициента сопротивления движению колесных лесных машин. На основании решения общего уравнения получены линейные регрессионные зависимости для коэффициента сопротивления движению, которые учитывают влияние числа осей трелевочной системы, ее массы, удельного давления на грунт и транспортной скорости. В частных случаях проверка показала, что результаты расчетов по полученным зависимостям согласуются с классическими данными. Зависимости получены для четырех сезонов (зима, весна, лето, осень) и четырех состояний поверхности (плотно укатанный грунт, неукатанный грунт, мягкий грунт и рыхлый грунт), итого рассмотрено шестнадцать случаев. При расчетах в качестве исходных данных, относящихся к физико-механическим характеристикам поверхности движения, приняты справочные величины, представленные в специальной литературе по проходимости колесных транспортных средств. Предложен подход к определению транспортной скорости колесных лесных машин с применением новых регрессионных зависимостей. Получено уравнение для определения скорости передвижения колесной лесной машины с учетом ее массы, удельного давления на грунт, числа осей. Освещены перспективы дальнейших исследований в направлении изучения взаимодействия трелевочных систем с грунтами.

Ключевые слова: колесные лесные машины, коэффициент сопротивления движению, транспортная скорость.

В настоящее время перед лесным сектором экономики РФ остро стоит ряд проблем. Одной из них, является повышение эффективности лесопользования, увеличение объемов заготовки древесины на всех видах рубок леса, при обязательном соблюдении критериев устойчивого лесопользования. Для увеличения объема заготовки древесины необходимо создание и внедрение новых специальных лесных машин, которые обладали бы приемлемым уровнем стоимости, имели высокую производительность и были совместимы с лесной средой по экологическим показателям. Колесные тракторы являются перспективной базой для лесных машин, поскольку, по сравнению с гусеничными, имеют большую производительность за счет более высоких транспортных скоростей [1].

Среди всех лесных машин транспортная скорость наиболее важна для трелевочных тракторов, которые вместе с трелеваемой пачкой образуют трелевочные системы [2].

Расчет производительности трелевочных систем принято вести следующим образом: вначале определяют допустимую грузоподъемность трелевочной системы с учетом конструктивных параметров (объем кузова форвардера, допустимая нагрузка на коник трактора и т.д.). Затем, исходя из того, что грузоподъемность используется максимально, рассчитывают скорость движения нагруженной трелевочной системы, принимая во внимание ее тяговые возможности, при этом пользуются коэффициентом сопротивления движению трелевочной системы, этот параметр является одним из основных при определении силы сопротивления движению трелевочной системы. Расчет заканчивается проверкой проходимости по условию обеспечения необходимого сцепления с грунтом [3].

В [4] приводятся ориентировочные значения коэффициентов сопротивления движению колесных трелевочных систем (например, летом от 0,1 до 0,25), однако без указания, какое конкретно значение принимать в зависимости от числа осей колесной лесной машины, давления на грунт, массы и т.д. Недостаток этих сведений, на наш взгляд, следует восполнить. Очевидно, что эта задача

сложная и для ее решения потребуется значительный объем исследований, в настоящей статье рассмотрим возможность использования упрощенного подхода, предложенного в общей теории движения вездеходных транспортных средств [5].

Целью настоящей работы является получение и исследование зависимостей, учитывающих влияние числа осей колесной лесной машины, массы машины, ее транспортной скорости и давления на грунт, на коэффициент сопротивления движению.

В специальной литературе [5] приводятся формулы для определения коэффициента сопротивления грунта движению колесных машин, полученные на основании анализа возникающих сил в контакте эластичного колеса с деформируемым основанием, например, следующего вида

$$\varphi_T = \frac{H \xi_z q^2}{\sqrt{2vNqG} \cdot \left(1 + \frac{v_T k}{2\varphi_0} \sqrt{\frac{2qN}{Gv}}\right)^2} \times \left[\frac{q}{1 + \frac{v_T k}{2\varphi_0} \sqrt{\frac{2qN}{Gv}}} + \sqrt{E \cdot \left(X_2 + X_1 \sqrt{\frac{G}{2vNq}}\right)} \right], \quad (1)$$

где H – толщина деформируемого слоя грунта;

q – среднее по пятну контакта давление на грунт со стороны движителя машины;

N – число осей машины;

G – вес машины;

v_T – скорость движения машины;

φ_0 – угол внутреннего трения грунта;

E – модуль деформации грунта; $k = 1 \text{ сек}^0$.

Формула используется для расчетов при движении транспортного средства по мягким (деформируемым) грунтам на прочном основании (которое считается недеформируемым).

Остальные величины, входящие в уравнение (1), находятся по формулам [5]

$$\xi_z = \frac{H-h}{2H-h}; X_1 = \frac{\gamma \cdot (1-III^4)}{2III^5}; X_2 = 2C_0 \frac{III^2+1}{III^3}; III = \text{tg} \left(45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right). \quad (2)$$

Параметры грунтов по [5] для расчетов коэффициента сопротивления грунта движению колесных лесных машин

Усл. обозначение	Тип грунта	Показатели				
		γ , кН/м ³	E , МПа	H , м	C_0 , кПа	φ_0 , °
	Плотный укатанный:					
ПВ	весна	14	8	0,32	30	11
ПЛ	лето	15,5	15	0,6	45	12,5
ПО	осень	14,5	12	0,29	40	12
ПЗ	зима	18	60	–	35	11,5
	Неукатанный:					
НВ	весна	13,5	6	0,31	25	11
НЛ	лето	15,5	15	0,6	45	12,5
НО	осень	14,5	12	0,32	40	12
НЗ	зима	12,5	60	–	30	11
	Мягкий:					
МВ	весна	12	2	0,26	10	7,5
МЛ	лето	13,5	8	0,55	60	14,5
МО	осень	13	5	0,3	25	10
МЗ	зима	12	80	–	15	9
	Рыхлый:					
РВ	весна	11	0,5	0,35	8	7
РЛ	лето	12	2	0,4	65	14
РО	осень	11,5	1	0,36	25	11
РЗ	зима	11,2	–	–	–	7,5

При определении параметра v , входящего в уравнения (1), который представляет собой отношение средней длины линии контакта колеса с грунтом к средней ширине площадки контакта, используем следующие допущения: радиус колеса при качении по грунту приближенно равен радиусу колеса в недеформированном состоянии R_0 , при этом длина линии контакта приближенно равна длине отрезка L на схеме по рис. 1. Тогда

$$L_K \approx \sqrt{h^2 + L^2} = \sqrt{R_0^2 - (R_0 - h)^2 + h^2} = \sqrt{2R_0h}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения параметра v , получим формулу

$$v = \frac{\sqrt{2R_0h}}{b}. \quad (4)$$

Величина h определяется по формуле [5]

$$h = (H - q)Eq. \quad (5)$$

Для дальнейших расчетов зададимся исходными данными, сведенными в таблицу.

Результаты расчетов. Расчеты произведены по формуле (1) с использованием

выражений (2, 4, 5), в следующем диапазоне: масса машины $G_T = 20...40$ т, $q = 50...150$ кН, $N = 2...4$, $v_T = 5...15$ км/ч. Также принято: $R_0 = 0,6$ м, $b = 0,5$ м.

Следующие уравнения получены после обработки результатов расчетов при помощи метода наименьших квадратов

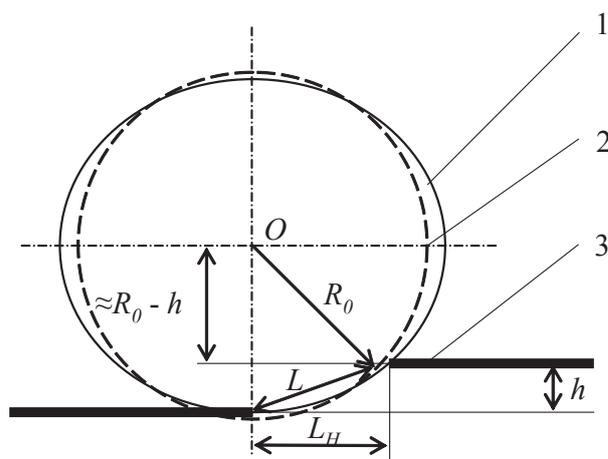


Рис. 1. Схема к определению параметра v : 1 – контур колеса при движении машины; 2 – контур колеса в недеформированном состоянии; 3 – поверхность движения машины

ПВ:	$10^4 \mu_T = 1410 - 7,6G_T - 154N + 1,74q - 23,3v_T$	$R^2 = 0,94$	(6)
ПЛ:	$10^4 \mu_T = 2470 - 14G_T - 279N + 3,99q - 40,8v_T$	$R^2 = 0,93$	(7)
ПО:	$10^4 \mu_T = 2570 - 9,77G_T - 306N + 3,85q - 58,2v_T$	$R^2 = 0,93$	(8)
ПЗ:	$10^4 \mu_T = 2620 - 9,4G_T - 316N + 3,66q - 57,6v_T$	$R^2 = 0,92$	(9)
НВ:	$10^4 \mu_T = 1330 - 7,39G_T - 143N + 1,55q - 20,7v_T$	$R^2 = 0,94$	(10)
НЛ:	$10^4 \mu_T = 2470 - 14G_T - 279N + 3,99q - 40,8v_T$	$R^2 = 0,93$	(11)
НО:	$10^4 \mu_T = 1470 - 7,83G_T - 165N + 2,11q - 25,7v_T$	$R^2 = 0,93$	(12)
НЗ:	$10^4 \mu_T = 1370 - 0,414G_T - 172N + 1,62q - 49,5v_T$	$R^2 = 0,92$	(13)
МВ:	$10^4 \mu_T = 1040 - 0,68G_T - 137N + 0,0772q - 15,8v_T$	$R^2 = 0,69$	(14)
МЛ:	$10^4 \mu_T = 2080 - 13,5G_T - 231N + 3,55q - 28,6v_T$	$R^2 = 0,94$	(15)
МО:	$10^4 \mu_T = 1330 - 7,39G_T - 143N + 1,5q - 21v_T$	$R^2 = 0,94$	(16)
МЗ:	$10^4 \mu_T = 2140 - 13,6G_T - 234N + 6,53q - 58,5v_T$	$R^2 = 0,82$	(17)
РВ:	$10^4 \mu_T = 846 - 5G_T - 85,5N + 0,584q - 10,9v_T$	$R^2 = 0,94$	(18)
РЛ:	$10^4 \mu_T = 1290 - 8,95G_T - 136N + 1,81q - 14,1v_T$	$R^2 = 0,94$	(19)
РО:	$10^4 \mu_T = 1050 - 6,97G_T - 108N + 1,1q - 11,6v_T$	$R^2 = 0,95$	(20)
РЗ:	$10^4 \mu_T = 2130 - 9,12G_T - 235N + 2,2q - 43,2v_T$	$R^2 = 0,93$	(21)

($20 \leq G_T \leq 40$, т; $2 \leq N \leq 4$; $50 \leq q \leq 150$, кПа; $5 \leq v_T \leq 15$ км/ч)

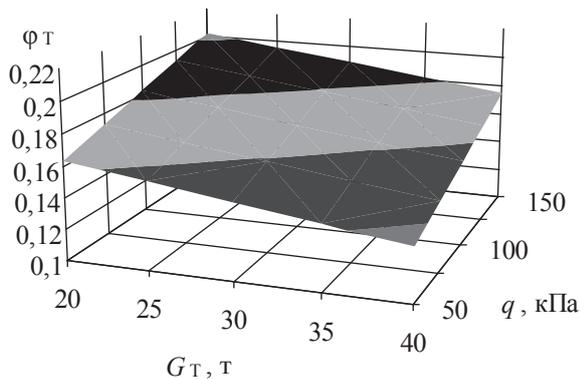


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления движению двухосной колесной лесной машины при скорости движения 5 км/ч (неукатанный грунт, лето) в зависимости от ее массы и давления на грунт со стороны движителя

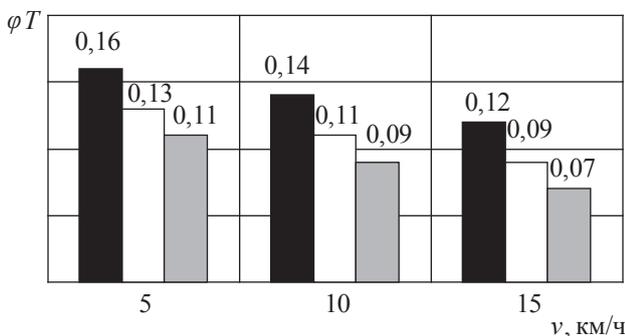


Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления движению (неукатанный грунт, лето) в зависимости от числа осей и скорости колесной лесной машины ($G_T = 40$ т, $q = 120$ кПа)

Анализ уравнений (6–21) показывает, что во всех случаях коэффициент сопротивления движению колесной лесной машины увеличивается при уменьшении числа осей и скорости движения, при этом увеличение давления на грунт со стороны движителя вызывает увеличение коэффициента сопротивления движению.

На рис. 2 представлен пример расчета коэффициента сопротивления движению двухосного колесного трактора при рабочей скорости движения 5 км/ч, график получен при помощи уравнения (11).

Сопоставление результатов расчетов (рис. 2) с данными [4] в частном случае показывает, что результаты принципиально не противоречат представленным в литературе ([4] рекомендует принимать ϕ_T в диапазоне от 0,1 до 0,25 летом на неукатанном грунте).

Более наглядно проследить влияние скорости движения колесной лесной машины и числа осей на коэффициент сопротивления движению можно при помощи графика на рисунке 3.

График показывает, что число осей и скорость движения оказывают заметное влияние на коэффициент сопротивления движению колесной лесной машины. С понижением скорости и уменьшением числа осей коэффициент сопротивления движению

увеличивается, что необходимо учитывать в практических расчетах. Ввиду этого рассмотрим вопрос определения скорости движения колесной лесной машины с использованием предложенных формул. Известно, что тяговое усилие, необходимое для перемещения машины, находится из формулы

$$F = P_3/v_r \quad (22)$$

где P – мощность двигателя;

η – КПД трансмиссии.

Поскольку при прямолинейном движении

$$F = G\phi_T \quad (22)$$

с учетом общего вида уравнений (6–21), можем записать для скорости

$$v_T = \frac{P\eta}{G \cdot \left(a_0 + a_1 G_T + a_2 N + a_3 q + \frac{1000}{3600} a_4 v_T \right)}, \quad (23)$$

в котором значения коэффициентов a_0 – a_4 берутся из формул (6–21) в соответствии с рассматриваемым типом поверхности движения, коэффициент $1000/3600$ при слагаемом с v_T в правой части необходим ввиду того, что уравнения (6–21) составлены для скорости, выраженной в км/ч.

Уравнение (23) приводится к квадратному относительно v_T с учетом того, что $G = 10^4 G_T$, после его решения получим для скорости (км/ч) следующую формулу

$$v_T = \frac{1,8 \cdot (\sqrt{4Y_1 P \eta + Y_2^2} - Y_2)}{Y_1}, \quad Y_1 = \frac{0,28 a_4 G_T}{1000},$$

$$Y_2 = \frac{a_0 G_T + a_1 G_T^2 + a_2 G_T N + a_3 q G_T}{1000}, \quad (24)$$

где мощность P подставляется в кВт.

Определение скорости колесного сортиментоподборщика (форвардера) по уравнению (24) не вызывает затруднений. Например, при $G_T = 40$ т, $q = 120$ кПа, $P = 200$ кВт, $\eta = 0,85$, при трелевке летом по неукатанному грунту (формула (11), $a_0 = 2470$, $a_1 = -14$, $a_2 = -279$, $a_3 = 3,99$, $a_4 = -40,8$), четырехосная трелевочная система будет двигаться со скоростью 12,4 км/ч, двухосная – 8,5 км/ч. При тех же условиях зимой (формула (13), $a_0 = 1370$, $a_1 = -0,414$, $a_2 = -172$, $a_3 = 200$, $a_4 = -49,5$) четырехосная трелевочная система будет перемещаться со скоростью 19,5 км/ч, двухосная – 13,3 км/ч.

Предложенные зависимости для определения коэффициента сопротивления движению в виде уравнений (6–21), безусловно, нуждаются в дальнейшей проверке и уточнении, однако, на наш взгляд, с их использованием можно получить наглядное представление о влиянии сезона заготовки и основных параметров колесных лесных машин на их транспортную скорость.

Считаем перспективными дальнейшие исследования, в частности, по уточнению формулы (1), по анализу влияния числа проходов и давления в шине на коэффициент сопротивления движению и транспортную скорость колесных лесных машин.

Также кажутся необходимыми аналогичные исследования для лесных машин с гусеничными и комбинированными движителями.

Отдельным перспективным направлением исследований считаем изучение влияния коэффициента сопротивления движению волочащейся части пачки. Уточнение этого коэффициента позволит скорректировать результаты расчетов скорости движения трелевочных систем полупогруженной и полуподвесной трелевки.

Библиографический список

1. Григорьев, И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования / И.В. Григорьев. – СПб.: ЛТА, 2006. – 236 с.
2. Макуев, В.А. Новые экономические подходы к функционированию и функционированию парка лесосечных машин / В.А. Макуев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. – № 2. – С. 123–124.
3. Клубничкин, Е.Е. Определение нагруженности ходовой системы многооперационной лесосечной машины / Е.Е. Клубничкин, В.А. Макуев, В.Е. Клубничкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. – № 3(95). – С. 175–177.
4. Григорьев, И.В. Средообразующие технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации / И.В. Григорьев, А.И. Жукова, О.И. Григорьева, А.В. Иванов. – СПб.: ЛТА, 2008. – 176 с.
5. Григорьев, И.В. Расчет показателей процесса уплотнения почвогрунта при трелевке пачки хлыстов / И.В. Григорьев, В.А. Макуев, В.Я. Шапиро, М.Е. Рудов, А.И. Никифорова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. – № 2(94). С. 112–118.
6. Григорьев, И.В. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах, прилегающих к

- трелевочному волоку / И.В. Григорьев, В.Я. Шапиро, С.Е. Рудов, А.И. Жукова // Вестник КрасГАУ, 2010. – № 2. – С. 8–14.
7. Никифорова, А.И. Определение осадки при движении лесозаготовительной машины по двуслойному основанию / А.И. Никифорова, Е.Г. Хитров, А.А. Пельмский, О.И. Григорьева // Ученые записки ПетрГУ, 2013. – № 8. – С. 77–80.
 8. Агейкин, Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители: теория и расчет / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
 9. Григорьев, И.В. Экспериментальное определение времени релаксации напряжений лесного грунта / И.В. Григорьев, А.И. Никифорова, Е.Г. Хитров, А.А. Пельмский, А.М. Хахина // Ученые записки ПетрГУ, 2014. – № 2. – С. 87–91.
 10. Григорьев, И.В. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования / И.В. Григорьев, О.И. Григорьева, А.И. Никифорова, О.А. Куницкая // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2012. – № 6. – С. 72–77.

RESEARCH OF FACTOR OF RESISTANCE TO MOVEMENT OF WHEEL WOOD MACHINES

Grigor'ev I.V. (Saint Petersburg State Forest Technical University), Makuev V.A. (MFSU), Nikiforova A.I. (Saint Petersburg State Forest Technical University), Hitrov E.G. (Saint Petersburg State Forest Technical University), Ustinov V.V. (Saint Petersburg State Forest Technical University), Kalinin S.Ju. (MFSU)

silver73@inbox.ru, ipsop@mgul.ac.ru, tlzp@inbox.ru, yegorkhitrov@mail.ru, sergey28111966@yandex.ru
 St. Petersburg State University of Forestry under Kirov (SPbSFTU), 194021, Saint-Petersburg, Institutskiy per 5
 Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya street, 1,141005, Mytischki, Moscow region, Russia

The article presents a simplified approach to the calculation of the coefficient of wheeled vehicles in off-road conditions rolling resistance with regard to the calculation of the coefficient of wheeled skidding systems rolling resistance. Given are linear regressions, based on solution of the general equation, according to the coefficient of rolling resistance, which take into account the effect of the number of axes skidding system, its mass, ground pressure and the transport speed. In particular cases, the comparing showed that the calculated results with obtained dependences are consistent with the classical data. Curves were obtained for the four seasons (winter, spring, summer, autumn) and four surface conditions (hard-packed soil, regular ground, soft ground and very soft ground), totally sixteen cases were examined. In the calculations as the raw data relating to the physical and mechanical characteristics of the surface motion, adopted reference values presented in the literature on cross- wheeled vehicles. Also presented an approach to the definition of the transport speed skidding system with new regression. Presented is the equation for determining the speed of movement of the wheel skidding system with its mass, specific ground pressure, the number of axes. Highlighted prospects for further research in the direction of studying the interaction of logging systems with soils.

Keywords: wheeled skidding systems, coefficient of rolling resistance, transport speed

References

1. Grigor'ev I.V. *Snizhenie otricatel'nogo vozdejstviya na pochvu kolesnyh trelevoch-nyh traktorov obosnovaniem rezhimov ih dvizheniya i tehnologicheskogo oborudovaniya* [Mitigation of negative impacts on the soil caused by wheeled skidders by selecting modes of motion and process equipment]. SPb., LTA Publ., 2006. 236 p.
2. Makuev V.A. *Novye jekonomicheskie podhody k formirovaniyu i funkcionirovaniyu parka lesechnykh mashin* [New economical approaches to forming and using park of forest - cutting machines]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 2, 2010. pp 123-124.
3. Klubnichkin E.E., Makuev V.A., Klubnichkin V.E. *Opreделение nagruzhennosti hodovoj sistemy mnogooperacionnoj lesechnoj mashiny* [Determination of dynamic loads encountered in running track multistage system logging machine]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 3(95), 2014. pp 175-177.
4. Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshhadjashhie tehnologii razrabotki lesechek v uslovijah Severo-Zapadnogo regiona Rossijskoj Federacii* [Eco efficient technologies of wood harvesting in the North-West region of the Russian Federation]. SPb., LTA Publ., 2008. 176 p.
5. Grigor'ev I.V., Makuev V.A., Shapiro V.Ja., Rudov M.E., Nikiforova A.I. *Raschet poka-zatelej processa uplotneniya pochvogrunta pri trelevke pachki hlystov* [Model of volumetric condensation of ground by a dragged part of a pack skidding systems]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 2(94), 2014. pp 112-118.
6. Grigor'ev I.V., Shapiro V.Ja., Rudov S.E., Zhukova A.I. *Model' processa cikliche-skogo uplotnenijangrunta v polosah, prilegajushhij k trelevochnomu voloku* [The process of cyclic compaction in the bands adjacent to skid trails model]. VestnikKrasGAU. № 2. Krasnoyarsk, 2010. pp. 8-14.
7. Nikiforova A.I., Hitrov E.G., Pelymskij A.A., Grigor'eva O.I. *Opreделение osadki pri dvizhenii lesozagotovitel'noj mashiny po dvuslojnomu osnovaniyu* [Two-layer ground draught definition under logging machine passage]. UchenyeZpiskiPetrGU, № 8, 2013. pp. 77-80.

8. Agejkin Ja.S. *Vezdehodnye kolesnye i kombinirovannye dvizhiteli: teorija i raschet* [Off-the-road wheeled and combined traction devices: Theory and Calculation]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 184 p.
9. Grigor'ev I.V., Nikiforova A.I., Hitrov E.G., Pelymskij A.A., Nahina A.M. *Jekspe-rimental'noe opredelenie vremeni relaksacii naprjazhenij lesnogo grunta* [Experimental assessment of stress relaxation time for forest soils]. *Uchenye Zpiski PetrGU*, № 2, 2014. pp. 87-91.
10. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunickaja O.A. *Obosnovanie metodiki ocenki jekologicheskoj jeffektivnosti lesopol'zovanija* [Substantiation of the technique for the forest management ecological efficiency estimation]. *Vestnik KrasGAU*, № 6, 2012. pp 72-77.

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО РАССТОЯНИЯ ТРЕЛЕВКИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРЕХЛИНЕЙНОЙ АЭРОСТАТНО-КАНАТНОЙ СИСТЕМЫ

А.В. АБУЗОВ, доц. каф. технологии заготовки и переработки древесных материалов Тихоокеанского ГУ, канд. техн. наук,

П.Б. РЯБУХИН, проф. каф. технологии заготовки и переработки древесных материалов Тихоокеанского ГУ, д-р техн. наук

ac-systems@mail.ru, tolp@mail.khb.ru

Тихоокеанский государственный университет, факультет природопользования и экологии
680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, ауд. 201Л

В статье рассматривается вопрос разработки труднодоступных лесных массивов с использованием аэростатно-канатной транспортной системы (АКС). Приводится методика расчета среднего расстояния трелевки и производительности для трехлинейной АКС на лесных участках треугольной формы.

Ключевые слова: аэростатно-канатная система, расстояние трелевки, производительность аэростатной системы, воздушная трелевка.

В настоящее время при освоении лесного фонда большинство дальневосточных лесозаготовительных организаций ведут заготовку древесины на территориях с характерными признаками труднодоступности и экологической зависимости, при этом около 34,6 % лесных площадей, где произрастает качественный и спелый древостой, находятся на склонах свыше 20°, где традиционная техника не в состоянии вести заготовку древесины либо выполняет ее с большими затратами и с явным экологическим несоответствием. Внедрение же в процесс лесозаготовок воздушных способов на базе аэростатно-канатных систем (АКС) позволит не только конкурентно осваивать труднодоступные лесные массивы, но и обеспечит максимум экологического эффекта [1, 2]. На рис. 1 представлен способ транспортировки древесины с использованием трехлинейной АКС.

Использование трехлинейной аэростатно-канатной системы будет характеризоваться эксплуатацией ее на участках

треугольной формы, преимущественно равнобедренной (согласно технологической схеме) или в зависимости от рельефа местности различными формами разностороннего треугольника (рис. 2).

Для определения параметров производительности установки АКС необходимо разработать методику по определению значения среднего расстояния трелевки при различных конфигурациях формы лесного участка, отведенного в рубку [3].

Случай 1

Первоначальные расчеты предлагается провести для идеального случая, при котором рабочий контур лесного участка имеет форму равностороннего треугольника. Исходя из технологических соображений целесообразности размеров эксплуатационного лесного участка, стороны треугольника могут изменяться в диапазоне $a = b = c = 100 \div 1500$ м.

Участок условно разделяется на ленты (сектора), которые, в свою очередь, делятся

на подсектора с установленными размерами 25×25 м.

Исходя из размеров всего участка и секторов, расположенных на его площади, можно определить количество секторов участка ($n = 4 \div 1500$) и количество подсекторов в секторах.



Рис. 1. Аэростатно-канатная система для транспортировки древесины

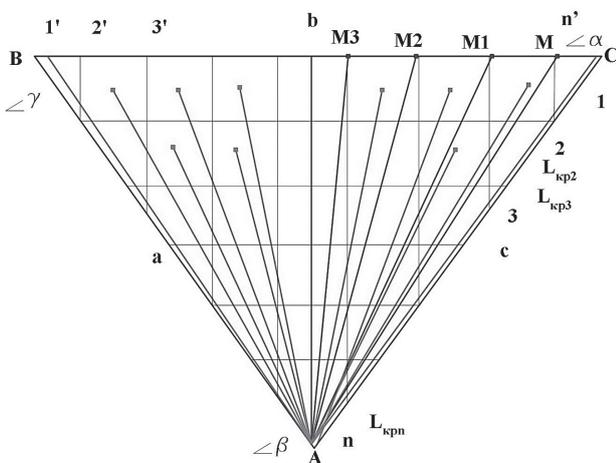


Рис. 2. Основная расчетная схема по определению среднего расстояния трелевки

Таким образом, в каждом секторе может находиться $n \div i$ подсекторов, при $i = 0 \div 59$ и при условии, что $n > i$. Причем каждое значение i соответствует последовательно сектору от 1-го до разгрузочного пункта в точку А. Количество подсекторов определяется конфигурацией участка. Длину крайних линий $l_{кр}$ можно принять равной длине боковой стороны треугольника, т.е. $100 \div 1500$, при шаге $j = 25$ м.

Таким образом

$$l_{кр1} = An' = A1' \text{ (в секторе 1)} = 100 \div 1500 \text{ м,} \quad (1)$$

$$l_{кр2} = \text{(в секторе 2)} = (100 - j) \div (1500 - j) = 75 \div 1475 \text{ м,} \quad (2)$$

$$l_{кр3} = \text{(в секторе 3)} = (100 - 2j) \div (1500 - 2j) = 50 \div 1475 \text{ м} \quad (3)$$

и т.д.

Соответственно длину крайних линий можно выразить зависимостью

$$l_{крn} = An' = A1' \text{ (в } n\text{-м секторе)} = (100 - (n - 1)j) \div (1500 - (n - 1)j). \quad (4)$$

Так как линия, опущенная из точки А к основанию равностороннего треугольника, является медианой, высотой и биссектрисой, то можно считать, что AK' делит сторону b на две равные части, являясь центральной линией

$$l_{ч} = \frac{b}{2} = \frac{100 \div 1500}{2}, \quad (5)$$

Выполнив геометрические вычисления по методике [4] с учетом того, что угол $AK'C = AK'B = 90^\circ$, при учете, что $AC = AB$, $K'C = K'B$, получим

$$l_{ч} \text{ (в } n \text{ секторе)} = \sqrt{\left[\frac{[(100 - (n - 1)j) \div (1500 - (n - 1)j)]^2}{2} - \left[\frac{[(100 - (n - 1)j) \div (1500 - (n - 1)j)]^2}{2} \right]^2} \right)} \quad (6)$$

Так как треугольник $ABK' = AK'C$, то расчет всех остальных линий от точки А к секторам, можно свести к нахождению внутренних линий только одного из треугольников, т.е. к определению длины $l_{вн}$. Так как $BM' = CM' = 25$, то

$$K'M' = \frac{100}{2} - 25 \div \frac{1500}{2} - 25,$$

а треугольник $AK'M'$ является прямоугольным и $l_{вн}$ – гипотенуза, тогда

$$l_{вн} = \sqrt{AK'^2 + K'M'^2},$$

при

$$K'M' = \left(\frac{100}{2} - (n-1)j \div \frac{1500}{2} - (n-1)j \right). \quad (7)$$

При этом $l_{\text{вн}}$ – это каждая n -я сторона

Тогда среднее расстояние трелевки до каждого сектора определится по формуле

$$l_{\text{ср сектора}} = \frac{l_{\text{кр}} + l_{\text{ц}} + \sum_{\kappa=1}^n l_{\text{вн},\kappa}}{4 \div 60}. \quad (8)$$

Случай 2

Рассмотрим вариант лесного сектора в виде равнобедренного треугольника со сторонами a и c

$$a = c = [100, 1500 \text{ м}],$$

b изменяется в диапазоне (100, 1500 м).

Аналогично расчету по равносоставленному треугольнику $l_{\text{кр}} = a = c$ соответственно.

Поскольку значения всех трех сторон участка (a, b, c) постоянны и установлены при монтаже АКС, то угол α ($< \alpha$) можно найти по теореме косинусов (или по теореме половинного угла)

$$\alpha \approx \arccos x \quad (\alpha = 2 \arctg x). \quad (9)$$

Тогда можно считать, что $l_{\text{вн}} = AM$.

$$AM_n = \sqrt{c^2 + (\kappa MC)^2 - 2c \kappa MC \cos \alpha},$$

где

$$\kappa = \overline{1, (n'-2)}. \quad (10)$$

Следовательно, в секторе 1

$$l_{\text{ср сек 1}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{(n'-2)} l_{\text{вн},\kappa} + l_{\text{кра}a} + l_{\text{кра}c}}{n'}, \quad (11)$$

Аналогично в секторе 2

$$AM_n = \sqrt{(c-25)^2 + (\kappa MC)^2 - 2(c-25)\kappa MC \cos \alpha},$$

где

$$\kappa = \overline{1, (n'-3)}. \quad (12)$$

$$l_{\text{ср сек 2}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{n'-3} l_{\text{вн},\kappa} + (l_{\text{кра}a} - 25) + (l_{\text{кра}c} - 25)}{(n'-1)}, \quad (13)$$

$$l_{\text{ср сек n}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^{(n'-n-1)} l_{\text{вн},\kappa} + (l_{\text{кра}a} - (n-1)j) + (l_{\text{кра}c} - (n-1)j)}{(n'-n+1)}, \quad (14)$$

где $l_{\text{ср сек 1}}$ – среднее расстояние трелевки до сектора 1, м;

$l_{\text{вн},\kappa}$ – длина внутренней средней линии, м;

$l_{\text{кра}a}$ – длина крайней линии по стороне a , м;

$l_{\text{кра}c}$ – длина крайней линии по стороне c , м;

n' – подсекторов;

n' зависит от величины

$$\approx \frac{b}{25} \pm \varepsilon \quad (\varepsilon \geq 0)$$

(ε – бесконечно малое положительное число) и является целым числом ($n' \in Z$), $j = 25$ – шаг по секторам.

Таким образом, общую зависимость для определения среднего расстояния трелевки АКС в треугольном лесном участке можно выразить зависимостью

$$l_{\text{ср}} = \frac{\sum_{\kappa=1}^n l_{\text{ср сек } n}}{n}. \quad (15)$$

Случай 3

Для упрощения и удобства расчетов в случае разносторонней формы участка можем предположить, что горизонтальные (красные) линии, делящие сектор на подсектора, параллельны стороне, противоположной точке A , т.е. основанию треугольника с вершиной A (рис. 3).

В таком случае для определения средней линии трелевки методика расчета по равнобедренному треугольнику распространяется и на косоугольные треугольники (при $l_{\text{кра}} \neq l_{\text{кра}e}$).

Так как все три стороны участка известны исходя из начальных условий монтажа, углы исследуемого треугольника определяются, искомая линия трелевки $l_{\text{вн}}$ образует треугольник с одной из боковых сторон заданного участка и частью основания b , можно найти последовательно все внутренние линии $l_{\text{вн}}$.

Случай 4

При разработке лесного участка в форме прямоугольного треугольника расчеты по предлагаемой методике значительно упрощаются в связи с отсутствием расчета одного из углов (равного 90°).

Для реализации поставленной задачи определения производительности АКС с помощью программы Статистика 6.0 был проведен анализ совокупности влияющих факторов на основании их распределения и получено уравнение регрессии

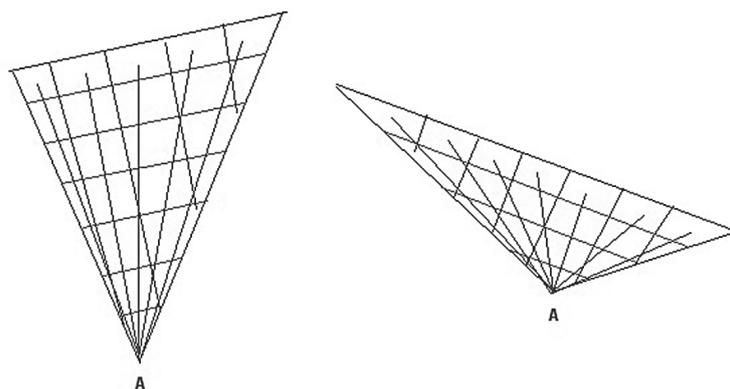


Рис. 3. Общий вид формы разностороннего участка

$$Pч = 0,000018L_{cp}^2 - 0,060035 L_{cp} + 53,04049V_{хол} - 22,227V_{раб} + 9,404069Q_p, \quad (16)$$

где L_{cp} – среднее расстояние трелевки, м;

$V_{хол}$ – скорость холостого хода аэростата, м/с;

$V_{раб}$ – скорость рабочего хода аэростата, м/с

Q_p – рейсовая нагрузка аэростата, м³.

На рис. 4 представлен вариант зависимости $\Pi = f(L_{cp}, Q_p)$, показывающий динамику изменения в пространственном распределении выходных величин в зависимости от исследуемых факторов при установленных значениях скоростных параметров: $V_{хол}$ – скорость перемещения порожнего аэростата, $V_{хол} = 3$ м/с (холостой ход); $V_{раб}$ – скорость перемещения груженого аэростата, $V_{раб} = 6$ м/с (рабочий ход).

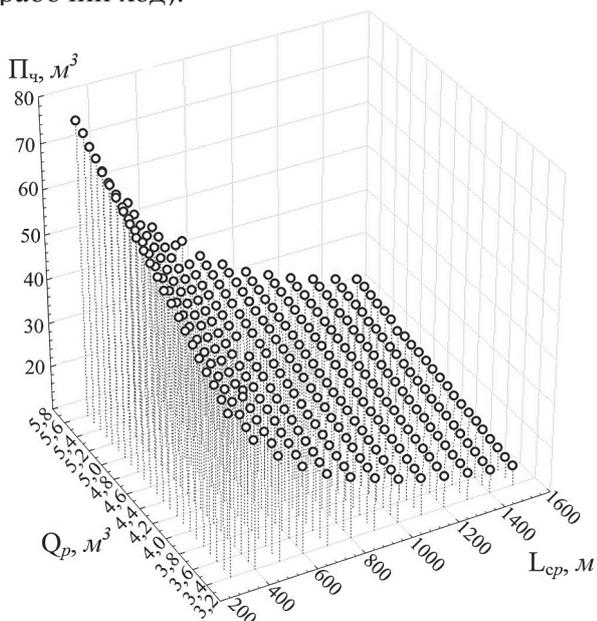


Рис. 4. Модель производительности АКС–5

Выводы

– Полученные аналитические и регрессионные зависимости основных технологических параметров АКС позволяют прогнозировать целесообразность использования аэростатно-канатной системы при эксплуатации в различных лесорастительных и климатических условиях.

– Математический аппарат, используемый при определении исследуемых параметров, имеет научную новизну и может быть использован при создании целевых программных продуктов в качестве соответствующей подпрограммы.

Библиографический список

1. Рябухин, П.Б. Аэростатические аппараты и их применение в лесной промышленности / П.Б. Рябухин, А.В. Абузов // Юб. сб. научных трудов ДВЛТИ «Вопросы совершенствования технологий и оборудования в лесопромышленном комплексе и строительстве». – Хабаровск: ХГТУ, 1998. – С. 75–80.
2. Абузов, А.В. Экспериментальные исследования аэростатно-канатной системы / А.В. Абузов, К.В. Рудица // Вестник ТОГУ. – Хабаровск: ТОГУ. – Вып. 1(8). – 2008. – С. 259–274.
3. Ширнин, Ю.А. Среднее расстояние трелевки на лесосеках прямоугольной формы / Ю.А. Ширнин, Н.А. Крицкая, К.П. Рукомойников // Научно-технические проблемы в развитии ресурсосберегающих технологий и оборудования лесного комплекса: Материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: ВЛГТА, 1998. – С. 206–208.
4. Мухелишвили, Н.И. Курс аналитической геометрии / Н.И. Мухелишвили – М.: Высшая школа, 1967. – 655 с.

ON THE DETERMINATION OF THE AVERAGE DISTANCE SKIDDING AND PRODUCTIVITY
TRILINEAR BALLOON–STRING SYSTEMS

Abuzov A.V. (Pacific National University), Rjabuhin P.B. (Pacific National University)

ac-systems@mail.ru, tolp@mail.khb.ru

Pacific National University, School of Ecology and Nature Management
R. 201Л, 136, Tihookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russia

The article discusses the development of forests inaccessible using balloon-cable transport system (AKS). Propulsion Single calculating the average yarding distance and performance for trilinear AKC woodlots triangular shape.

Keywords: balloon-cable system, skidding distance, Flow aerostat system, air skidding.

References

1. Ryabukhin P.B., Abuzov A.V. *Aerostatic devices and their application in the timber industry* [Aerostatic devices and their application in forestry]. Yubileynyy sbornik nauchnykh trudov DVLTI «Voprosy sovershenstvovaniya tekhnologiy i oborudovaniya v lesopromyshlennom komplekse i stroitelstve» [Jubilee collection of scientific papers DVLTI «Issues of improving technologies and equipment timber industry and construction»]. Khabarovsk. KhGTU, 1998. pp. 75-80.
2. Abuzov A.V., Ruditsa K.V. *Experimental studies of balloon– cable system* [Experimental studies of balloon – cable system]. Vestnik TOGU [Bulletin of PNU]. Khabarovsk. TOGU. Vyp. 1(8), 2008. pp. 259-274.
3. Shirnin Yu.A., Kritskaya N.A., Rukomoynikov K.P. *The average distance of skidding on felling nonrectangular* [The average distance of skidding on felling nonrectangular]. Nauchno– tekhnicheskiye problemy v razviti resursosberegayushchikh tekhnologiy i oborudovaniya lesnogo kompleksa: Materialy mezhdunarodnoy nauchno– prakticheskoy konferentsii [Scientific and technical problems in the development of resource– saving technologies and equipment forest complex : Proceedings of the international scientific– practical conference]. Voronezh. VLGTU, 1998. pp.206-208.
4. Muskhelishvili N.I. *Course of analytical geometry* [Course of analytical geometry]. Moscow. Higher School, 1967 655 p.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СПОСОБОВ КОМПЛЕКТОВАНИЯ
СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ ЗАГОТОВКИ СОРТИМЕНТОВ

С.Б. ЯКИМОВИЧ, проф. каф. ТОЛП УГЛТУ, д-р техн. наук,
М.А. ТЕТЕРИНА, доц. каф. ТОЛП УГЛТУ, канд. техн. наук

jak.55@mail.ru, tetatet-marya@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37.

В статье представлены результаты сравнительной оценки эффективности двух методик комплектования систем машин для заготовки сортиментов – по промышленно апробированной модели стохастической многофазной системы и на основе рекомендаций производителей. Представленные результаты свидетельствуют, что время простоев машин в комплектах, сформированных на основе рекомендаций производителей, составляет в среднем 38 % и достигает 61 %.

Ключевые слова: системы машин для заготовки сортиментов, синхронизация, производительность, рекомендации производителей, стохастическая многофазная система

Целью управления составом систем для заготовки сортиментов является их синхронизация и повышение производительности. Комплектование таких систем выполняется в настоящее время, в большей части, на основе оптимизации состава по маркам и количеству существующих машин на основе рекомендаций от производителей, представленных, например, в [1]. Однако результаты

проведенных промышленных экспериментов [2, 3], свидетельствующие о несогласованности машин по производительности для различных природно-производственных условий в системах «харвестер–форвардер» до 50–70 %, определяют недостаточную эффективность подобных подходов, обусловленную целочисленностью управляемых переменных. Синхронизация машин в системах

заготовки сортиментов может быть обеспечена на основе управления такими факторами, как объемы перемещаемых запасов или грузопместимость машин [4], технологические схемы и приемы работы машин [5]. Изложенное подтверждается представленными в статье результатами сравнительной оценки эффективности описанных методик комплектования систем.

Определяющим фактором, влияющим на синхронизацию машин в системе, является их производительность. Результаты определения производительности харвестеров и форвардеров в различных природно-производственных условиях по промышленно апробированной модели стохастической многофазной системы [6] и соответствующие значения производительностей [1] приведены в табл. 1–5.

Сравнительная оценка результатов оценки производительности машин позволяет сделать вывод о значительных расхождениях – в среднем 15 %, максимальные расхождения достигают 36 %. В этой связи время простоев машин в комплектах, сформированных на основе рекомендаций [1] (табл. 6, рисунок), составляет в среднем 38 % и достигает 61 %.

Вероятность простоев P_{pr} машин в системе определялась по выражениям [6]

$$P_{pr}(\mu_h, \mu_f, Q, \alpha, \chi, m, \lambda_{max}) = \frac{\alpha^0 \cdot e^{-\alpha}}{0!} + \left(1 - \frac{\lambda_{max}}{\mu_h}\right) = \frac{\sum_{k=0}^Q \frac{\alpha^k \cdot e^{-\alpha}}{k!} + \left(\frac{\alpha^Q \cdot e^{-\alpha}}{Q!}\right) \cdot \chi \cdot \frac{1 - \chi^m}{1 - \chi}}{e^{-\alpha} + \left(\frac{\alpha^Q \cdot e^{-\alpha}}{Q!}\right) \cdot \chi \cdot \frac{1 - \chi^m}{1 - \chi}} + \left(1 - \frac{\lambda_{max}}{\mu_h}\right), \quad (1)$$

$$\chi(\mu_h, \mu_f, Q) = \mu_h / \mu_f \cdot Q, \quad (2)$$

$$\alpha(\mu_h, \mu_f) = \mu_h / \mu_f, \quad (3)$$

$$\lambda_{max}(Q, \alpha, \chi, m) = \mu_h \cdot \left(1 - \frac{\chi^m \cdot \frac{\alpha^Q \cdot e^{-\alpha}}{Q!}}{\sum_{k=0}^Q \frac{\alpha^k \cdot e^{-\alpha}}{k!} + \left(\frac{\alpha^Q \cdot e^{-\alpha}}{Q!}\right) \cdot \chi \cdot \frac{1 - \chi^m}{1 - \chi}}\right), \quad (4)$$

где μ_h – интенсивность обработки предмета труда харвестером, шт./мин.;

μ_f – интенсивность транспортировки предмета труда форвардером, шт./мин.;

Q – грузопместимость форвардера, шт.;

m – максимально допустимый объем межоперационного запаса сортиментов на переходе операций между харвестером и форвардером, шт.

λ_{max} – абсолютная пропускная способность системы, шт./мин.

Интенсивность получения сортиментов харвестером μ_h , шт./мин. определялась по выражению [6]

$$\mu_h(V_x, V_c, q, \Delta, l_x, l_c, L, d) = \frac{V_x \cdot 60}{\left(t_{nd} + \frac{l_x}{3} + 40,277 \cdot d^2 \cdot \left(\frac{l_x - 1,5}{l_c} + 2\right) + \frac{10^4 \cdot V_x}{q \cdot \Delta} + \frac{10^4 \cdot V_c}{q \cdot L}\right)}, \quad (5)$$

где V_x – средний объем хлыста, м³;

V_c – средний объем сортимента, м³.

q – средний запас леса, м³/га;

Δ – ширина пасаки, м;

l_x – средняя длина хлыста, м;

l_c – средняя длина сортимента, м;

L – среднее расстояние трелевки, м;

t_{nd} – время подтаскивания дерева к месту обработки, сек.;

d – средний диаметр ствола, м.

Время подтаскивания дерева к месту обработки t_{nd} определялась по регрессионной зависимости [7]

$$t_{nd}(\Delta) = 21 + 0,625\Delta. \quad (6)$$

Зависимость (6) получена на основе данных промышленного эксперимента [3] с учетом возрастания расстояния подтаскивания при увеличении ширины пасаки.

Интенсивность транспортировки предмета труда μ_f , шт./мин определяется отношением производительности транспортной машины к ее грузопместимости и представляет собой интенсивность транспортировки единицы предмета труда [6]

$$\mu_f(L, Q, \Delta) = 60 / (Q(8,9 + 0,0406\Delta + 3,32) + 0,9633L). \quad (7)$$

Производительности харвестера Π_x , м³/ч и форвардера Π_f , м³/ч определялись на

Т а б л и ц а 1

Результаты сравнительной оценки производительности харвестера

Объем хлыста, м ³	Производительность харвестера по данным производителей, м ³ /ч	Производительность харвестера по модели [6], м ³ /ч	Расхождение, %
0,3	18–21	19	5–10
0,4	18–21	21–24	13–14
0,5	25–30	26–29	3–4
0,6	25–30	31–32	6–19

Т а б л и ц а 2

Результаты сравнительной оценки производительности форвардера грузоподъемностью 8–9 т

Расстояние трелевки, м	Производительность форвардера по данным производителей, м ³ /ч	Производительность форвардера по модели [6], м ³ /ч	Расхождение, %
100	17–20	28	29–39
300	13–15	19	21–32
500	10–13	14	7–29
700	9–11	12	8–25
900	7–9	10	10–30
1100	6–8	8	0–25

Т а б л и ц а 3

Результаты сравнительной оценки производительности форвардера грузоподъемностью 10–11 т

Расстояние трелевки, м	Производительность форвардера по данным производителей, м ³ /ч	Производительность форвардера по модели [6], м ³ /ч	Расхождение, %
100	20–24	28	14–29
300	15–18	21	14–29
500	12–15	16	6–25
700	10–13	13	0–23
900	8–11	11	0–27
1100	7–9	10	10–30

Т а б л и ц а 4

Результаты сравнительной оценки производительности форвардера грузоподъемностью 12–14 т

Расстояние трелевки, м	Производительность форвардера по данным производителей, м ³ /ч	Производительность форвардера по модели [6], м ³ /ч	Расхождение, %
100	27–32	30	7–10
300	20–24	23	4–13
500	16–20	19	5–16
700	14–18	16	11–13
900	11–15	13	13–15
1100	9–12	12	0–25

основе интенсивностей обработки и транспортировки предмета труда по выражениям

$$P_{\phi}(\mu_{\phi}, V_c) = \mu_{\phi} V_c 60, \quad (8)$$

$$P_{\chi}(\mu_{\chi}, V_c) = \mu_{\chi} V_c 60, \quad (9)$$

В заключение необходимо отметить, что адекватность математической модели, использованной для оценки производительности и процента времени простоев машин,

**Результаты сравнительной оценки производительности
форвардера грузоподъемностью 15–18 т**

Расстояние трелевки, м	Производительность форвардера по данным производителей, м ³ /ч	Производительность форвардера по модели [6], м ³ /ч	Расхождение, %
100	27–32	31	6–13
300	20–24	25	4–20
500	16–20	21	24–5
700	14–18	18	0–22
900	11–15	15	0–27
1100	9–12	14	14–36

**Результаты оценки времени простоев машин в рекомендуемых
производителями комплектах**

Объем хлыста, м ³	Расстояние трелевки, м	Рекомендуемая грузоподъемность форвардера, т (количество машин)	Время простоев машин, %
0,3	100	8–9	1,2
		10–11	5,5
	300	10–11	35,5
		12–14	28,9
	500	15–18	33,7
		700	15–18
0,4	900	15–18	50,3
		1100	12–14 (2 шт.)
	100	8–9	19,2
		10–11	25
0,5	300	10–11	49
		12–14	43,8
	500	15–18	47,5
		700	15–18
	900	15–18	60,6
		1100	12–14 (2 шт.)
0,6	100	15–18	30,2
		300	8–9 (2 шт.)
	500	10–11 (2 шт.)	53,4
		700	10–11 + 12–14
	900	12–14 (2 шт.)	34,8
		1100	10–11 (3 шт.)
0,6	100	15–18	36,7
		300	8–9 (2 шт.)
	500	10–11 (2 шт.)	57,8
		700	10–11 + 12–14
	900	12–14 (2 шт.)	40,9
		1100	10–11 (3 шт.)

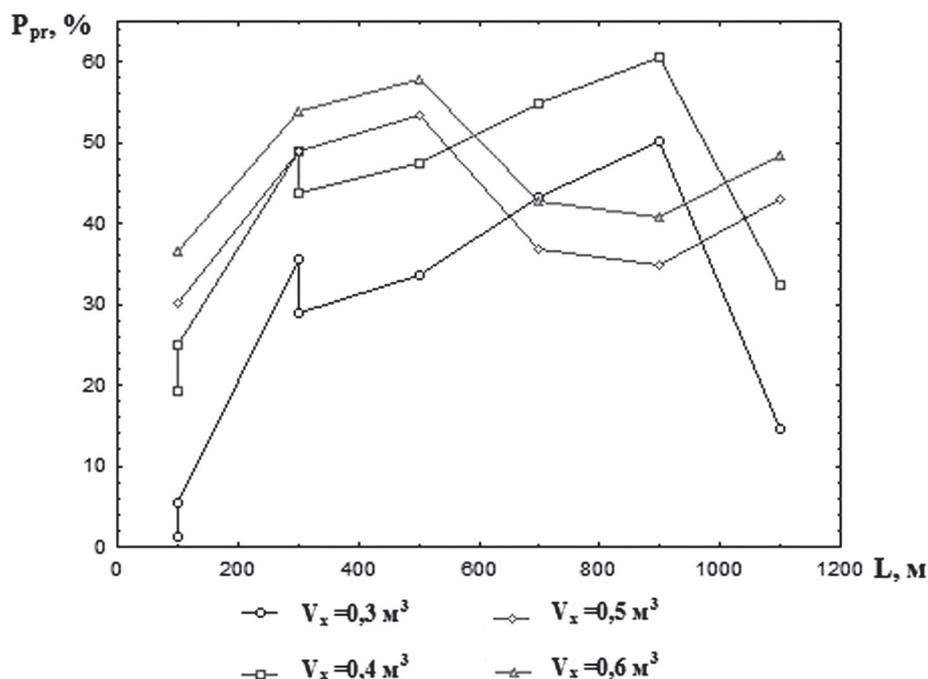


Рисунок. График зависимости процента времени простоев машин в рекомендуемых производителями комплектах «харвестер-форвардер» от расстояния трелевки

проверена по результатам экспериментальных исследований [2, 3], в соответствии с которыми установлено, что расхождение экспериментальных и теоретических значений составляет в среднем 3–4 % и не превышает 10 %.

Выводы

1. Комплектование систем машин, обеспечивающих максимальную загрузку в различных природно-производственных условиях, целесообразно производить с использованием нецелочисленных факторов, определяющих интенсивность работы машин в системе, таких как грузопместимость машин, технологические схемы и приемы работы машин.

2. Параметрические размерные ряды систем машин «харвестер–форвардер», предлагаемые производителями, необходимо увеличить, по крайней мере, в два раза по параметру грузопместимость.

3. Комплектованию синхронизированных систем машин должна предшествовать процедура снятия стохастической неопределенности природных условий лесозаготовок.

Библиографический список

1. Ширнин, Ю.А. Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие для студентов вузов по направлению подгот. дипломиров. специалистов 656300 «Технология лесозаготов. и деревообработ. пр-в» по специальности 260100 «Лесоинженер. дело» / Ю.А. Ширнин – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 83 с.
2. Якимович, С.Б. Экспериментальная оценка синхронизации обрабатывающе-транспортной системы «харвестер–форвардер» / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник, 2008. – № 4. – С. 48–51.
3. Якимович, С.Б. Опытная-промышленная оценка эффективности нового способа заготовки сортиментов / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина, В.В. Груздев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. – № 1. – С. 192–196.
4. Якимович, С.Б. Рейсовая нагрузка лесозаготовительных машин / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2006. – № 6. – С. 95–97.
5. Якимович, С.Б. Управление схемами работы машин в обрабатывающе-транспортных лесозаготовительных системах / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник, 2010. – № 6. – С. 78–82
6. Якимович, С.Б. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины / С.Б. Якимович, М.А. Тетерина // Монография – Йошкар-Ола, 2010. – 201 с.
7. Тетерина, М.А. Экологически щадящие, ресурсосберегающие транспортно-обрабатывающие системы: управление схемами работы машин / М.А. Тетерина // Фундаментальные исследования, 2011. – № 8. – Ч. 1 – С. 178–184.

COMPARATIVE APPRAISAL OF WAYS OF ROUND TIMBER HARVESTING
MACHINES SYSTEMS COMPOSITION

Jakimovich S.B. (USFEU), Teterina M.A. (USFEU)

jak.55@mail.ru, tetatet-marya@mail.ru

Ural State Forest Engineering University (USFEU), Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The results of comparative appraisal of effectiveness of two methodic of round timber harvesting machines systems composition – industrially proven model of stochastic multiphase system and on basis of manufacturers recommendations, are given in the paper. Presented results are evidence that machines delay time in generated on basis of manufacturers recommendations sets averages 38 % and achieves 61 %.

Keywords: round timber harvesting machines systems, synchronization, productivity, manufacturers recommendations, stochastic multiphase system

References

1. Shirnin, Yu.A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh robot* [Technology and machine harvesting operations]. Yoshkar-Ola. Mari State Technical University, 2005. 83 p.
2. Yakimovich, S.B., Teterina M.A. *Ekspperimentalnaya otsenka sinkhronizatsii obrabatyvayushche-transportnoy sistemy «kharvester – forvarder»* [Experimental evaluation of synchronization processing the transport system «harvester-forwarder»]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2008. № 4. pp. 48-51.
3. Yakimovich, S.B, Teterina M.A., Gruzdev V.V. *Opytno-promyshlennaya otsenka effektivnosti novogo sposoba zagotovki sortimentov* [Experimental evaluation of a new industrial method blanks assortments]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013. № 1. pp. 192-196.
4. Yakimovich, S.B., Teterina M.A. *Reysovaya nagruzka lesozagotovitelnykh mashin* [Scheduled load harvesting machines]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2006. № 6. pp. 95-97.
5. Yakimovich, S.B., Teterina M.A. *Upravleniye skhemami raboty mashin v obrabatyvayushche-transportnykh lesozagotovitelnykh sistemakh* [Control circuits of the machines in treating timber transport systems]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2010. № 6. pp. 78-82.
6. Yakimovich, S.B., Teterina M.A. *Sinkhronizatsiya obrabatyvayushche-transportnykh sistem zagotovki i pervichnoy obrabotki drevesiny. Monografiya* [Synchronization Processing transport systems procurement and primary processing of wood]. Yoshkar-Ola, 2010. 201 p.
7. Teterina, M.A. *Ekologicheski shchadyashchiye, resursosberegayushchiye transportno-obrabatyvayushchiye sistemy: upravleniye skhemami raboty mashin* [Environmentally benign , resource transport and processing systems : control circuits of machines]. Fundamentalnyye issledovaniya. Moscow. RAYe, 2011. № 8, ch.1 pp. 178-184.

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИИ ЛЕСОЗАГОТОВОК

А.Н. СУХИХ, доц. каф. воспроизводства и переработки лесных ресурсов БрГУ, канд. техн. наук,
Е.М. РУНОВА, проф. каф. воспроизводства и переработки лесных ресурсов БрГУ, д-р с.-х. наук,
С.Н. СМЕХОВ, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства
МГУЛ, канд. техн. наук

сухих2005@mail.ru, runova@rambler.ru

ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

665709 г. Братск, ул. Макаренко, 40

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Лесопромышленное производство определяет требования к современной науке по созданию высокоэффективных и производительных лесозаготовительных машин, при этом должны выполняться условия эффективной эксплуатации и технологии заготовки лесных ресурсов. Применение предлагаемых методик позволит провести оптимизацию параметров и режимов работы лесозаготовительных машин, выбрать менее затратную технологию с целью их дальнейшего внедрения в ЛПК Иркутской области. Использование предлагаемых лесозаготовительных машин позволит обеспечить устойчивость и неистощительность

лесозаготовок. В статье представлены валочно-пакетирующие трелевочные машины на базовом шасси, их предлагается использовать для комплекса лесосечных работ, они могут выполнять валку леса, пакетирование, трелевку, а при использовании сменного навесного оборудования – весь объем лесосечных работ. Перечисленные модели универсальны и предназначены для валки и трелевки леса, использование на них сменного навесного оборудования позволит выполнять весь объем лесосечных работ с требуемой эффективностью, даст возможность совершенствования технологического процесса современного ЛПК. Использование универсальных машин с различным навесным оборудованием вместо систем машин, применяемых на лесозаготовках, решит проблему несовместимости по производительности при работе машин в лесозаготовительных комплексах, сократит стоимость основных фондов и затраты на их техническое обслуживание. Поэтому предлагаемая автором интенсивная лесозаготовка с учетом комплексного инновационного подхода, на базе универсальных машин, позволит улучшить работу лесозаготовительных предприятий и лесопромышленного комплекса.

Ключевые слова: технология, универсальная лесозаготовительная машина, методика, режимы работы, эффективность

В настоящее время успешно зарекомендовали себя технологии лесозаготовок, основанные на модульных машинах. Весьма актуальными представляются перспективы создания лесозаготовительного комбайна. Совмещение операций, выполняемых одной машиной, дает определенные выгоды, за счет сокращения перемещений предмета труда можно сэкономить немало энергии и времени [1]. Многочисленные перемещения связаны с большими затратами в технологическом процессе, в нем участвует до четырех и более машин различного назначения. Модульные машины предполагают, что основное технологическое оборудование является навесным или прицепным и агрегируется с энергетическим модулем. В качестве энергетического модуля может выступать, например, шасси общего назначения. Преимущества такого подхода для небольших предприятий очевидны. Один энергетический модуль может использоваться на различных лесозаготовительных и лесохозяйственных работах. Это значительно снижает экономические риски и обеспечивает технологическую гибкость небольшому предприятию. В зарубежной практике накоплен большой опыт в конструировании различных прицепных машин. Широкий выбор прицепного оборудования позволяет формировать не отдельные машины, а целые комплексы, способные выполнять весь технологический цикл работ. Выбор оптимальных параметров оборудования и машин в целом должен определяться, прежде всего, производительностью техники, которая оправдывала бы затраты на ее приобретение.

Потери производственной мощности неизбежны при использовании комплексов систем машин. Они вызваны несоответствием производительности их отдельных единиц и потерями времени в начале технологического процесса и при его окончании. Оценка производительности и методика выбора оптимального комплекса, его эффективная эксплуатация важна и актуальна для лесопромышленного производства. Для оценки параметров режимов и возможной производительности лесозаготовительных машин предлагается методика оценки, отражающая основные показатели, влияющие на производительность лесозаготовительного оборудования, определяющиеся организацией производства и технологическим процессом предприятия, которая описывается уравнением (1).

$$E = P \cdot k_{см} \cdot k_{пр} \cdot N \cdot \left(1 - \frac{n_n}{N}\right) \times \left(1 - \frac{n_p}{N - n_n}\right) \cdot \left(1 - \frac{n_o}{N - n_n - n_p}\right), \quad (1)$$

где E – показатель технологической эффективности использования лесозаготовительного оборудования и машин (производительность), м³;

P – нормативная производительность лесозаготовительных машин и оборудования, м³;

$k_{см}$ – коэффициент сменности;

$k_{пр}$ – коэффициент продолжительности смены;

N – используемое время оцениваемого периода производственного процесса, в днях;

n_n – показатель затрат времени из-за выходных и праздничных дней, в днях;

n_p – показатель затрат времени на техническое обслуживание и ремонты, в днях;

n_o – показатель организации производства определяется потерями календарного времени из-за недостаточной инженерно-технической подготовки и человеческого фактора неблагоприятных природных воздействий, в днях.

Для выбора оптимального сочетания лесозаготовительных машин, выполняющих последовательные операции при работе их в комплексе, предложена методика оценки их совместимости (формула (2) на примере совместимости валочных и трелевочных машин

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ei}}{\sum_{i=1}^n E_{mi}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где C_c – совместимость лесозаготовительных машин различного назначения при работе их в комплексе последовательно, %;

n – количество лесозаготовительных машин;

E_{ei} – показатель технологической эффективности использования валочных машин, м³;

E_{mi} – показатель технологической эффективности использования трелевочных машин, м³.

Аналогично, последовательно выполняется расчет совместимости других машин комплекса.

Важен вопрос о том, какая лесосечная техника позволит эффективно работать предпочтительно в течение длительного времени на арендуемом участке лесного фонда, то есть вопрос о применимости той или иной лесозаготовительной техники. Анализ работы лесозаготовительных комплексов на базе валочно-пакетирующих машин «*John Deere 853J*»), колесных скиддеров «*John Deere 748G-III*»), процессоров на базе «*John Deere 2054*» с головкой «*Waratah 622B*»), стреловых погрузчиков «*John Deere 2054*» за три года дал следующие результаты (рис. 1). Потеря производственной

мощности происходит на всех стадиях технологического процесса заготовки леса и составляет в среднем для трелевочных машин 9,4 %, сучкорезных машин 18,4 %, погрузчиков 16,2 суммарная величина составляет в среднем 44 %, что весьма существенно, но неизбежно при применении лесозаготовительных комплексов. При этом неэффективно используются как техника, операторы машин, рабочее время, так и все службы, обеспечивающие работоспособность лесозаготовительных машин.

Основным направлением совершенствования лесозаготовительных машин, повышающим их эффективность, может стать создание парка новых лесных машин, обеспечивающих освоение современных технологий лесозаготовок на базе универсальных машин [2, 3]. Для этого авторами предложена валочно-трелевочная машина с трехопорной выравнивающейся платформой. Полезная модель относится к лесной промышленности, предназначена для комплекса лесосечных работ, позволяет выполнять валку, трелевку леса на склонах, а при использовании сменного навесного оборудования весь объем лесосечных работ. Технический результат заключается в возможности выравнивания трехопорной выравнивающейся платформы с опорно-поворотным устройством, ее вертикальной ориентации для смещения центра тяжести и возможности работы на склонах, а также возможности расширенного использования на универсальных шасси различных заводов. На рис. 2 представлена валочно-пакетирующая трелевочная машина с трехопорной выравнивающейся платформой [3].

Машина состоит из универсального шасси 1 и технологического оборудования, установленного на трехопорной выравнивающейся платформе с опорно-поворотным устройством 2, поворотной платформы 3, стрелы 4, рукояти 5 с захватно-срезающим устройством 6, коникового устройства 7, двух гидроцилиндров 8, установленных на стреле 4, одного гидроцилиндра 9 на рукояти, одного гидроцилиндра 10 на захватно-срезающем устройстве, противовеса 11. Трехопорная выравнивающаяся платформа с опорно-поворотным устройством 2 состоит из жесткой опоры 12 с



Рис. 1 Анализ работы лесозаготовительных комплексов за три года

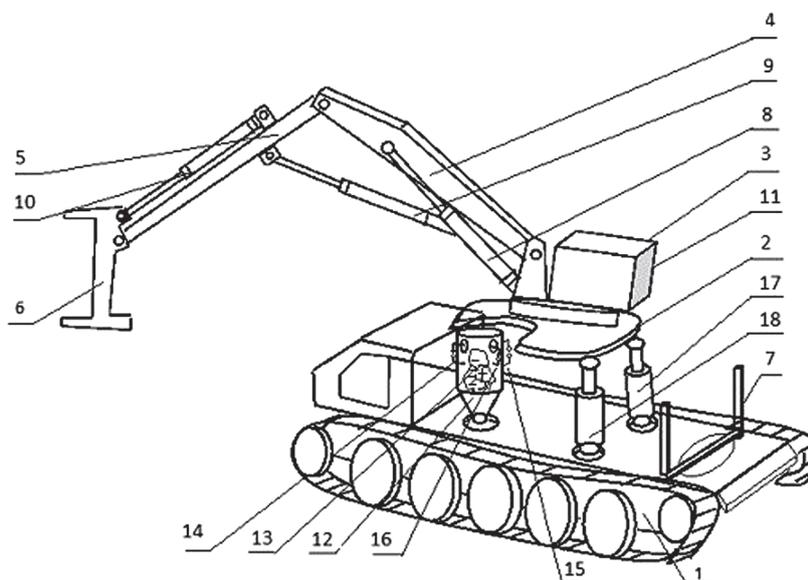


Рис. 2. Валочно-пакетирующая трелевочная машина с трехопорной выравнивающейся платформой

шаровым пальцем внизу на конце, внутри которой находится поплавковый датчик уклона 13 с тремя контактами – передним 14, правым 15, левым 16 – имеющими возможность подавать сигнал к работе двух гидроцилиндров 17 и 18. Машина работает следующим образом: заходит на пашку задним ходом, в режиме валки-пакетирования стрела 4 и рукоять 5 находятся позади кабины, рукоять 5 с захватно-срезающим устройством 6 наводится на деревья с использованием поворотной платформы 3, спиливает их и укладывает в кониковое устройство. Таким образом формируется пачка,

после чего выполняется фиксация рукояти 5 с захватно-срезающим устройством 6 впереди машины. Начинается работа машины в режиме трелевки к погрузочному пункту. Гидроцилиндры 8, 9, 10 обеспечивают работу соответственно стрелы, рукояти, захватно-срезающего устройства. Трехопорная выравнивающаяся платформа с опорно-поворотным устройством 2 и жесткой опорой 12 на конце с шаровым пальцем и поплавковым датчиком уклона 13 с тремя контактами, подающими сигнал к работе двух гидроцилиндров 17, 18, обеспечивает свое выравнивание. При наклоне машины

назад и срабатывании контакта 14 выдвигаются одновременно штоки гидроцилиндров 17, 18, при срабатывании контактов 14 и 15 выдвигается шток гидроцилиндра 18, при срабатывании контакта 15 втягивается шток гидроцилиндра 17, если срабатывают контакты 15 и 16, втягиваются одновременно штоки гидроцилиндров 17 и 18, срабатывает контакт 16, втягивается шток гидроцилиндра 18, если срабатывают контакты 16 и 14, выдвигаются шток гидроцилиндра 17, тем самым обеспечивается вертикальная ориентация трехопорной выравнивающейся платформы с опорно-поворотным устройством 2, при этом контакты 14, 15, 16 разомкнуты. Полезная модель может применяться при выполнении сплошных рубок и выборочных рубок, позволяет выполнять валку, пакетирование, трелевку на склонах, а при использовании сменного навесного оборудования на стреле может выполнять весь комплекс лесосечных и лесохозяйственных работ. Предлагаемые модели могут обеспечивать исполнение всего комплекса работ при выполнении рубок главного пользования, рубок ухода и лесохозяйственных работ. Для увеличения производительности и эффективности применения предложенных универсальных лесозаготовительных машин технологический процесс может быть дополнен специальными машинами для раскряжевки хлыстов или применением сменного навесного оборудования.

Сегодня лесопромышленному комплексу необходимы высокопроизводительные, надежные отечественные лесозаготовительные машины, не уступающие зарубежным аналогам, однако более дешевые и доступные. В перспективе важное значение будет иметь развитие лесного машиностроения. Анализ

русского лесного машиностроения дает основание утверждать, что лесопромышленный комплекс обладает достаточным потенциалом для полного обеспечения потребностей в машиностроительной продукции, в том числе и по мировым стандартам. Благодаря навесным быстросменным узлам предлагаемые машины можно использовать на всех этапах заготовки древесины, начиная со строительства дорог до погрузки леса на подвижной состав, при проведении рубок: строительство – экскаватор; свodka мелких деревьев и кустарников при содействии возобновлению – кусторез; валка, обрезка сучьев и раскряжевка – процессор; погрузка леса в хлыстах и сортаментах – погрузчик. Универсальность машин позволит применять их при выполнении сплошных рубок и рубок промежуточного пользования, а при использовании сменного навесного оборудования на рукояти машины могут эффективно выполнять весь комплекс лесосечных и лесохозяйственных работ.

Библиографический список

1. Сухих, А.Н. Машины для эффективной и неистощительной заготовки леса / А.Н. Сухих, С.М. Сыромаха // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 1(17). – С. 95–98.
2. Пат. № 2388214 Россия, МПК А01G23/081 Валочно-пакетирующая трелевочная машина с универсальным технологическим оборудованием / П.М. Огар, А.М. Долотов, Е.М. Рунова, А.Н. Сухих; заявитель и патентообладатель БрГУ. – № 2008148408/12; заявл. 08.12.2008, опубл. 10.05.2010. Бюлл. № 13.
3. Пат. на пол. мод. № 121992 Россия, МПК А01G23/081 Валочно-пакетирующая трелевочная машина с трехопорной выравнивающейся платформой / А.Н. Сухих, С.М. Сыромаха; заявитель и патентообладатель БрГУ. – № 2009113311/22; заявл. 10.04.2012, опубл. 20.11.2012. Бюлл. № 32, 2с.

MODERN ASPECTS OF EFFICIENCY HARVESTING TECHNOLOGY

Sukhih A.N. (Bratsk state university), Runova E.M. (Bratsk state university), Smehov S.N. (MSFU)

suxix2005@mail.ru, runova@rambler.ru

Bratsk state university, Russia, 665709 Bratsk, Makarenko, 40

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

The timber production defines the requirements deriving by the modern science to create a highly efficient and productive governmental harvesting machines must comply with the conditions of exploitation and efficient harvesting technology of forest resources. In this article are presented feeling-piling on the base chassis, they are offered machines skidding on the base chassis, they are offered to be used for a complex cutting works, they can carry out feeling, piling, skidding and at use of the cutting hinged equipment all volume of cutting works. The listed models are universal and

intended for the feeling and skidding woods, the using on them of the replaceable hinged equipment will allow to carry out all volume cutting works with demanded efficiency and will give the chance perfection of technological process modern Timber Industry Complex. The using universal cars with the various hinged equipment instead of systems of cars, applying on timber cuttings, will solve an incompatibility problem on productivity at work of cars in timbers complexes, will reduce the cost of fixed capital and an expense for their maintenance service. There fore intensive forest exploitation taking into account the complex innovative approach by the author, on the basis of universal cars, will allow to improve work of timber enterprises and c timber industry complex.

Keywords: technology, a universal cut wood machines, technique, modes of work, the effectiveness of

References

1. Sukhikh, A.N. *Mashiny dlya effektivnoy i neistoshchitelnoy zagotovki lesa* [Machines for effective and sustainable harvesting]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2013. № 1(17). pp. 95-98.
2. Ogar P.M., Dolotov A.M., Runova Ye.M., Sukhikh A.N. Pat. № 2388214 Rossiya, MPK A01G 23/081 *Valochno-paketiruyushchaya trelevochnaya mashina s universalnym tekhnologicheskim oborudovaniyem* [Feller-buncher skidder with universal technological equipment]. BrGU. № 2008148408/12; 08.12.2008, publ. 10.05.2010. Byull. № 13.
3. Sukhikh A.N., Syromakha S.M. Pat. № 121992 Rossiya, MPK A01G23/081 *Valochno-paketiruyushchaya trelevochnaya mashina s trekh opornoj vyravnivayushcheysya platformoy* [Feller-buncher skidder with three reference platform aligns]. BrGU. № 2009113311/22; 10.04.2012, publ. 20.11.2012. Byull. № 32, 2s.

СОВРЕМЕННЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПАКЕТИРОВАНИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ И ТОНКОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.В. МАТРОСОВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук

М.А. БЫКОВСКИЙ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ, канд. техн. наук

matrosov@mgul.ac.ru; bykovskiy@mgul.ac.ru

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

В статье приведен обзор современных технологий пакетирования и машин для лесосечных отходов с целью энергетического использования древесной биомассы. Рассмотрена особенность применения пакетирующих установок для лесосечных отходов и их основные характеристики.

Ключевые слова: сортиментная технология, сортименты, щепы, производительность, сбор биомассы, лесосечные отходы.

Технологии производства топливной щепы имеют много вариантов, выбор которых зависит от местных условий, наличия оборудования, характеристик древесной биомассы, используемой для энергетических нужд. В зависимости от того, где производится топливная щепа, все технологии классифицируются на группы [1, 2].

1. Технология производства щепы на лесосеке (*Terrain chipping*).

Измельчение древесной биомассы в щепу происходит непосредственно на делянке.

2. Технология производства щепы в месте примыкания к дороге на погрузочной

площадке (придорожном складе) (*Roadside chipping*).

Древесная биомасса трелюется с делянки на придорожный склад, где она измельчается в щепу.

3. Технология производства щепы на терминале (*Terminal chipping*).

При измельчении на терминале древесная биомасса транспортируется на терминал, где происходит ее измельчение в щепу.

4. Технология производства щепы у потребителя (*Chipping at plant*) (*forest chip raw materials (loose or bundled)*). Древесная биомасса навалом или прессованная в пакеты доставляется до потребителя, где происходит ее измельчение.

Лесосечные отходы неоднородны по составу, и транспортировка их навалом занимает большие объемы. Поэтому в последние годы успешно применяются технологии уплотнения отходов, позволяющие решить вопрос улучшения транспортной логистики. С этой целью для повышения эффективности процесса сбора и пакетирования лесосечных отходов путем их уплотнения применяются специальные машины – пакетировщики отходов.

В классической компоновке пакетировщик отходов представляет собой 6- или 8-колесную машину на базе форвардера, с установкой на его технологическом модуле пакетирующей установки по уплотнению и обвязке собираемых манипулятором лесосечных остатков. Различают выпускаемые пакетирующие установки:

- с непрерывным способом прессования и продольным сбросом пакета – *John Deere* с пакетировщиками модели 1490D или 1190E (рис. 1), *Monra Forestal* с упаковщиком *ENFO 2000* (рис. 2);

- циклическим способом и боковым сбросом пакета – *Komatsu Forest* с установкой *Valmet WoodPac* (рис. 4).

На пакетировщике *John Deere 1490D Eco III* установлен поворотный пакетирующий модуль, состоящий из подающей системы, обвязочного узла, цепной пилы, системы измерения. В машине реализован непрерывный принцип формирования пакетов. Лесосечные отходы в процессе пакетирования проходят насквозь через установку и обрезаются на выходе цепной пилой. Оператор может регулировать размер шага обвязки, корректируя компьютерную программу под конкретную длину пакета, число шпагатных обвязок и расстояние между обмотками. Такие параметры, как длина пакета, расстояние между обвязками и длительность уплотнения задаются с помощью *TMC/Timbermatic 900*.

Компанией *John Deere Forestry* освоено в производстве новый пресс-пакетировщик лесосечных отходов *Slash Bundler 1190E* (рис. 1) [4].

Новый пресс-пакетировщик монтируется на шасси форвардера 1110E и приходит

на смену старой модели, используемой для этой деятельности – *John Deere 1490D Eco III*. Новый пресс-пакетировщик компании *John Deere* оснащен новой кабиной управления с функцией поворота и выравнивания кабины для беспрепятственного обзора окружающей местности на 360° для улучшения условий и производительности труда. Это основная особенность новой техники, как и всех форвардеров серии E. *Slash Bundler 1190E* также поставляется с новой системой автоматического управления – *TimberMatic F-09*. Новая модель взвешивает пакеты, что крайне полезно при их продаже для получения энергии: каждый пучок может содержать до 1 МВт·ч энергии в зависимости от типа древесной биомассы и содержания влаги.

Он также включает ряд других улучшений, таких как интегрированное программное обеспечение, сокращение выбросов выхлопных газов, увеличение мощности до 145 кВт (195 л.с.), а также 2 фильтра в гидравлическом контуре.

Новая машина собирает, уплотняет и обвязывает древесную лесную биомассу (сучья, вершинки и стволы малого диаметра) более эффективно, чем предыдущая модель. Она обеспечивает лучший комфорт оператора, долговечность компонентов, контроль оборудования и производительности. Производительность *Slash Bundler 1190E* в зависимости от типа лесосечных отходов, их расположения, наличия на лесосеке, может составлять до 30 тюков в час.

Slash Bundler 1190E доступен в комплектации со съемным пакетирующим устройством так, что машина может быть преобразована в форвардер. Это повышает универсальность машины для лесозаготовителей.

Пакетирующую установку *Woodpac ENFO 2000* (рис. 2) выпускает компания *Monra Forestal* (Испания) [6].

ENFO 2000 имеет запатентованный режущий механизм гильотинного типа (рис.3). Вместо классической цепной пилы установлены два ножа в форме полумесяца, которые на этапе резки под воздействием гидропривода идут по направлению друг к другу. Это своего рода две гильотины, но только движущиеся навстречу друг другу.



Рис. 1. Пакетировщик отходов *Slash Bundler 1190E* (фото «John Deere Forestry»)



Рис. 2. Пакетирующая установка *ENFO 2000* на базе форвардера *Valmet-860.3* (фото *Monra Forestal*)



Рис. 3. Режущий механизм гильотинного типа пакетирующей установки *ENFO 2000* (фото *Monra Forestal*)



Рис. 4. Пакетирующий модуль *WoodPac* на базе форвардера *Valmet* (фото «Komatsu forest»)

щиеся в горизонтальной плоскости под усилием гидропривода [3, 6].

Пакетировщик лесосечных отходов *Valmet Woodpac* (рис. 4) имеет совсем другой принцип прессования. В основе конструкции пакетирующего устройства лежит продольная прессовочная камера с верхней загрузкой лесосечных отходов. Прессование происходит по циклическому принципу. Все лесосечные отходы по мере поступления в сминатель скручиваются системой вальцевания в один тюк продольной цилиндрической формы и обвязываются веревкой [3]. Такая установка монтируется практически на любом форвардере *Valmet* с мощностью силового агрегата от 90 л.с. для привода рабочих механизмов гидросистемы с давлением в 28–32 МПа. Существенным достоинством *Valmet Woodpac* является возможность быстрого съема паке-

тирующего модуля и переход в режиме работы форвардера.

Повышение спроса на биомассу из лесов привело на рынке к поиску новых реше-



Рис. 5. Пакетирование лесосечных отходов *Rogbico GTK 5100* на придорожном складе (фото *Rogbico AB*)



Рис. 6. Пресс *Flexus Tornado*, установленный на форвардере для прессования и обвязки лесосечных отходов в тюки цилиндрической формы (фото *Flexus Balasystem AB*)



Рис. 7. Формирование пакета топливной древесины пресс-пакетировщиком *Fixteri FX-15a* (фото *Fixteri Oy*) [10]



а



б

Рис. 8. Сформированные и упакованные пакеты *Fixteri*: а – пакеты балансовой древесины; б – пакеты топливной древесины

ний для экономически эффективных методов сбора лесосечных отходов для топлива и доставки их из леса конечным пользователям.

В настоящее время пакетирование отходов происходит непосредственно на делянке. Альтернатива – сбор и транспортировка отходов на придорожный склад и их пакетирование.

Новая машина для пакетирования лесосечных отходов была разработана *Rogbico AB* (Швеция) и продается *Allan Bruks AB* [7]. Пакетирующая установка, которая монтируется на шасси грузового автомобиля и питается от гидравлики грузовика, выпускается в двух модификациях: *GTK 4400*, которая производит пакеты в длину 4,4 м, и *GTK 5100* (рис. 5), которая производит пакеты длиной 5,1 м. Как видно на рис. 5, современные паке-

тирующие установки позволяют успешно работать не только на лесосеке, но и у дороги. Такая мобильная пакетирующая установка повышает эффективность функционирования технологической цепочки при сборе и пакетировании лесосечных отходов, особенно в условиях небольших по площади и разрозненных лесосеках.

Согласно информации от производителя [7], машина производит 17–22 пакетов/час в зависимости от материала отходов. Вес пакета от 800 до 1000 кг, диаметр 0,8 м, плотность 285 кг/м³. Древесная биомасса сжимается под давлением 95 т и скрепляется тремя пластиковыми лентами от *Signode AB*.

На рис. 6 показан пресс *Flexus Tornado* компании *Flexus Balasystem AB* (Швеция) [8], установленный на форвардере. Валковый мо-

Параметры пакетов (тюков), полученных различными пакетирующими установками

Параметры	<i>John Deere 1190E</i>	<i>Fixteri baler</i>	<i>ENFO 2000</i>	<i>Flexus Tornado</i>	<i>Rogbico GTK 5100</i>
Длина, см	240–320	260–270	240–300	135	510
Диаметр, см	50–80	80	60–80	125	до 80
Вес, кг	300–800	300–450	400–600	300–350	800–1000
Метод обвязки	сизальская веревка	сизальская веревка (пластиковая сеть)	сизальская веревка	сетка	пластиковые ленты, шириной 15 мм, толщиной 1 мм
Эффективность работы, пакетов/ч	20–30	12–25	20–25	20–25	17–22

бильный пресс *Flexus Tornado* предназначен для прессования и оборачивания специальной сеткой (пленкой) лесосечных отходов в тюки цилиндрической формы. Круглая форма и степень сжатия тюков обеспечивает снижение транспортных расходов обычными транспортными средствами с лесосеки на предприятия по производству энергии.

Традиционные способы заготовки и переработки тонкомерной древесины в лесах при проведении рубок ухода довольно трудоемки. Для сокращения затрат при заготовке и транспортировке тонкомера компанией *Fixteri Oy* был разработан пресс-пакетировщик *Fixteri* [9, 10], который имеет непрерывный принцип работы, фазы связывания и сжатия облегчают обработку сырьевых материалов, предназначенных для различных целей применения. Пресс-пакетировщик может быть установлен на разных базовых лесных машинах ведущих производителей.

Валочно-упаковочная машина (рис. 7) состоит из базовой машины, аккумулирующей валочной головки и пакетирующего агрегата *Fixteri FX-15a*. Процесс работы машины заключается в срезании маломерных деревьев и насаждений, подаче их в пакетирующее устройство с целью формирования плотных пакетов (энергетической или балансовой) древесины. Производительность машины зависит от характеристик вырубемых деревьев и их плотности на гектаре. Ее целесообразно применять при расчистке дорог, рубок в лесопарках, рубок ухода за лесами и др. По данным производителя [10], наиболее оптимальной работа пресс-пакетировщика *Fixteri* отмечена при проведении первых прореживаний.

Исходя из структуры запасов леса на корню и рыночного спроса, пакеты могут быть направлены исключительно для энергетического использования или целлюлозно-бумажного производства (рис. 8). Материал для обвязки тюков выбирается в зависимости от конечного места использования. Объем пакета (тюка) около 0,5 м³ длиной 2,6–2,7 м.

Компьютеризированная система обеспечивает настройку параметров пресс-пакетировщика, а также информацию о работе и объемам производства. Пресс-пакетировщик *Fixteri* автоматически измеряет и регистрирует вес каждого тюка до того, как он упадет на землю, что означает учет собранного дровостоя при заготовке. Это невозможно при использовании любого другого способа заготовки топливной древесины.

Пресс *Fixteri* улучшает качество древесного сырья путем разрушения поверхности ствола дерева, которая помогает ускорить процесс сушки, в фазе удаления сучьев валики подачи пресс-пакетировщика механическим путем возвращают хвою и листву на землю как питательное вещество – это два очевидных преимущества, что альтернативные методы не предлагают.

Библиографический список

1. Kärhä K. Supply Chains and Machinery in the Production of Forest Chips in Finland. In: Savolainen, M. (Ed.). Book of Proceedings. Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 3rd–6th September 2007, Juvdskylä Paviļjonki, Finland. Finbio Publications 36: 367–374.
2. Kärhä K. Supply chains of forest chip production in Finland [Электронный ресурс] / Metsäteho, 2009. URL: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains.pdf (Дата обращения: 18.04.2013).

3. Ожго В. Чистильщики лесосек [Электронный ресурс] // Спецтехника, 2011. URL: <http://spectechnika.com> (Дата обращения: 20.12.2013).
4. Серия «Е» – инновационная линейка оборудования от John Deere // ЛесПромИнформ. – № 7 (73). – 2010. – С.66–67
5. World premiere: New slash bundler from John Deere [Электронный ресурс] / Elmia, 2010. – URL: <http://www.elmia.se/de/WB/Press/Fair-News> (Дата обращения: 20.12.2013).
6. Global Web-сайт Monra Forestal. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.monraforestal.com> (Дата обращения: 20.12.2013).
7. Пакетирующая установка Rogbico GTK 5100. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.allanbruks.se/en/produkter/buntning/index.php> (Дата обращения: 20.12.2013).
8. Global Web-сайт Flexus Balasystem AB. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.flexus.su> (Дата обращения: 20.12.2013).
9. Kärhä K., Laitila J., Jylhä P., Nuutinen Y., Keskinen S. Kokopuun paalaus -tuotantoketjuntuottavuus ja kustannukset. [Электронный ресурс]. URL: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_211_Kokopuun_paalaus_tuotantoketjun_tuottavuus_ja_kustannukset_kk.pdf (Дата обращения: 20.12.2013).
10. Global Web-сайт Fixteri Oy. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fixteri.fi> (Дата обращения: 20.12.2013).

MODERN MACHINES AND EQUIPMENT FOR BUNCHERS LOGGING RESIDUES AND FOREST THINNERS WOOD

Matrosov A.V. (MSFU), Bykovskiy M.A. (MSFU)

matrosov@mgul.ac.ru; bykovskiy@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow region, Russia

The article gives an overview of modern technologies bundling and machines for harvesting waste to energy use of wood biomass. Features of the use bunchers installations for logging residues and their main characteristics.

Key words: sorting technology, log, chip, productivity, biomass harvesting, logging residues

References

1. Kärhä K. Supply Chains and Machinery in the Production of Forest Chips in Finland. In: Savolainen, M. (Ed.). Book of Proceedings. Bioenergy 2007, 3rd International Bioenergy Conference and Exhibition, 3rd–6th September 2007, Juuviskylä Paviljonki, Finland. Finbio Publications 36: 367–374.
2. Kärhä K. Supply chains of forest chip production in Finland [Electronic resource] / Metsäteho, 2009. URL: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/tiedote/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains.pdf (Data obrashcheniya: 18.04.2013).
3. Ozhgo V. *Chistilshchiki lesosek* [Cleaners cutting areas][Electronic resource]. Spetstekhnika, 2011. URL: <http://spectechnika.com> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
4. *Seriya «E» – innovatsionnaya lineyka oborudovaniya ot John Deere* [Seriya «E» – innovatsionnaya lineyka oborudovaniya ot John Deere]. LesPromInform. № 7 (73). 2010. pp. 66-67
5. World premiere: New slash bundler from John Deere [Electronic resource] / Yelmia, 2010. – URL: <http://www.elmia.se/de/WB/Press/Fair-News> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
6. Global Web-cayt Monra Forestal. [Electronic resource]. URL: <http://www.monraforestal.com> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
7. *Paketiruyushchaya ustanovka Rogbico GTK 5100* [Buncher setting Rogbico GTK 5100]. [Electronic resource]. URL: <http://www.allanbruks.se/en/produkter/buntning/index.php> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
8. Global Web-cayt Flexus Balasystem AB. [Electronic resource]. URL: <http://www.flexus.su> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
9. Kärhä K., Laitila J., Jylhä P., Nuutinen Y., Keskinen S. Kokopuun paalaus -tuotantoketjuntuottavuus ja kustannukset. [Electronic resource]. URL: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_211_Kokopuun_paalaus_tuotantoketjun_tuottavuus_ja_kustannukset_kk.pdf (Data obrashcheniya: 20.12.2013).
10. Global Web-cayt Fixteri Oy. [Electronic resource]. URL: <http://www.fixteri.fi> (Data obrashcheniya: 20.12.2013).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЛЕСОСЕК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ МАШИН МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

А.В. ЛАПТЕВ, зав. лаб. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ

laptev@mgul.ac.ru

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

В статье приведены наиболее оптимальные технологии выполнения выборочных рубок с применением харвестеров и форвардеров. Приведены сравнительные характеристики различных технологических схем разработки лесосек и рекомендации по их применению для различных условий.

Ключевые слова: технологический коридор, волок, харвестер, форвардер.

Лесопромышленный комплекс Центрального федерального округа (ЦФО) характеризуется высоким и устойчивым спросом на древесину. В то же время, входящие в него области относятся к зоне малолесных и среднелесных районов. К тому же эксплуатационные запасы лесных ресурсов в наиболее населенных и близких к промышленным центрам частях региона истощены и обесценены. Все это делает очевидной необходимость определенной системы лесопользования, включающей виды рубок лесонасаждений, ориентированных на получение хозяйственно ценных, высокопродуктивных и здоровых лесов и в то же время обеспечивающих постоянное и равномерное снабжение сырьем потребителей.

В настоящее время, согласно лесному законодательству, рубки лесных насаждений осуществляются в форме выборочных рубок и сплошных рубок. Истощение лесфонда в европейской части России привело к снижению объемов сплошных рубок, к снижению площади отводимых в рубку лесосек. Значительная часть лесов (около 42 %) отнесена к категории защитных лесов, где такая форма рубки, как сплошная – запрещена законодательно [5]. В таких условиях одним из средств, обеспечивающих поддержание непрерывности лесопользования и выполнения лесом необходимых средообразующих функций, рационального использования древесины для удовлетворения растущих потребностей производства и ускорения воспроизводства леса при минимальных затратах являются рубки лесных насаждений в форме выборочных ру-

бок. К выборочным рубкам относятся рубки, при которых на соответствующих землях или земельных участках вырубается часть деревьев и кустарников определенного возраста, размера, качества и состояния [2]. В форме выборочных рубок осуществляются рубки ухода за лесом (осветления, прочистки, прореживания, проходные рубки, рубки обновления, рубки переформирования) и различные виды выборочных рубок спелых и перестойных насаждений (добровольно-выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные, чересполосные постепенные и др.).

Достоинством выборочной формы рубок, с лесохозяйственной точки зрения, является то, что за счет удаления отдельных деревьев или групп деревьев образуются открытые участки небольшой площади, сопоставимые по размерам с окнами вывалов в естественном лесу, что имитирует естественную динамику развития древостоя и сходный с естественным процесс смены поколений деревьев. Благодаря малым размерам вырубаемых участков эти рубки не приводят ни к существенной почвенной эрозии, ни к заболачиванию, ни к формированию значительных площадей, занятых только пионерными видами деревьев и создаются благоприятные условия для естественного возобновления хвойных деревьев. [8]. Таким образом, выборочные формы рубок – это не просто изъятие деревьев из древостоев, а осознанный процесс создания лучших условий роста для оставшихся на корню главных древесных пород за счет удаления не соответствующих условиям среды древесных пород.

С другой стороны, это позволит вовлечь в хозяйственную деятельность, связанную с получением древесины, лесонасаждения разных возрастов, в том числе и не достигших возраста рубки. Сейчас нет необходимости ждать 100–120 лет, чтобы вырос лес. Примером могут служить зарубежные (в первую очередь скандинавские) методы лесозаготовок, которые базируются на том, что до момента достижения возраста рубки делаются 2–4 промежуточные рубки в выборочной форме. Конечно, древесина от таких рубок характеризуется в большинстве случаев как тонкомерная и низкокачественная, но в настоящее время благодаря современным технологиям деревообработки из древесины различных пород, различных качественных и размерных характеристик можно делать деревянные конструкции, пользующиеся устойчивым спросом. Древесина, не востребованная потребителями из сферы деревообработки, может быть использована для нужд биоэнергетики. Несмотря на все эти положительные моменты, выборочные формы рубок проводятся пока в ограниченных объемах, потому что требуется высокая квалификация исполнителей, затруднено применение комплексной механизации основных работ, следствием чего является повышение себестоимости заготовки древесины.

При проведении таких рубок в лесонасаждениях Центрального федерального округа предпочтение отдается сортиментной технологии [6] как наиболее отвечающей лесоводственным и экологическим требованиям и нормативам и экономическим требованиям. Применению сортиментной технологии способствует и достаточно развитая сеть автомобильных дорог общего пользования, связывающая потребителей с поставщиком.

Сортиментная технология в настоящее время базируется на системах машин, состоящих как из традиционных технических средств – бензиномоторных пил и трелевочных тракторов – так и из таких современных многооперационных машин, как валочно-сучкорезно-раскряжевные машины – харвестеры и погрузочно-транспортные машины – форвардеры. Однако харвестеры

и форвардеры пока еще не нашли широкого распространения при выполнении рубок в выборочной форме по причине недостаточного объема проведенных исследований по обоснованию выбора технологии лесосечных работ, хотя перспективность их применения не вызывает сомнения. В отношении выборочных рубок многооперационные машины следует рассматривать не только как механизированные средства заготовки древесины, но и как элементы процесса механизированного способа формирования древостоев. Эффективная эксплуатация многооперационных лесозаготовительных машин требует детального учета всех разноплановых факторов: природно-производственных условий и параметров предмета труда, способов и технологий рубок, организации производственного процесса.

Применение любых лесозаготовительных машин для выполнения рабочих операций, таких как валка, обрезка сучьев, раскряжевка, трелевка, при выборочных рубках подразумевает перемещение этих машин по площади лесосеки. Для этого необходимо проектирование и создание технологической сети волоков, основа которой – система технологических коридоров (волоков) и лесопогрузочных пунктов. Критериями, характеризующими технологическую сеть, являются ширина, протяженность, площадь технологических коридоров и расстояния между ними. Ширина технологических коридоров (волоков) определяется лесохозяйственными требованиями, требованиями техники безопасности, габаритами применяемой техники и составляет 2–5 м. Расстояние между волоками (технологическими коридорами) и их ширина зависят от характера древостоя (в частности, определяются высотой вырубаемых деревьев), рельефа местности, применяемой техники и средств механизации и т.п. с тем, чтобы в максимальной степени были обеспечены лесоводственные требования и требования техники безопасности при выполнении лесосечных работ. Площадь под технологическими коридорами (волоками) регламентируется законодательно [7] и для выборочной формы рубок составляет 15 %. Лесоводы

всегда ревностно относились к прокладке волоков при выполнении выборочных рубок, рассматривая их как перевод покрытых лесом площадей в непокрытые. Одним из них является процесс создания лучших условий роста для оставшихся на корню главных древесных пород за счет удаления не соответствующих условиям среды древесных пород. При этом образовавшиеся волокнистые выполняют биологические функции, а именно: солнечный луч, достигая поверхности почвы, прогревает ее и тем самым делает более доступными питательные вещества почвы для деревьев уже в начале вегетационного периода, когда еще на контрольных участках, не тронутых изреживанием, лежит снег. Кроме непосредственных функций, волокнистые используют как противопожарные, защитные и постепенно улучшаемые хозяйственные дороги, а также для доставки к объектам рабочих, организованного снабжения, машин и механизмов, горюче-смазочных и других необходимых материалов. По ним удобно осуществлять оперативный технический контроль за проводимыми мероприятиями на любых участках независимо от их расположения [1].

Расстояния между технологическими коридорами формируют такой важный технологический элемент лесосеки, как ширина пасеки. Этот показатель важен для оценки лесоводческих и экономических аспектов технологических вариантов. В настоящее время в зависимости от ширины пасек выделяют следующие основные технологические варианты лесосечных работ [3].

Узкопосечные технологии. Ширина лесной полосы между технологическими коридорами (ширина пасеки) – 16–24 м, что составляет 0,5–1 высоты деревьев в возрасте спелости. Площадь, занимаемая технологическими коридорами, – 15–25 % наиболее распространена для сплошных рубок и имеет ограниченное применение для выборочной формы рубок, так как площадь волоков превышает ограничение в 15 %, закрепленное в лесохозяйственном законодательстве.

Среднепосечные технологии. Ширина пасек в пределах одной-двух высот деревьев, что составляет 24–64 м. Площадь под воло-

ками (технологическими коридорами) – 10–15 %. Они наиболее отвечают лесоводственным требованиям и широко применяются в России и зарубежных странах. Например, в Финляндии при выборочных рубках ширину волоков принимают равной 4 м, расстояние между осями волоков – 30 м. Такие технологические параметры лесосеки рассматриваются как разумный компромисс между требованиями к сохранению лесной среды и технико-экономическими возможностями заготовки древесины. Этим размерные показатели соответствуют и российским «Правилам заготовки древесины», т.к. площадь волоков составляет 13 %.

Широкопосечные технологии. Ширина пасеки превышает двойную высоту деревьев в возрасте спелости и составляет 65–120 м. Площадь под волоками – 3–6 %. Данная технология требует применения дополнительных специализированных технических средств (лебедок), что значительно усложняет и удорожает технологический процесс.

Приведенная классификация технологий основана только на ширине пасеки, разрабатываемой за один прием. Определяющим для технологии разработки лесосек при выборочных рубках является система машин и порядок выполнения рабочих операций на определенных элементах лесосеки. На основании этих критериев можно выделить следующие технологии выполнения выборочных рубок.

Первая технология основана на выполнении выборочной рубки сортиментным способом с использованием бензиномоторных пил и погрузочно-транспортной машины (форвардера) и относится к среднепосечной технологии. Для выполнения работ лесосека разбивается на пасеки. В свою очередь, пасеку условно разделяют на пять полос (рис.1). Первая полоса – это технологический коридор (волок) шириной 3–5 м в зависимости от габаритов применяемой техники и возраста лесонасаждения [5].

Две сортиментные полосы, непосредственно примыкающие к технологическому коридору (волоку) и предназначенные для размещения заготовленных сортиментов, в зоне действия манипулятора погрузочно-транспор-

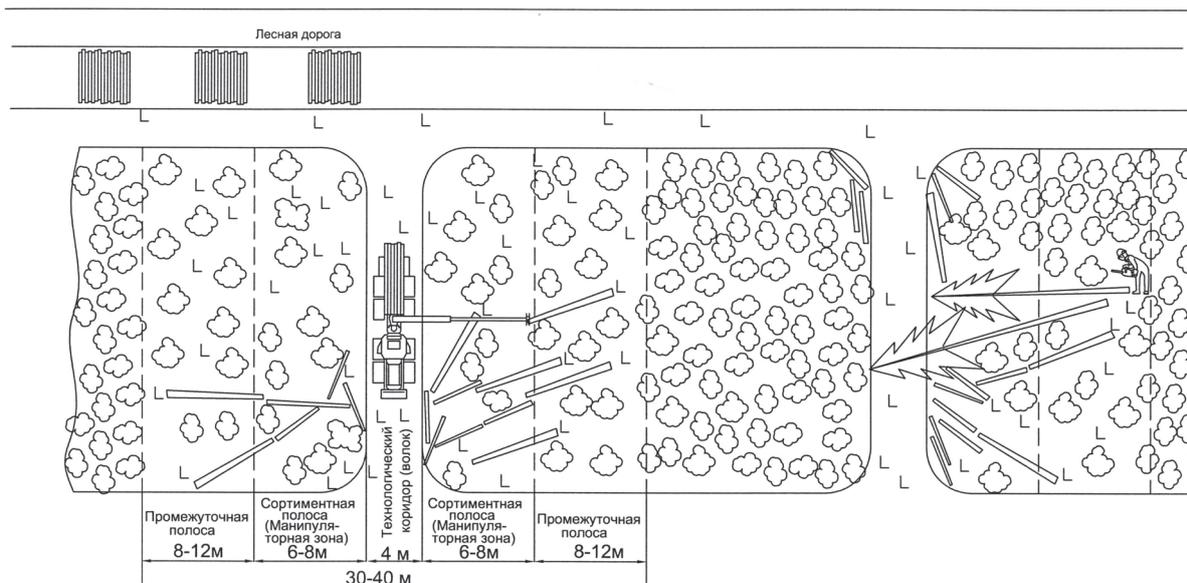


Рис. 1. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием бензиномоторных пил и форвардера

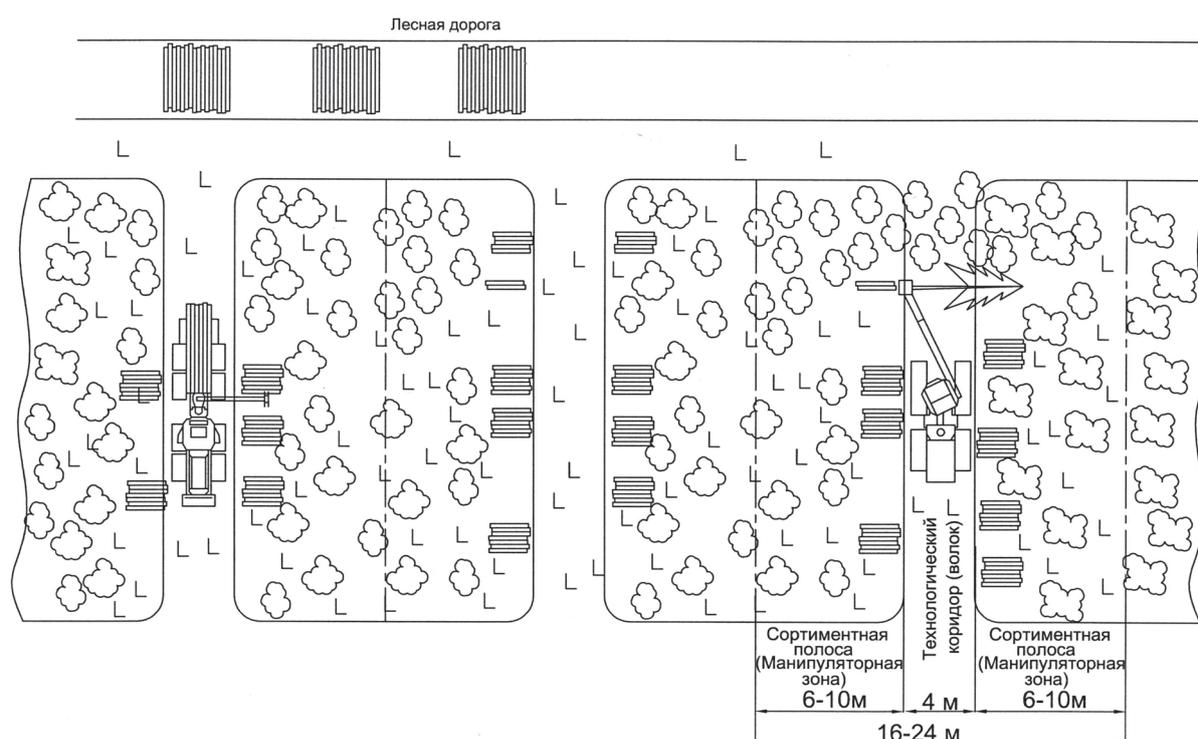


Рис. 2. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием харвестера и форвардера

тной машины. Ширина их колеблется от 6–8 м и зависит от вылета манипулятора (в зарубежных публикациях их так и называют – манипуляторные зоны) и количества подлежащих складированию сортиментов, т.е. интенсивности рубки. Две полосы, наиболее удаленные от волока – промежуточные полосы, шириной

до 12 м. При этом ширина пасеки достигает 40 м. Разработку пасеки начинают со сплошной валки деревьев на волоке, затем осуществляется обрезка сучьев и раскряжевка. Мешающие проезду форвардера сортименты откатывают к границе волока на сортиментную полосу. Когда технологический коридор разработан на

20–25 м, на пасеках осуществляется выборочная валка деревьев. На сортиментной полосе деревья валят так, чтобы максимально приблизить сучья к технологическому коридору. На промежуточной полосе деревья валят таким образом, чтобы не повредить оставляемые на корню деревья и с таким расчетом, чтобы сортименты разместить вблизи сортиментной полосы (т.е. в зоне досягаемости манипулятора), а сучья, образующиеся при обрезке кроны, вблизи технологического коридора. Концентрация сучьев на технологическом коридоре и в непосредственной близости от него позволяет укрепить волок для улучшения проходимости погрузочно-транспортной машины и защитить верхнюю корневую часть деревьев, оставленных для доращивания, от повреждения. Такие повреждения в осиновых и еловых насаждениях нередко вызывают поражение деревьев корневой губкой. Сбор, погрузка и транспортировка сортиментов к лесовозной дороге осуществляется при помощи форвардера. При сборе сортиментов и в процессе их разгрузки может производиться частичная подсортировка. Штабеля сортиментов складывают на свободных от леса участках в придорожной зоне. Данная технология применима для всех видов лесосечных работ, выполняемых в форме выборочных рубок и для насаждений различных возрастов (в том числе и не достигших возраста главной рубки). К недостаткам данной технологии следует отнести то, что основные операции, такие как валка, обрезка сучьев и раскряжевка, выполняются вручную при помощи бензиномоторных пил, что приводит к большим затратам трудовых ресурсов.

В настоящее время все большее распространение получают технологии проведения сплошных и выборочных рубок с использованием харвестеров и форвардеров. На рис. 2 приведена узкопасечная технология разработки лесосеки при выполнении выборочной рубки. Данная схема также широко применяется для выполнения сплошной рубки.

Лесосека разрабатывается пасеками шириной 1,5–2 величины вылета манипулятора харвестера. Величина вылета определяется исходя их технических характеристик применяемого манипулятора, весовых характеристик

применяемой харвестерной головки и весовых характеристик деревьев, назначенных в рубку [4]. Харвестер движется по намеченному визиру, убирая с пути следования (волока) деревья, мешающие движению, и одновременно выбирает деревья с полупасек. Валка деревьев осуществляется таким образом, чтобы уменьшить повреждения оставленных на корню деревьев. За сохранность оставляемого на пасеке древостоя отвечает непосредственно оператор харвестера, который определяет, какие деревья подлежат выборке и каким образом валить их после срезания. Технологический коридор волоков при этой технологии может быть как прямолинейным, что упрощает трелевку, так и непрямолинейным вследствие того, что харвестер объезжает куртины деревьев хозяйственно ценных пород, оставленных на доращивание. Форвардер движется по следам харвестера, осуществляет погрузку выпиленных сортиментов и транспортировку их к лесовозной дороге. Эта технология отличается высокой степенью механизации и высокой производительностью. Однако при данной технологии площадь, занимаемая волоками, составляет 17–22 % от площади лесосеки. Действующие лесоводственные нормативы ограничивают площадь, занимаемую волоками при сплошной рубке 20–30 % от площади лесосеки, а при выборочной – 15 %. Это делает данную технологию применимой для сплошных рубок и ограничивает применение для выборочных.

Для уменьшения площади под трелевочными волоками необходимо увеличение расстояния между ними, что соответственно повлечет увеличение ширины пасеки. При работе харвестера ширина пасеки определяется эффективным вылетом манипулятора. У современных моделей харвестера вылет манипулятора ограничивается 12 м и ширина пасеки, разрабатываемая харвестером, не может превышать 24 м, что является узкопасечной технологией с перечисленными недостатками при выборочных рубках. Для увеличения расстояния между трелевочными волоками могут быть применены среднепасечные технологии разработки лесосек с одной или двумя промежуточными полосами между пасечными волоками.

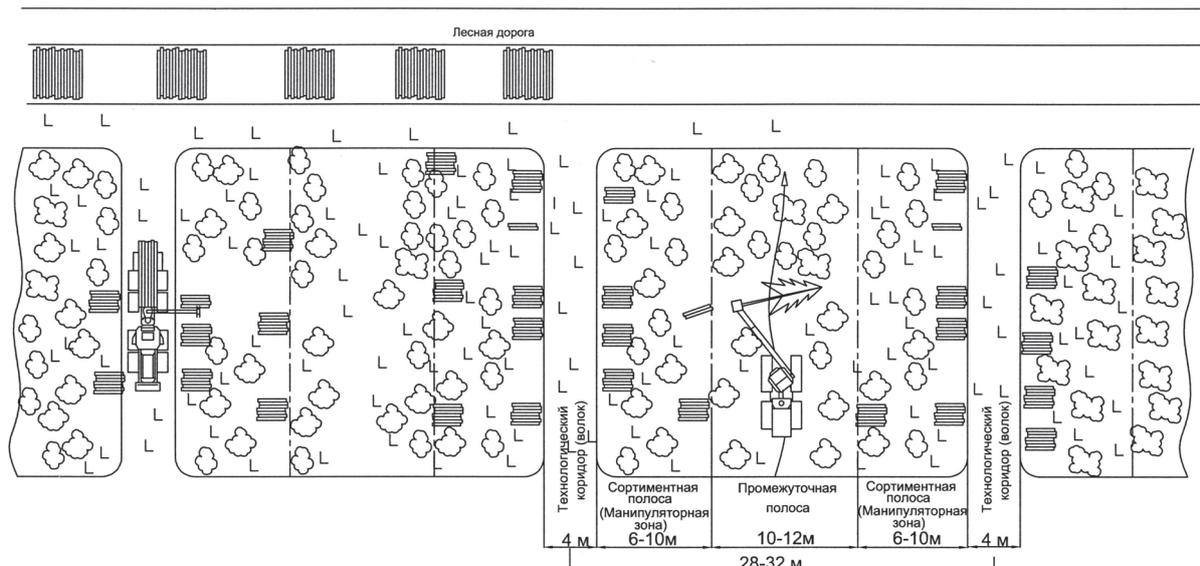


Рис. 3. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с одной промежуточной полосой с использованием харвестера и форвардера

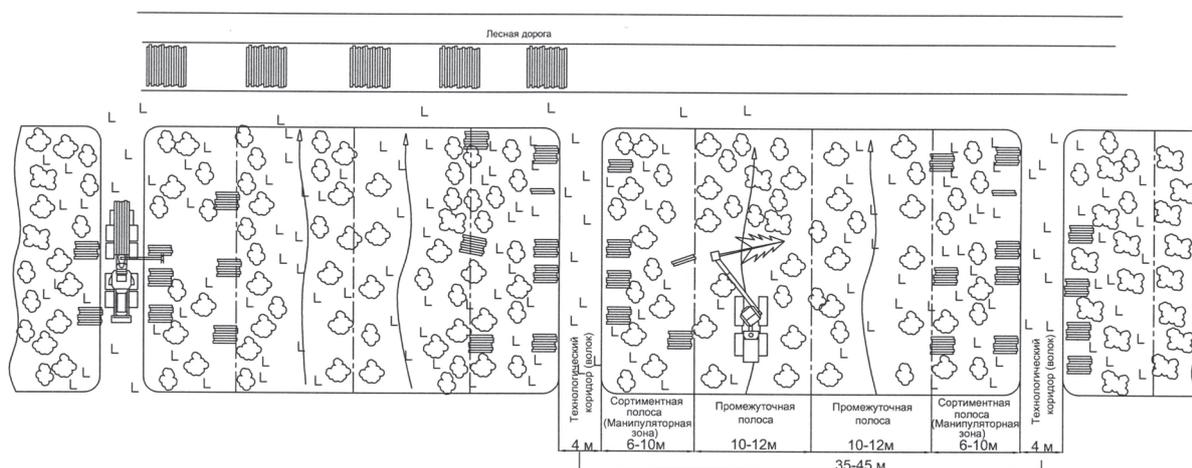


Рис. 4. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с двумя промежуточными полосами с использованием харвестера и форвардера

Вариант с одной промежуточной полосой (рис.3) предусматривает размещение трелевочных волоков на расстоянии 3–3,5 эффективных вылета манипулятора (т.е. 28–32 м). Между волоками и прилегающими к ним полупасеками (сортиментными полосами) располагается промежуточная полоса [3].

При работе по этой технологии харвестер после разрубки смежных волоков и прилегающих полупасек разрабатывает промежуточную полосу. При этом выпиливаемые сортименты укладываются по обе стороны на ближайшие полупасеки (сортиментные полосы), чтобы они были доступны для манипулятора форвардера при движении по трелевочному волоку. При

данной технологии площадь, занимаемая волоками, составляет 12–14 % от площади лесосеки, что приемлемо для выборочных рубок.

Технология с двумя промежуточными полосами (рис. 4) позволяет расположить трелевочные волока на расстоянии 4–5 эффективных вылетов манипулятора (т.е. 35–45 м), что позволяет уменьшить площадь, занимаемую волоками до 9–11 %. Отличием в технологическом процессе от технологии с одной промежуточной полосой является то, что харвестер укладывает сортименты на одну сторону, т.е. на ближайшую сортиментную полосу.

Среднепасечные технологии с одной и двумя промежуточными полосами при ис-

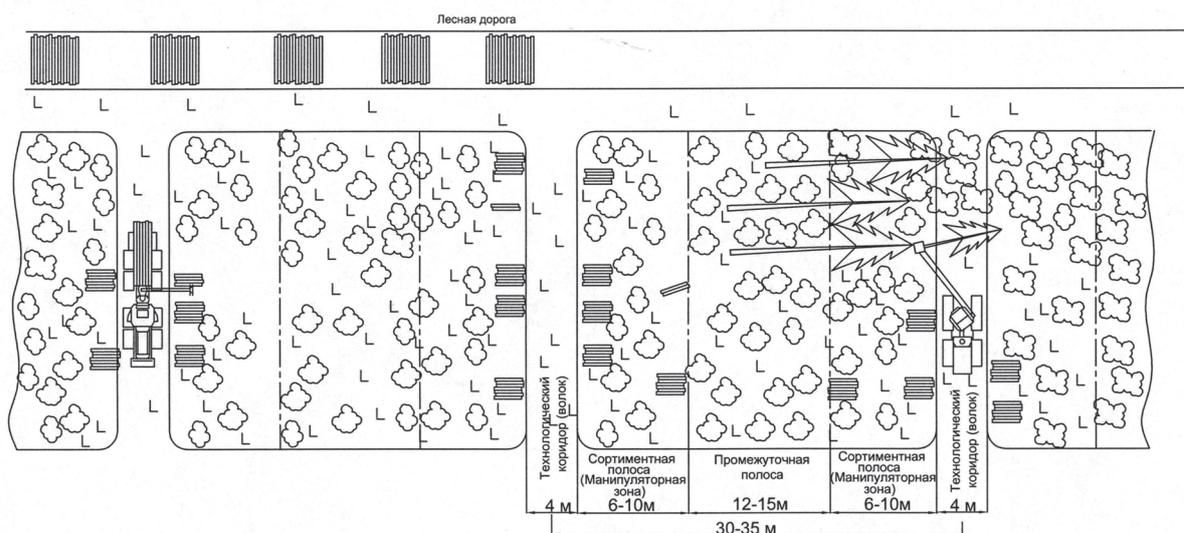


Рис. 5. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с использованием харвестера и форвардера и разработки промежуточной полосы при помощи бензопилы

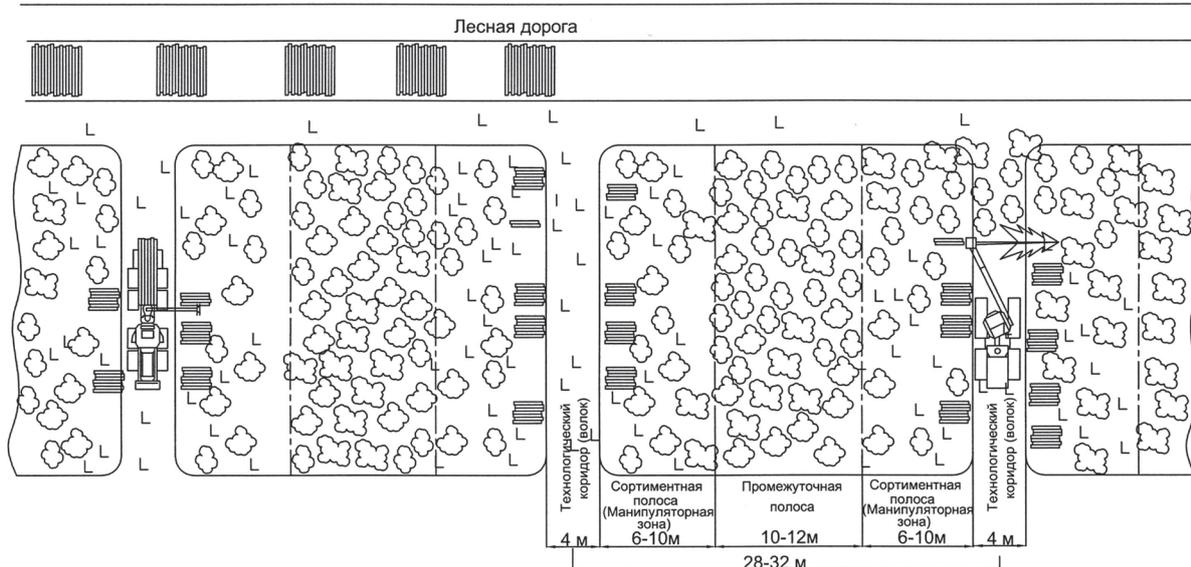


Рис. 6. Схема разработки лесосеки при выполнении рубки в выборочной форме с промежуточной неразработываемой полосой

пользовании харвестера и форвардера следует применять в насаждениях, где выборочные рубки уже проводились, древостой достаточно разрежен, что обеспечивает беспрепятственное прохождение харвестера между деревьями при движении по промежуточной полосе.

Разновидностью технологии разработки лесосек с промежуточной полосой (рис. 5) является технология, при которой деревья на промежуточной полосе валятся вальщиком с бензиномоторной пилой в просветы между деревьями на свободные места вершинами в сторону размеченного волока. После того как

деревья промежуточной полосы будут свалены, харвестер, двигаясь по волоку, обрабатывает деревья на полупасаках и производит дообработку деревьев, поваленных с промежуточной полосы. Эта технология позволяет сочетать высокую производительность харвестерной заготовки и вместе с тем в более щадящем режиме разрабатывать промежуточную полосу. Однако это приводит к увеличению ручного труда в тяжелых условиях. Площадь, занимаемая волоками, 11–13 % от площади лесосеки, что соответствует лесоводственным нормативам.

В некоторых случаях при использовании на выборочных рубках только харвестера и форвардера для того, чтобы их площадь волоков не превышала 15 % от площади лесосеки, может быть применена следующая технология. Расстояния между волоками размечают таким образом, чтобы между сортиментными полосами (манипуляторными зонами) смежных пазов размещалась промежуточная полоса шириной 12–15 м. При этом образующаяся промежуточная полоса между пазками остается неразработанной до следующего приема рубок (рис. 6). При следующем приеме прореживания по этой полосе намечается волок для перемещения харвестера и форвардера. Данный способ не может быть использован для выборочных санитарных рубок, когда велика вероятность того, что на неразработанной полосе останутся деревья, пораженные вредителями и подлежащие вырубке.

Приведенные технологии свидетельствуют о возможности широкого применения для проведения выборочных рубок таких многооперационных машин манипуляторного типа, как харвестеры и форвардеры. Это позволит снизить до минимума долю тяжелого ручного труда и обеспечить на высоком, полностью механизированном, уровне, высоко-

кую производительность с учетом всех лесоводственных требований.

Библиографический список

1. Атрохин В.Г. Формирование высокопродуктивных насаждений / В.Г. Атрохин. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 232 с.
2. Жуков А.В. Заготовка сортиментов на лесосеке / А.В. Жуков, И.К. Иевень, А.С. Федоренчик, Ю.И. Проворотов и др. – М.: Экология, 1993. – 312 с.
3. Желдак, В.И. Лесоводство: учебник. Ч. II. / В.И. Желдак – М.: ВНИИЛМ, 2004. – 200 с.
4. Лаптев, А.В. Параметры рабочей позиции многооперационной машины манипуляторного типа / А.В.Лаптев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1(93). – С. 85–91.
5. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации: [фед.закон: принят Государственной думой 8.11.06. Одобрен Советом Федерации 24.11.06 г. Федеральный закон № 201-ФЗ 4.12.06 г. министерство юстиции Р.Ф]. – М.: Маркетинг, 2007. – 25 с.
6. Матросов, А.В. Обоснование системы лесосечных машин для сортиментного метода лесозаготовок (на примере предприятий Центрального федерального округа РФ): дисс... канд. техн. наук / А.В. Матросов. – М.: МГУЛ, 2008. – 22 с.
7. Правила заготовки древесины: Утв. приказом Рослесхоза от 01.08.2011 г. № 337
8. Ярошенко, А.Ю. От сплошных рубок к выборочным / А.Ю.Ярошенко // ЛесПромИнформ № 3(85), 2012. – С. 18–21.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT SCHEME IN CUTTING AREAS WHEN PERFORMING SELECTIVE LOGGING USING MULTIOPERATIONAL MACHINES MANIPULATOR TYPE

Laptev A.V. (MSFU)

laptev@mgul.ac.ru

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

This article contains the most optimal technology implementation of selective logging with the use of harvesters and forwarders. Comparative characteristics of various technological schemes for the development of cutting areas and recommendations on their use for various conditions.

Keywords: mechnology corridor, trails, harvester, forwarder

References

1. Atrokhin V.G. *Formirovaniye vysoko-produktivnykh nasazhdeniy* [Formation of highly productive plantations]. Moscow. Lesn. Prom-st [Timber industry], 1980. 232 p.
2. Zhukov A.V., Iyeven I.K., Fedorenchik A.S., Provorotov Yu.I. i dr. *Zagotovka sortimentov na lesoseke* [Harvesting of logs at felling]. Moscow. Ekologiya, 1993. 312 p.
3. Zheldak, V.I. *Lesovodstvo: Uchebnik* [Arboriculture: Tutorial]. P. II. Moscow. VNIILM, 2004. 200 p.
4. Laptev A.V. *Parametry rabochey pozitsii mnogooperatsionnoy mashiny manipulyatornogo tipa* [Parameters working position multistage machine manipulator type]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013. 1(93). pp. 85-91.
5. *Rossiyskaya Federatsiya. Zakony. Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii: [fed.zakon: prinyat Gosudarstvennoy dumoy 8.11.06. Odobren Sovetom Federatsii 24.11.06 g. Federalnyy zakon № 201-F3 4.12.06 g. ministerstvo yustitsii R.F]*

[Russian Federation . Laws . Forest Code of the Russian Federation [fed.zakon : 11/08/06 adopted by the State Duma . Federation Council approved 24.11.06 , the Federal Law № 201 -F3 , the Ministry of Justice 04/12/06 Fs]]. Moscow. Marketing, 2007. 25 p.

6. Matrosov A.V. *Obosnovaniye sistemy lesosechnykh mashin dlya sortimentnogo metotoda lesozagotovok (na primere predpriyatiy Tsentralnogo federalnogo okruga RF), diss... kand. tekhn.nauk* [Justification of logging machines metotoda CTL logging (on the example of the Central Federal District)]. MSFU. Moscow. 2008. 22 p.
7. *Pravila zagotovki drevesiny: Utv. prikazom Rosleskhoza ot 01.08.2011 g. № 337* [Terms timber : Approved . Order of Rosleskhoz from 01.08.2011 № 337].
8. Yaroshenko A.Yu. *Ot sploshnykh rubok k vyborochny* [From clearcutting to selective]. LesPromInform № 3(85). SPb.: Lesprominform, 2012. pp. 18-21.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ НА ЛЕСОСЕКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ

С.П. КАРПАЧЕВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Е.Н. ЩЕРБАКОВ, *доц. каф. древесиноведения МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Д.В. ШМЫРЕВ, *асп. каф. транспорта леса МГУЛ*

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru,
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
 141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье приводятся технологические схемы производства щепы на лесосеке в мягких контейнерах

Ключевые слова: лесосечные отходы, щепка, мягкие контейнеры.

В настоящей статье предлагаются некоторые технологические схемы производства щепы на лесосеке, предусматривающие использование мягких контейнеров общего назначения для хранения и транспортировки получаемой щепы. Некоторые подобные технологии уже рассматривались авторами ранее [2, 3].

Применение мягких контейнеров имеет целый ряд преимуществ: повышение производительности оборудования, улучшенная логистика, возможность применения водного транспорта и др.

Существенным ограничением применения предлагаемых технологий может явиться возникновение вынужденных простоев и снижение производительности рубительной машины вследствие ограниченного объема мягких контейнеров, необходимости затрат времени на их установку, упаковку и замену.

С целью снижения вынужденных простоев рубительной машины авторами статьи предлагается использование бункера-дозатора, установленного между подающим устройством и контейнером. Данный бункер

должен обеспечить непрерывную работу рубительной машины во время загрузки и упаковки контейнеров. Для упаковки каждого контейнера после заполнения дозатор бункера перекрывает подачу щепы на время упаковки и установки нового контейнера. В это время щепа накапливается в бункере. После установки нового контейнера под загрузку дозатор открывают, ссыпая щепу в контейнер, и цикл загрузки повторяется.

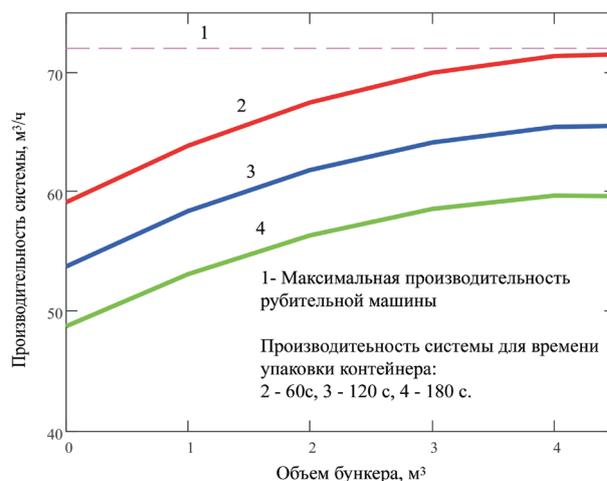


Рис. 1. Зависимость производительности технологического узла от объема бункера

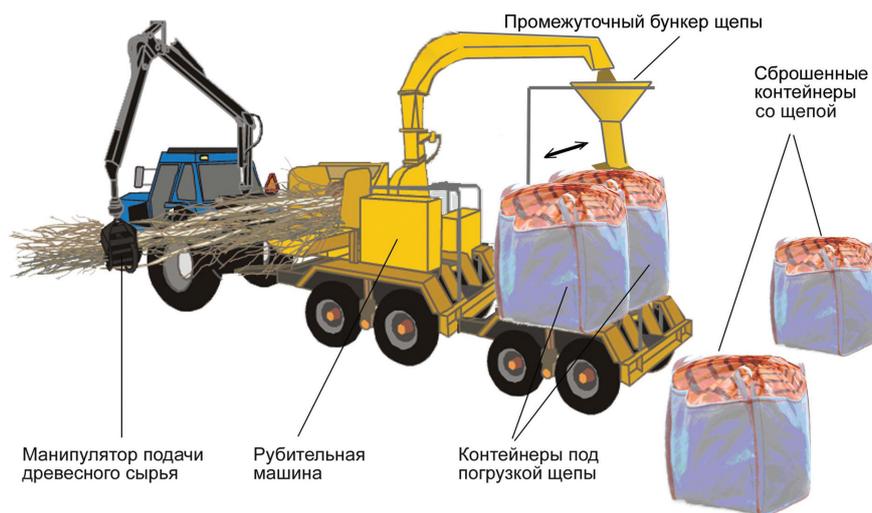


Рис. 2. Общий вид устройства для производства щепы



Рис. 3. Работа мобильной рубительной машины со сброской контейнеров на лесосеке

Предварительные исследования на математических моделях работы бункера-дозатора [6, 10] позволили установить зависимость производительности данного технологического узла от объема бункера.

По результатам экспериментов были построены кривые зависимости производительности технологического узла от объема бункера (рис. 1). Анализ полученной зависимости показал, что на производительность рубительной машины влияют объем бункера, среднее время цикла на установку контейнера под загрузку и среднее время цикла переработки древесины на щепу. С увеличением объема бункера производительность рубительной машины стремится к максимальной (теоретически возможная производительность рубительной машины – пунктирная ли-

ния на графиках).

Как видно из графика на рис. 1, постоянную загрузку рубительной машины может обеспечить бункер объемом не менее 4 м³ при минимально необходимом времени для упаковки загруженного контейнера объемом 10 м³, равном 1 мин. При увеличении затрат времени на упаковку объем бункера должен быть еще большим. Применение на практике бункеров и контейнеров таких размеров выглядит нецелесообразным из-за их громоздкости и высокой стоимости.

С целью повышения производительности рубительной машины с использованием бункера-дозатора и контейнеров приемлемых размеров предлагается снабдить рубительную машину специальным устройством – прицепом, на котором размещается бункер-дозатор

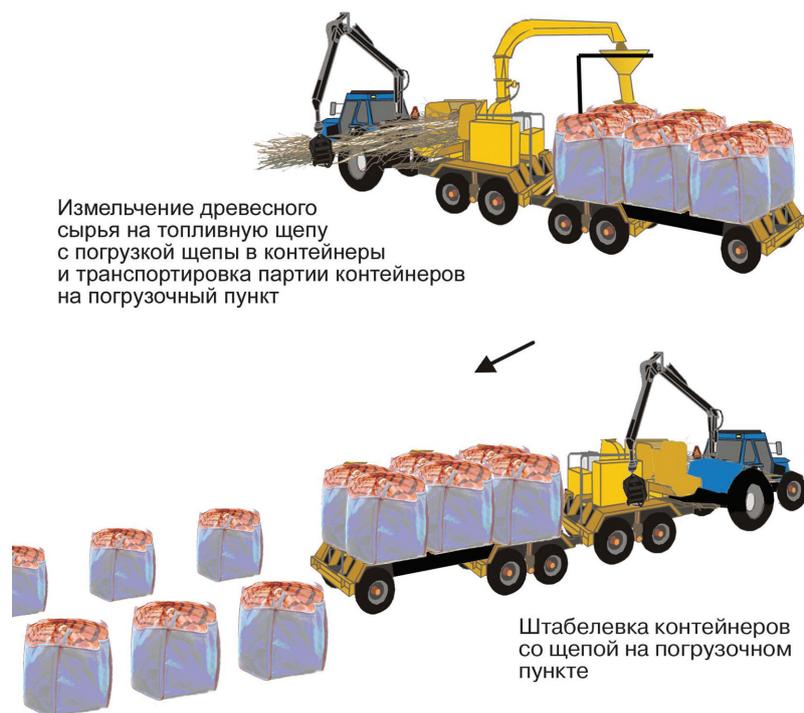


Рис. 4. Работа мобильной рубительной машины на лесосеке со сбросом контейнеров на погрузочной площадке



Рис. 5. Работа рубительной машины с заполнением контейнеров щепой и укладкой их на погрузочном пункте

и два или более контейнеров под загрузку. Контейнеры размещаются на площадках устройства с возможностью их наклона, что позволяет сбрасывать упакованные контейнеры на поверхность участка самосбросом. Бункер

выполнен с возможностью его перемещения вдоль контейнеров и снабжен гибким трубопроводом с дозатором.

Общий вид устройства представлен на рис. 2.

Предлагаемое устройство должно свести к минимуму простой рубительной машины во время заполнения контейнеров щепой.

На лесосеке возможны для применения несколько вариантов технологических схем производства щепы рубительной машины, оснащенной предлагаемым устройством. В основном эти технологии сводятся к трем.

1. Работа мобильной рубительной машины со сброской контейнеров на лесосеке (рис. 3)

Мобильная рубительная машина движется по волоку и манипулятором с захватом осуществляет подбор лесосечных отходов (или целых деревьев) и подает их к рубительному устройству. Полученная щепа подается в контейнер через бункер, который расположен на прицепе рубительной машины. После заполнения одного из контейнеров дозатор перекрывает поступление щепы в него и трубопровод от дозатора переводится к загрузочной горловине следующего порожнего контейнера. После этого дозатор открывается, и щепа, накопленная в бункере за этот промежуток времени, ссыпается в порожний контейнер. Пока порожний контейнер продолжает загружаться щепой, уже заполненный контейнер упаковывают, выгружают из прицепа и оставляют рядом с волоком. Мобильная рубительная машина в это время продолжает работать. На место выгруженного контейнера устанавливают порожний контейнер, и цикл загрузки повторяется.

Выгруженные контейнеры со щепой с помощью подборщика-транспортировщика собираются и транспортируются к погрузочной площадке, где они складываются. Затем автопоезд с манипулятором на погрузочной площадке производит погрузку контейнеров и вывоз их к потребителю.

2. Работа мобильной рубительной машины на лесосеке со сброской контейнеров на погрузочной площадке (рис. 4)

Эта технология отличается от предыдущей тем, что контейнеры заполняют щепой

и накапливают на самом устройстве-прицепе. После заполнения всех контейнеров щепой они доставляются вместе с мобильной рубительной машиной к погрузочной площадке и там выгружаются.

3. Работа рубительной машины на погрузочной площадке (рис. 5)

Особенность этой технологии заключается в том, что рубительная машина работает непосредственно на погрузочной площадке, а лесосечные отходы (или целые деревья) предварительно собирают с лесосеки и свозят в штабеля (кучи) к месту работы рубительной машины.

Результаты предварительного анализа приведенных технологических схем производства щепы на лесосеке с использованием мягких контейнеров позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение на загрузке щепы в контейнер бункера-дозатора обеспечивает постоянную загрузку рубительной машины, но объем бункера должен быть достаточно большим (от 4 м³).

2. Рассмотренный в данной статье усовершенствованный способ загрузки щепы в контейнер с использованием специального прицепа должен свести к минимуму объем бункера-дозатора.

3. Предложены три технологические схемы, в которых используется усовершенствованный способ производства щепы на лесосеке с использованием мягких контейнеров.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, И.Д. Грачев // Лесопромышленник. 2009. – № 49. – С. 23.
2. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 107–111.
3. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник. – Февраль-март 1 (49) – 2009.

4. Карпачев, С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник. – Апрель-июнь 2 (54) – 2010.
5. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики // Ученые записки РГСУ / Экологическая безопасность и природопользование. – № 5 – 2009. – С. 130–138.
6. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – РАН ВИНТИ – 2011. – № 8. – С. 16–20.
7. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков, А.Н. Слинченков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 70–74.
8. Комяков, А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 104–107.
9. Карпачев, С.П. Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Е.В. Солдатова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1 – 2013. – С. 56–61.

TECHNOLOGICAL SCHEME OF CHIP PRODUCTION IN THE CUTTING AREA IN SOFT CONTAINERS

Karpachev S.P. (MSFU), Shcherbakov E.N. (MSFU), Shmyrev D.V. (MSFU)

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytitschi, Moscow region, Russia

Presents technological scheme for production of wood chips on the felling in soft containers

Keywords: wood chips, forest residuals, technological process

References

1. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Grachev I.D. *Nekotoryye voprosy tekhnologii osvoyeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some issues of technology development of forest biological resources for bioenergy]. Lesopromyshlennik. 2009. № 49. p. 23.
2. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N. *Nekotoryye voprosy osvoyeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions of the development of bio-resources of the forests for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73) – 2010, pp. 107-111.
3. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syrya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Lesopromyshlennik, February-March 1 (49) 2009.
4. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Proizvodstvo drov dlya zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva lesnykh poselkov i gorodov* [Manufacture of wood for housing and communal services of forest villages and towns]. Lesopromyshlennik, April-June 2 (54) – 2010.
5. Karpachev S.P. *Nekotoryye voprosy tekhnologii osvoyeniya i vodnogo transporta bioresursov iz lesa dlya bioenergetiki* [Some issues of technology development and water transport of forest biological resources for bioenergy]. Uchenyye zapiski RGSU. Ekologicheskaya bezopasnost i prirodopolzovaniye. № 5. 2009. pp. 130-138.
6. Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov Ye.N. *Modelirovaniye logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Simulation of logistics systems of forest materialopotokov]. M. Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. RAN VINITI. 2011, № 8, pp. 16-20.
7. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N., Slinchenkov A.N. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syrya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010, pp. 70-74.
8. Komyakov A.N., Karpachev S.P. *Primeneniye bolshegruznykh plavuchikh konteynerov dlya nuzhd bioenergetiki* [Heavy use of floating containers for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010, pp. 104-107.
9. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Soldatova Ye.V. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov osvoyeniya drevesiny na lozhe vodokhranilishch* [Modeling process of development on a bed of wood reservoirs]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1 – 2013, pp. 56-61.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЩЕПЫ НА ЛЕСОСЕКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЯГКИХ КОНТЕЙНЕРОВ

С.П. КАРПАЧЕВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Е.Н. ЩЕРБАКОВ, *доц. каф. древесиноведения МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Д.В. ШМЫРЕВ, *асп. каф. транспорта леса МГУЛ*

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru,

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

В статье приводятся результаты моделирования технологического процесса освоения лесосечных отходов с использованием мягких контейнеров.

Ключевые слова: моделирование, математическая модель, технология, лесосечные отходы, мягкие контейнеры, GPSSW

В данной статье рассматриваются некоторые результаты исследования технологии производства щепы на лесосеке с использованием мобильной рубительной машины и стандартных мягких контейнеров [1].

Пусть мобильная рубительная машина дополнительно оснащена специальным устройством – прицепом, на котором размещается бункер-дозатор и сменные мягкие контейнеры (рис. 1). Наполняемые щепой контейнеры размещаются на площадках прицепа с возможностью их наклона для сброса контейнеров на поверхность участка. Бункер-дозатор обеспечивает наполнение мягких контейнеров и позволяет осуществить их упаковку и разгрузку в процессе работы рубительной машины.

Применение мягких контейнеров в предлагаемой технологии позволит, по пред-

варительным оценкам, снизить затраты на логистические операции и использовать для этого стандартное оборудование. Контейнеры могут быть выполнены из легкого, прочного и недорогого материала многократного использования и доставляться потребителю сухопутным или водным транспортом.

В качестве сырья для производства щепы в данной статье рассматриваются лесосечные отходы в виде сучьев, вершинок, ломаных стволов и прочей древесины. Такая древесина, например, переработанная на щепу, может быть использована в биоэнергетике [2–4].

Общий вид установки представлен на рис. 1.

Рассматривалась работа мобильной рубительной машины, оснащенной специальным устройством-прицепом, со сбросом кон-

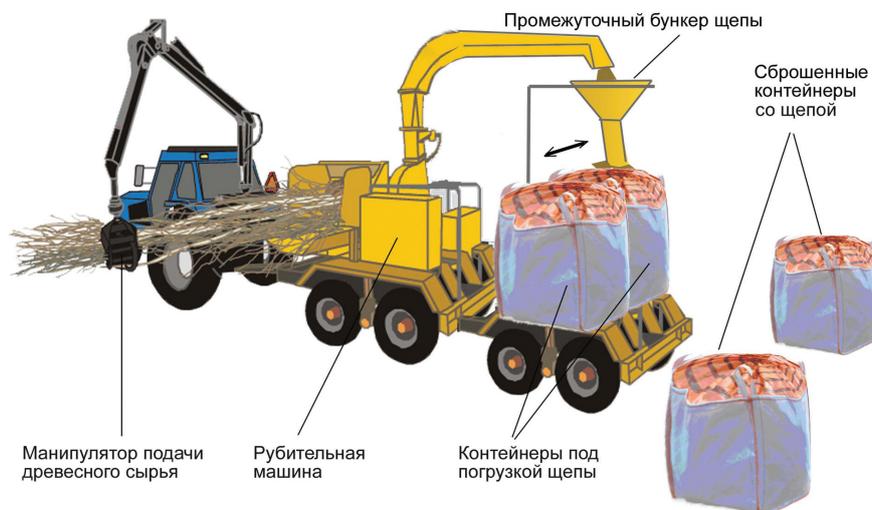


Рис. 1. Общий вид устройства для производства щепы

тейнеров на лесосеке (рис. 2). Исследования проводились методами имитационного моделирования на математических моделях.

Общая структура имитационного моделирования включает формирование концептуальной модели и ее программирование, а также планирование и проведение эксперимента.

Концептуальная модель работы рубительной машины и процесса заполнения контейнеров щепой может быть сформулирована в терминах системы массового обслуживания (СМО).

Представим скопления лесосечных отходов на лесосеке, например после работы харвестера, как входящий поток требований на обслуживание. Такие требования будем называть заявками первого уровня, которые поступают от источника *И*. Каждой заявке назначается атрибут, который идентифицируется с объемом скопления лесосечных отходов $q_{ло}$. Объем лесосечных отходов $q_{ло}$ является случайным числом и меняется от скопления к скоплению.

Рубительная машина движется от скопления к скоплению, собирает и рубит на щепу древесное сырье. Манипулятор машины захватывает пачки (охапки) древесного сырья и направляет их в рубительное устройство. Пачки (охапки) сырья представляют собой заявки второго уровня. Объем такой пачки q_n , которую захватывает манипулятор, будет всякий раз разными, то есть является случайным числом.

Древесное сырье поступает пачками (охапками) в рубительную машину, перерабатывается на щепу и направляется в контейнер. Щепу, которая поступает в контейнер, является заявкой третьего уровня. Поступающую в контейнер щепу удобно представлять порциями в объеме, который производит рубительная машина за некоторый промежуток времени. Объем порции щепы q_n разумно определить из условия возможности манипуляции при загрузке контейнеров через дозатор бункера.

Щепа заполняет контейнеры, которые являются заявками четвертого уровня. Объем контейнера является величиной постоянной, но объем щепы в нем колеблется, хотя и в минимальных пределах.

Работу мобильной рубительной машины с мягкими контейнерами можно описать следующим образом.

С началом работы в систему поступает одна заявка, которая генерирует некоторое количество заявок, равное числу скоплений лесосечных отходов. Это заявки первого уровня. Они становятся в очередь $Q1$ на обслуживание. Заявки проходят через канал обслуживания $K1$. Это одноканальный обслуживающий прибор. Он имитирует время передвижения рубительной машины от скопления к скоплению. Время обслуживания в канале $K1$ определяется скоростью рубительной машины и расстоянием между скоплениями.



Рис. 2. Работа мобильной рубительной машины со сбросом контейнеров на лесосеке

Пройдя через обслуживающий канал $K1$, заявка первого уровня распадается на несколько заявок второго уровня, которые имитируют пачки (охапки) отходов, подаваемые на рубку в щепу. Заявки второго уровня становятся в очередь $Q2$ и последовательно проходят через канал обслуживания $K2$. Пока все заявки второго уровня не будут обслужены, новая заявка первого уровня не может поступить на обслуживание в канал $K1$. Для регулирования поступления в канал $K1$ заявок первого уровня служит клапан $Kл1$, который остается закрытым, пока в очереди $Q2$ находится хотя бы одна заявка второго уровня.

Пройдя канал $K2$, заявка второго уровня распадается на несколько заявок третьего уровня, которые имитируют порции щепы. Заявки третьего уровня становятся в очередь $Q3$ и закрывают клапан $Kл2$, приостанавливая движение заявок второго уровня. Заявки третьего уровня последовательно проходят через обслуживающий канал $K3$. После этого канала заявки проходят через бункер, который моделируется очередью из заявок $Qб$. Предельная длина очереди равна максимальному объему бункера. Если очередь достигает максимального значения, то клапан $Kл3$ перекрывает движение заявок третьего уровня.

В очереди $Qб$ заявки третьего уровня накапливаются до некоторого количества, равного объему контейнера.

После этого они образуют ансамбль, объединяются в заявку четвертого уровня и поступают в один из свободных каналов обслуживания $K5$ или $K6$ (по числу контейнеров на прицепе), которые моделируют время на упаковку и сброску заполненного контейнера, а также время на установку нового контейнера. Если все каналы заняты, то клапан $Kл4$ перекрывает движение заявок третьего уровня.

Заявка четвертого уровня после покидает систему.

Таким образом, в принятой нами модели заявки делятся на четыре уровня:

- заявки первого уровня – объем лесосечных отходов;
- заявки второго уровня – пачки (охапки) лесосечных отходов;

- заявки третьего уровня – минимальный объем щепы, доступный для манипуляции в технологическом процессе;

- заявки четвертого уровня – объем контейнеров со щепой.

Концептуальная модель работы мобильной рубительной машины представлена на рис. 3.

Разрабатывая технологию загрузки контейнеров щепой, необходимо стремиться к полной загрузке рубительного устройства машины, технологические остановки которого возможны когда

- цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения.

- цикл упаковки контейнера меньше, чем цикл его наполнения.

В первом случае технологические остановки неизбежны. Во втором случае возможна максимальная загрузка рубительной машины, если между подающим трубопроводом и контейнером установлен бункер-накопитель с дозатором. Причем, чем меньше цикл упаковки контейнера, тем меньший объем бункера необходим.

Объем бункера может быть уменьшен или вообще не потребуется, если под загрузку установить последовательно несколько контейнеров. В этом случае операции упаковки и наполнения контейнера будут выполняться независимо друг от друга, как показано на рис. 3. Время необходимо только на перевод загрузочного устройства бункера-дозатора от контейнера к контейнеру.

В реальных условиях объем бункера может быть ограничен по техническим и технологическим причинам. Однако в модели объем бункера нет необходимости ограничивать. Поэтому в модели он был принят «бесконечным». Тогда клапан $Kл3$ можно ликвидировать, позволив заявкам третьего уровня накапливаться в очереди $Qб$ без ограничений.

Эти допущения позволяют значительно упростить концептуальную модель без ущерба ее адекватности реальному технологическому процессу.

Концептуальная модель узла работы мобильной рубительной была реализована в виде компьютерной программы на языке

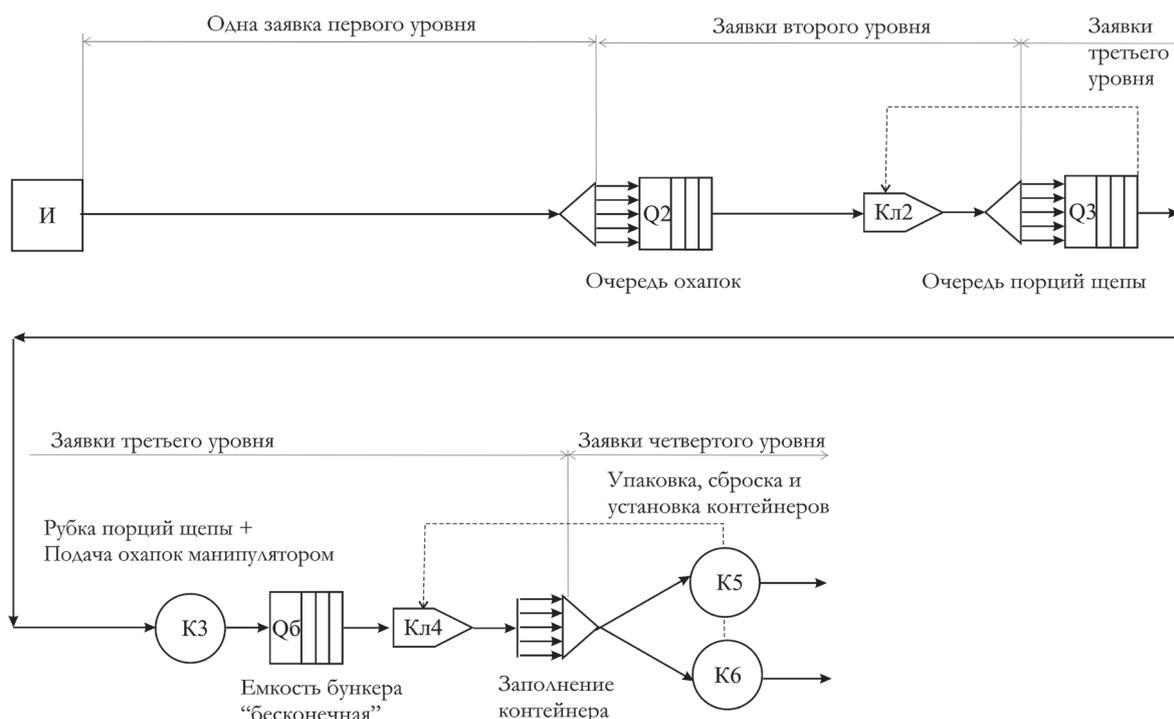


Рис. 3. Модифицированная концептуальная модель работы рубительной машины на лесосеке

GPSSW и использована для проведения экспериментов.

Цель экспериментов – установление зависимости изменения объема бункера от различных факторов:

- природно-производственных – объема скоплений лесосечных отходов и их распределения по лесосеке;
- технико-технологических – интенсивности сбора лесосечных отходов, их переработки и подачи щепы в контейнер;
- объема контейнера;
- количества одновременно размещаемых на прицепе контейнеров;
- времени на упаковку и сброску контейнера.

Заметим, что объем бункера тем больше, чем больше объем скопления лесосечных отходов. Максимальный объем скопления лесосечных отходов – это штабель лесосечных отходов на погрузочной площадке. В модели скопления лесосечных отходов представлены заявками первого уровня. Этим заявкам назначим атрибут объема, равным бесконечно большому значению. Тогда время обслуживания этой заявки в канале K1 будет равным 0. Это упрощает концептуальное представление модели без ущерба

адекватности реальному технологическому процессу (рис. 3).

В экспериментах были приняты следующие варьируемые факторы:

1. Техничко-технологические – интенсивность сбора лесосечных отходов, их переработки и подачи в контейнер, $t_{цикл}$.
2. Объем контейнера, $V_{конт}$.
3. Количество одновременно размещаемых на прицепе контейнеров, $N_{конт}$.
4. Время на упаковку и сброску контейнера $t_{конт}$.

В качестве выходной величины был принят накопленный объем щепы в бункере. Эта величина позволяет определить требуемую емкость бункера. Выходную величину будем искать в виде уравнения регрессии второго порядка.

Заметим, что первые два фактора являются непрерывными величинами, а третий – число контейнеров – дискретный. Поэтому решено искать уравнения регрессии для двух непрерывных факторов при числе контейнеров 1 и 2.

Что касается времени на упаковку и сброс контейнера, то этот фактор определяется не только особенностями контейнера, но и конструкцией прицепного устройства для установки и сброса контейнера.

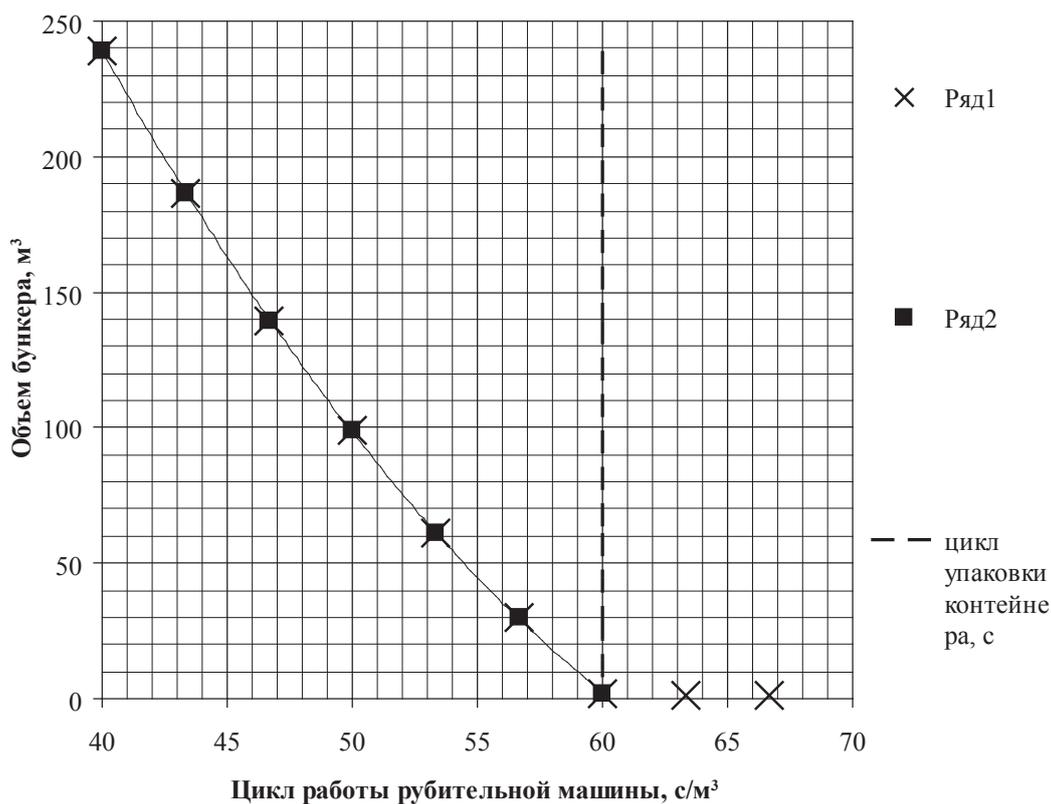


Рис. 4. Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для одного контейнера объемом 1 м³ каждый (цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения)

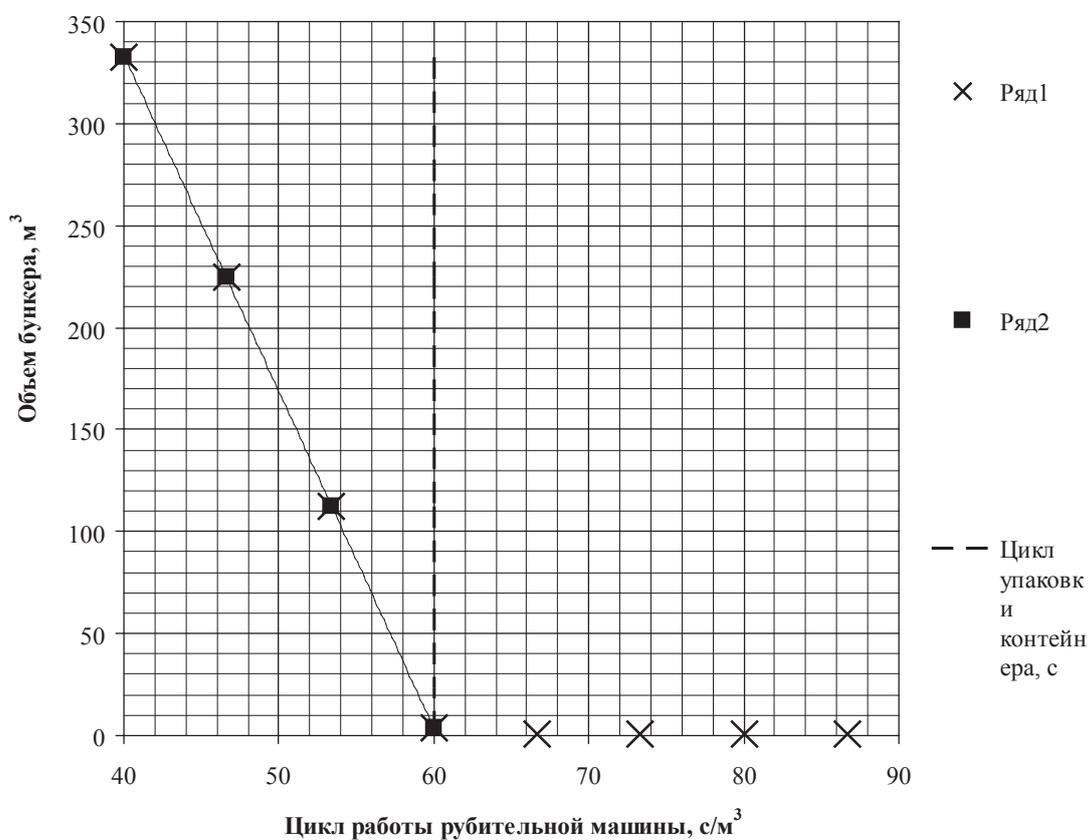


Рис. 5. Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для двух контейнеров объемом 1 м³ каждый (цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения)

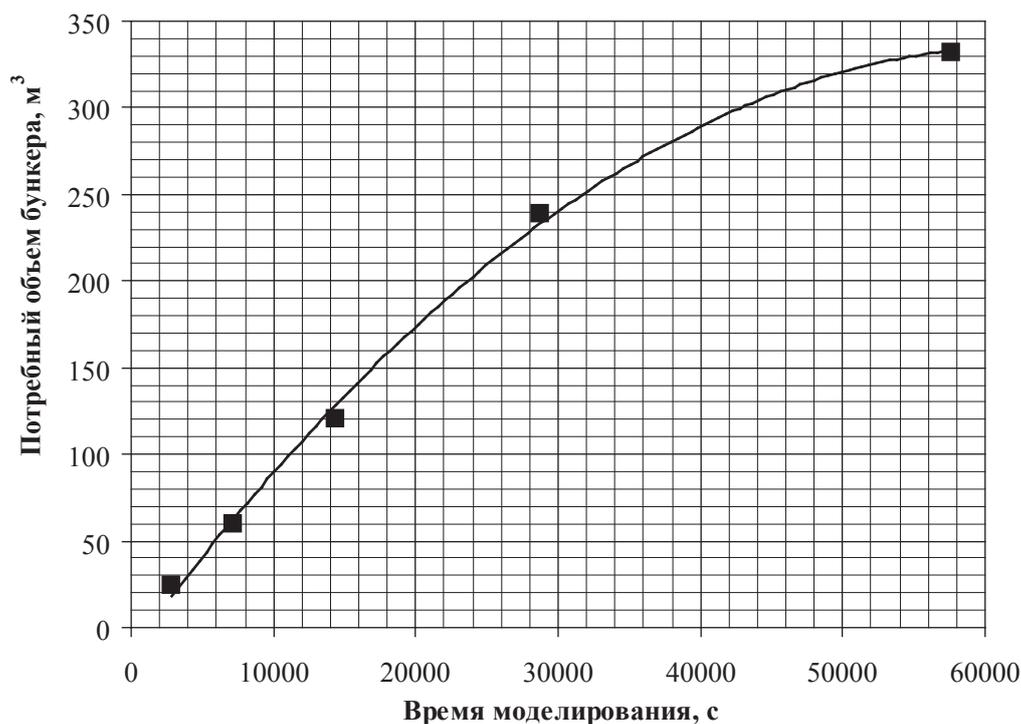


Рис. 6. Зависимость объема бункера от времени работы для цикла работы рубительной машины 12 с (40 с/м^3) и одного контейнера объемом 1 м^3 (цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения)

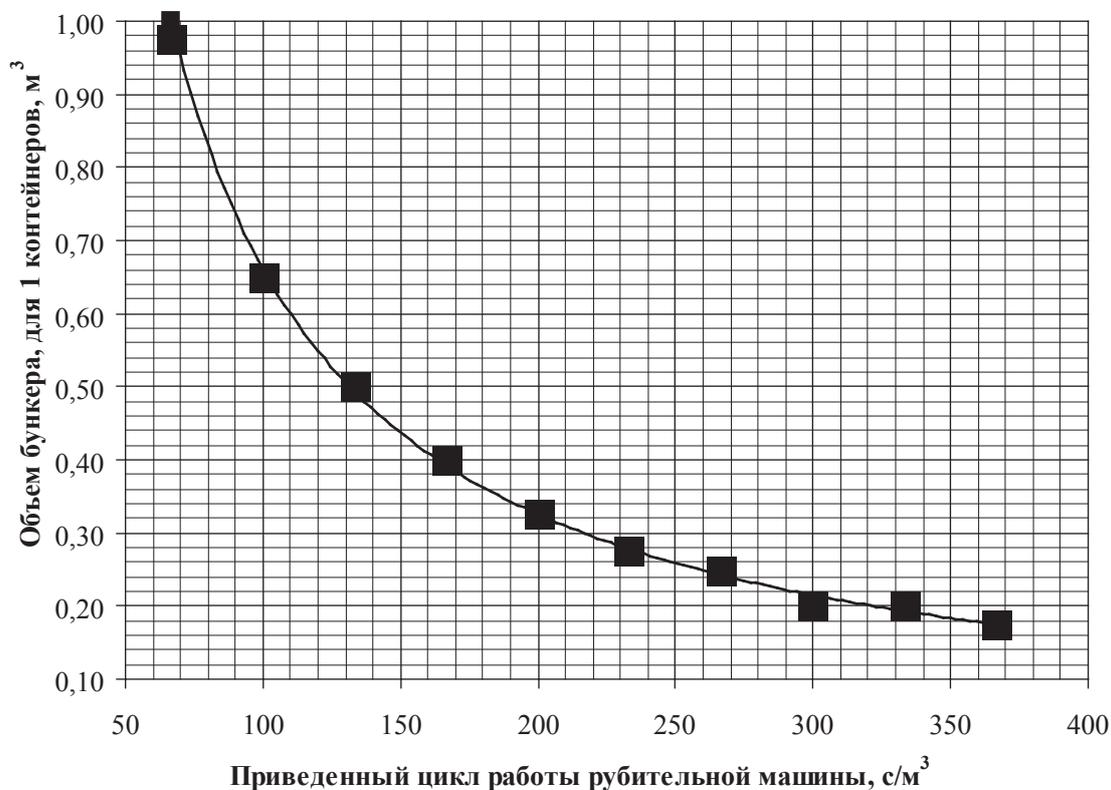


Рис. 7. Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для одного контейнера объемом 1 и 2 м^3 (цикл упаковки контейнера меньше, чем цикл его наполнения)

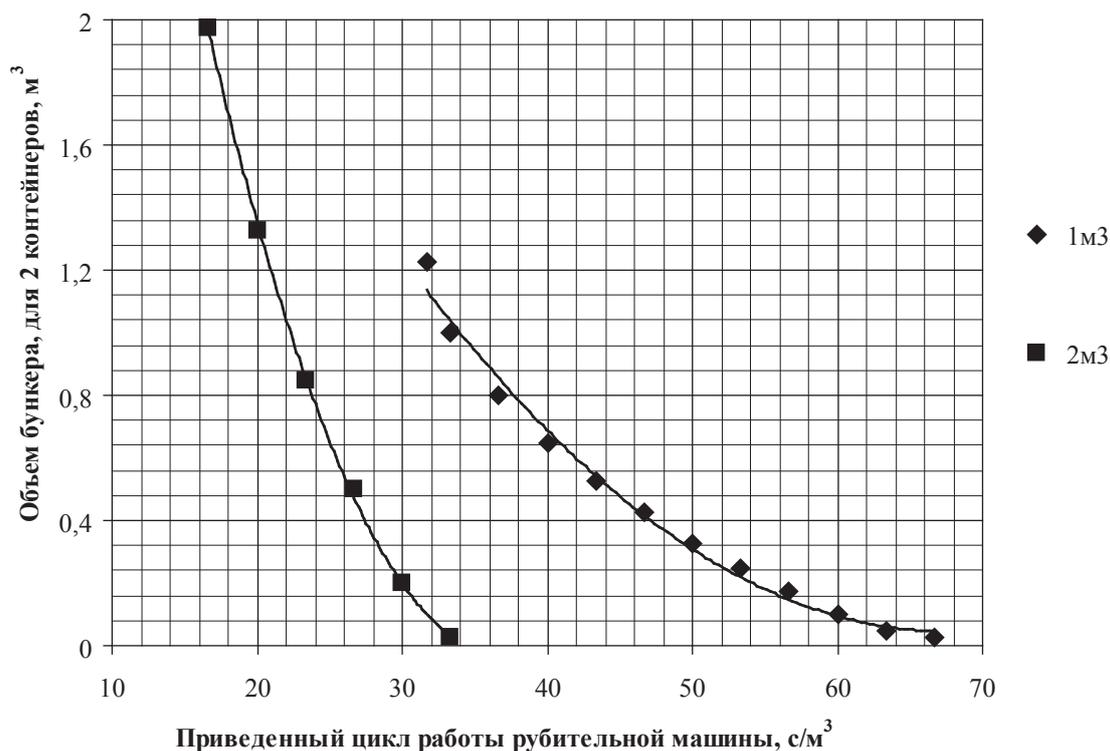


Рис. 8. Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для двух контейнеров объемом 1 и 2 м³

В экспериментах время на упаковку и сброс контейнера принято равным $t_{kont} = 60$ с. Этого времени вполне достаточно, чтобы сбросить заполненный щепой контейнер и установить новый порожний.

Эксперименты с моделью решено провести для двух случаев, которые выделены выше:

1. Цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения.
2. Цикл упаковки контейнера меньше, чем цикл его наполнения.

В первом случае бункер через некоторый промежуток времени будет переполнен при любом его объеме. Для случая одного контейнера объемом в 1 м³, при принятом цикле времени на упаковку и сброс контейнера $t_{kont} = 60$ с, время сбора лесосечных отходов, их переработки и подачи в контейнер будет меньше 60с ($t_{цикл} < 18$ с). Для случая двух контейнеров можно предположить, что время должно быть меньше 30с ($t_{цикл} < 9$ с).

Для этого случая решено было провести серии экспериментов для одного и двух контейнеров. Во втором случае бункер не будет переполняться. Для этого запланирова-

ны серии экспериментов для одного и двух контейнеров. В основу планирования основных экспериментов положен план, который позволяет получить отклик в виде уравнения регрессии второго порядка.

Как и следовало ожидать, объем бункера быстро уменьшается с увеличением времени циклов сбора лесосечных отходов, их переработки и подачи в контейнер $t_{цикл}$. Примечательно, что уменьшение потребного объема бункера в случае двух контейнеров происходит быстрее.

Когда цикл упаковки контейнера больше, чем цикл его наполнения, следует ожидать нарастания потребного объема бункера с увеличением времени работы системы. Для подтверждения проведен дополнительный эксперимент, результаты которого приведены на рис. 6.

Как мы и предполагали, потребный объем бункера быстро растет с увеличением времени работы системы.

Сразу заметим, что если цикл упаковки контейнера меньше, чем цикл его наполнения, то время работы системы не влияет на объем бункера, что вполне понятно.

Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для одного контейнера объемом 1 и 2 м³ приведена на рис. 7. Как видно из графика, точки опытов для контейнеров 1 и 2 м³ практически совпадают. Из этого следует, что объем контейнера, когда он один, не влияет на объем бункера. Объем бункера зависит только от цикла времени работы рубительной машины.

Зависимость объема бункера от цикла работы рубительной машины для двух контейнеров объемом 1 и 2 м³ приведена на рис. 8. Как видно из графика объем контейнеров, когда их два и более, влияет на объем бункера. Объем бункера зависит как от цикла времени работы рубительной машины, так и от объема контейнера. Интересно отметить, что при одном и том же объеме бункера для более производительной рубительной машины потребуются контейнеры большего объема.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 107–111.
2. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник. – Февраль-март 1 (49) – 2009.
3. Карпачев, С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Г.Е. Приоров // Лесопромышленник. – Апрель-июнь 2 (54) – 2010.
4. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики // Ученые записки РГСУ / Экологическая безопасность и природопользование. – № 5 – 2009. – С. 130–138.
5. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – РАН ВИНТИ – 2011. – № 8. – С. 16–20.
6. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков, А.Н. Слинченко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 70–74.
7. Комяков, А.Н. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 4 (73) – 2010. – С. 104–107.
8. Карпачев, С.П. Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, Е.В. Солдатова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1 – 2013. – С. 56–61.
9. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – РАН ВИНТИ – 2011. – № 8.

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF FOREST RESIDUES WITH THE USE OF SOFT CONTAINERS

Karpachev S.P. (MSFU), Shcherbakov E.N. (MSFU), Shmyrev D.V. (MSFU)

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru,

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytitschi, Moscow region, Russia

Results of modeling of technological processes of forest residues with the use of soft containers are presented.

Keywords: Modeling, soft containers, forest residual, GPSSW

References

1. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N. *Nekotoryye voprosy osvoyeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions of the development of bio-resources of the forests for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73) – 2010, pp. 107-111.
2. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syrya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Lesopromyshlennik, February-March 1 (49) 2009.
3. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Proizvodstvo drov dlya zhilishchno-kommunalnogo khozyaystva lesnykh poselkov i gorodov* [Manufacture of wood for housing and communal services of forest villages and towns]. Lesopromyshlennik, April-June 2 (54), 2010.
4. Karpachev S.P. *Nekotoryye voprosy tekhnologii osvoyeniya i vodnogo transporta bioresursov iz lesa dlya bioenergetiki* [Some issues of technology development and water transport of forest biological resources for bioenergy]. Uchenyye zapiski RGSU. Ekologicheskaya bezopasnost i prirodopolzovaniye. № 5 – 2009, pp. 130-138.

5. Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov Ye.N. *Modelirovaniye logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Simulation of logistics systems of forest materialopotokov]. M. Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. RAN VINITI. 2011, № 8, pp. 16-20.
6. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N., Slinchenkov A.N. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010, pp. 70-74.
7. Komyakov A.N., Karpachev S.P. *Primeneniye bolshegruznykh plavuchikh konteynerov dlya nuzhd bioenergetiki* [Heavy use of floating containers for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73) – 2010g., pp. 104-107.
8. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Soldatova Ye.V. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov osvoyeniya drevesiny na lozhe vodokhranilishch* [Modeling process of development on a bed of wood reservoirs]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1 – 2013g., pp. 56-61.
9. Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov Ye.N. *Modelirovaniye logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Simulation of logistics systems of forest materialopotokov]. M. Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyy informatsionnyy sbornik. RAN VINITI. 2011, № 8, pp.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ НА МОБИЛЬНОМ ШАССИ

А.О. GERMANOVICH, *асп. каф. лесных машин и технологии лесозаготовок БГТУ*

18german@mail.ru

УО «Белорусский государственный технологический университет»,
ул.Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день получение топливной щепы из отходов лесозаготовок при помощи мобильных рубильных машин является одним из приоритетных направлений эффективного развития лесозаготовительного предприятия. Процесс измельчения древесного сырья в топливную щепу сопровождается вибрацией, учет которой необходим при проектировании рубильной машины. Опыт эксплуатации рубильных машин показывает, что операторы имеют повышенную утомляемость, которая снижает производительность их работы. Поэтому возникает необходимость в методах оценки и способах уменьшения виброактивности.

Ключевые слова: динамика, колебания, моделирование, рубильная машина, щеп.

Переработка отходов лесозаготовок при помощи мобильных рубильных машин является одной из наиболее доступных и в то же время эффективных технологий переработки древесины на топливную щепу. Однако работа мобильной рубильной машины связана с резко переменным характером воздействия технологической или полезной нагрузки, вследствие этого при измельчении древесного сырья появляются колебания, учет которых необходим при проектировании рубильной машины. Длительное воздействие вибрации вызывает негативные изменения физиологических функций человека.

В процессе измельчения древесного сырья к резцам прикладываются усилия, величины которых зависят от сопротивления резанию. Усилие, которое приложено к резцу, в процессе резания изменяется. Оно дости-

гает максимума при внедрении и падает до наименьшего значения в момент отделения щепы от древесного сырья. Такое изменение усилий резания приводит к вынужденным колебаниям рубильного агрегата. Возмущающее (момент M) воздействие от периодически изменяющееся сил резания можно представить в виде функции, изменяющейся по гармоническому закону ($M = M_0 \sin \omega t$). Исследование динамики рубильной машины на мобильном шасси невозможно без учета работы двигателя, как источника заданной мощности. Вопросы математического описания работы двигателя решались исследователями по-разному в зависимости от поставленных задач и требуемой точности приближений. Так, у И.Б. Барского, В.Я. Аниловича и Г.М. Кутькова [1] в соответствующих расчетах задавались мгновенным значением крутящего



Рис. 1. Рубильная машина на мобильном шасси

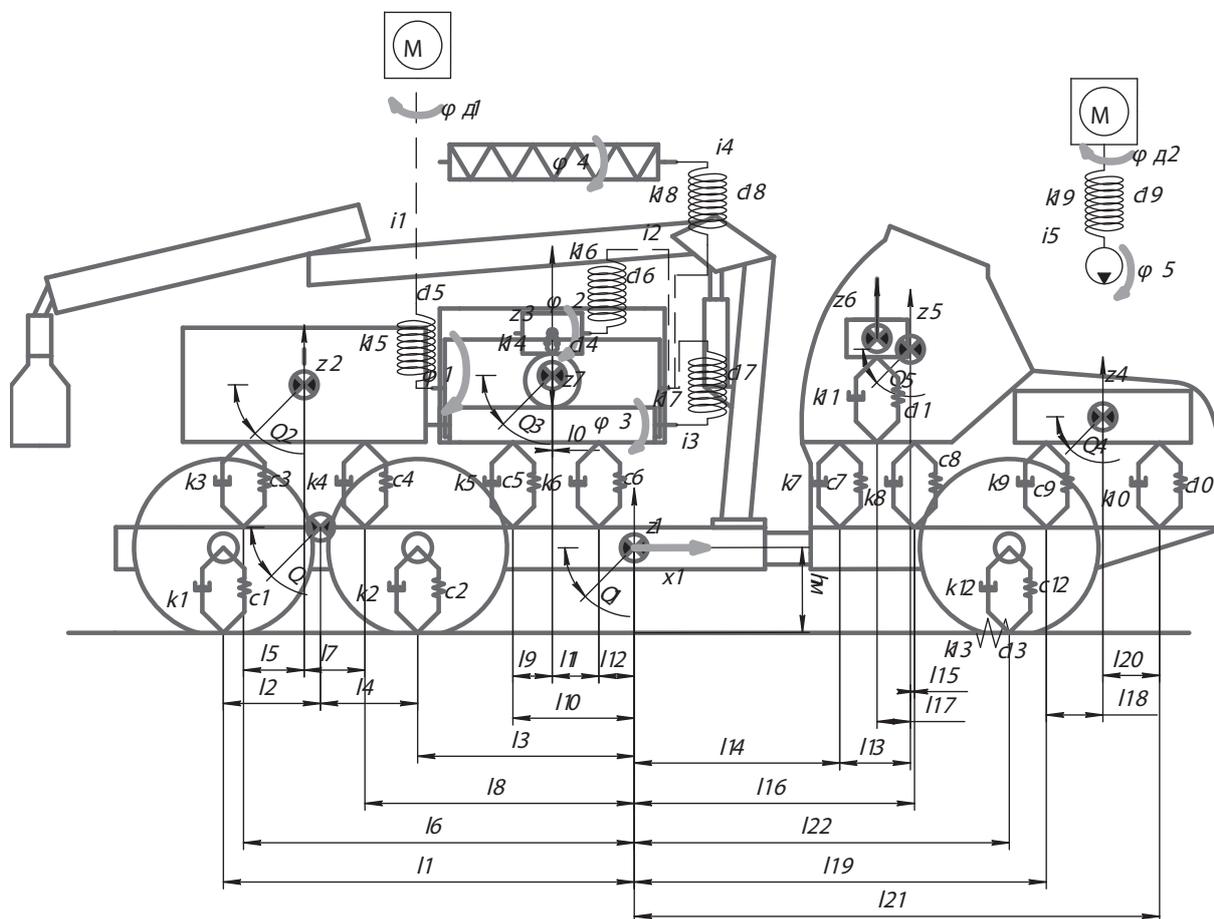


Рис. 2. Расчетная схема динамической модели работы рубильной машины на мобильном шасси с колесной формулой 6К6

момента двигателя по скоростной характеристике, в [2] – разработана модель двигателя в функции крутящего момента от положения рейки топливного насоса и частоты вращения коленчатого вала. Аналогичное матема-

тическое описание двигателя используется в работе [3]. В работе Ю.В. Хромова [4] двигатель определяется частичными скоростными характеристиками, а в [5] – частичными регуляторными. Для рассматриваемой дина-

мической системы моделирование работы двигателя в функции крутящего момента от частоты вращения производилось по регуляторной характеристике. Крутящий момент двигателя на регуляторной и корректорных ветвях характеристики в функции от частоты вращения (n) определялся по следующим зависимостям

$$M_d = (n_x - n)M_{en} / (n_x - n), \quad (1)$$

$M_d = M_{emax} - (n/n_n - \alpha / (1 - \alpha))^2 (M_{emax} - M_e), \quad (2)$
где n_x – частота вращения двигателя на холостом ходу;

M_{en} – номинальный крутящий момент двигателя;

M_{emax} – максимальный крутящий момент двигателя;

α – коэффициент степени снижения частоты вращения коленчатого вала.

Негативное воздействие вибраций, возникающих в процессе работы мобильной рубильной машины, ставит перед учеными задачу создать модель, при помощи которой можно было бы проектировать новые рубильные машины с улучшенными эксплуатационными свойствами. Основной задачей динамического исследования является определение движения системы, т.е. нахождение независимых, изменяющихся по времени координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс данной системы.

На основании исследования физической модели (опытного образца) мобильной рубильной машины (рис. 1), отражающее взаимодействие подсистем машины, таких как двигатели, привод, рубильный агрегат, а также возмущающих факторов, была составлена расчетная схема математической модели работы машины (рис. 2).

При этом распределение массы машины, привода рубильного агрегата заменены сосредоточенными, соединенными безынерционными упруго демпфирующими связями, т.е. реальная динамическая система с бесконечным числом степеней свободы заменена схемой с конечным числом степеней свободы. Основными упруго демпфирующими элементами рубильной машины на мобильном шасси являются шины, элементы привода рубильного агрегата, крепления технологичес-

кого оборудования, кабины, кресла оператора и двигателя.

Каждой дискретной массе исследуемой машины соответствует независимая, изменяющаяся во времени координата (степень свободы).

Имитационная модель указанной машины включает множество упругих и демпфирующих элементов, массы которых при наличии возмущений колеблются, что отражается на динамике работы машины, нагруженности агрегатов и узлов, а также оказывает вредное воздействие на оператора.

При построении расчетной схемы рубильной машины на мобильном шасси приняты следующие общепринятые допущения: распределенные массы машины заменены сосредоточенными, которые соединены безынерционными упругодемпфирующими связями; высокочастотные колебания шестерен, валов и других деталей привода, как со сосредоточенными, так и распределенными параметрами, не рассматриваются; упругие характеристики шин – квазилинейные, а силы неупругого сопротивления – пропорциональные скорости деформации.

Расчетная динамическая схема имеет двадцать степеней свободы, описывающих колебания в продольной вертикальной плоскости. Положение рубильной машины на мобильном шасси определяется следующими обобщенными координатами: углом поворота коленчатого вала двигателей – ϕ_1, ϕ_2 ; углами поворота механизма привода рубильного барабана, прижимного ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, насоса гидросистемы технологического оборудования – $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5$ соответственно; вертикальными, продольными и угловыми перемещениями центров тяжести базовой машины, двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, двигателя базой машины, кабины, кресла оператора, древесного сырья – $z_1, x_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, Q, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5$ соответственно.

Расчетная динамическая схема работы рубильной машины имеет обозначения: $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9, c_{10}, c_{11}, c_{12}, c_{14}, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, k_7, k_8, k_9, k_{10}, k_{11}, k_{12}$,

k_{14} – коэффициенты вертикальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) шин, креплений двигателя привода рубильного барабана, рубильного агрегата, кабины, двигателя базой машины, кресла оператора, прижимного подающего ролика соответственно; c_{13}, k_{13} – коэффициенты горизонтальной жесткости (Н/м) и сопротивления (Н·с/м) передних шин и почвогрунта, приведенные к точкам контакта колес машины с опорной поверхностью; $c_{15}, c_{16}, c_{17}, c_{18}, c_{19}, k_{15}, k_{16}, k_{17}, k_{18}, k_{19}$ – коэффициенты угловой жесткости (Н) и сопротивления (Н·с) валов привода рубильного барабана, прижимного, подающего ролика, подающего транспортера, винтового конвейера, привода гидросистемы технологического оборудования соответственно; i_1, i_2, i_3, i_4, i_5 – передаточные числа приводов рубильного агрегата и гидросистемы технологического оборудования; h_m – вертикальная координата центра тяжести машины, м; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{13}, l_{14}, l_{15}, l_{16}, l_{17}, l_{18}, l_{19}, l_{20}, l_{21}$ – горизонтальные координаты, м; $M_{д1}, M_{д2}, M_p$ – возмущающие моменты двигателя привода рубильного агрегата, двигателя привода гидросистемы технологического оборудования, рубильного агрегата, Н·м. Для составления системы дифференциальных уравнений, входящих в состав математической модели, описывающей колебательные процессы, которые происходят с рубильной машиной на мобильном шасси во время ее работы, воспользовались уравнением Лагранжа второго рода.

Выражения, по которым определяют кинетическая, потенциальная энергии рассматриваемой рубильной машины на мобильном шасси, имеют следующий вид

$$T = \frac{1}{2} \left(\begin{array}{l} m_1 \dot{z}_1^2 + m_1 \dot{x}_1^2 + I_1 \dot{\theta}_1^2 + m_2 \dot{z}_2^2 + \\ + I_2 \dot{\theta}_2^2 + m_3 \dot{z}_3^2 + I_2 \dot{\theta}_2^2 + m_3 \dot{z}_3^2 + \\ + I_3 \dot{\theta}_3^2 + m_4 \dot{z}_4^2 + I_4 \dot{\theta}_4^2 + m_5 \dot{z}_5^2 + \\ + I_5 \dot{\theta}_5^2 + m_6 \dot{z}_6^2 + m_7 \dot{z}_7^2 + \\ + I_{д1} \dot{\varphi}_{д1}^2 + I_9 \dot{\varphi}_1^2 + I_{10} \dot{\varphi}_2^2 + \\ + I_{д2} \dot{\varphi}_{д2}^2 + I_{12} \dot{\varphi}_4^2 + I_{11} \dot{\varphi}_3^2 + I_{14} \dot{\varphi}_5^2 + I_{13} \dot{\varphi}_3^2 \end{array} \right); \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2} [c_1(z_1 + l_1\theta_1 + l_2\theta)^2 + c_3(z_2 + l_5\theta_2 - \\ & - z_1 - l_6\theta_1)^2 + c_2(z_1 + l_3\theta_1 - l_4\theta)^2 + \\ & + c_4(z_2 - l_7\theta_2 - z_1 - l_8\theta_1)^2 + c_5(z_3 + l_9\theta_3 - \\ & - z_1 - l_{10}\theta_1)^2 + c_6(z_3 - l_{11}\theta_3 - z_1 - l_{12}\theta_1)^2 + \\ & + c_7(z_5 + l_{13}\theta_5 - z_1 + l_{14}\theta_1)^2 + c_8(z_5 - \\ & - l_{15}\theta_5 - z_1 + l_{16}\theta_1)^2 + c_{11}(z_6 - z_5 - l_{17}\theta_5)^2 + \\ & + c_9(z_4 + l_{18}\theta_4 - z_1 + l_{19}\theta_1)^2 + c_{10}(z_4 - \\ & - l_{20}\theta_4 - z_1 + l_{21}\theta_1)^2 + c_{12}(z_1 - l_{22}\theta_1)^2 + \\ & + c_{13}(x_1 + h_m\theta_1)^2 + c_{14}(z_7 - z_3 - l_0\theta_3)^2 + \\ & + c_{15}(\varphi_1 - \frac{1}{i_1}\varphi_{д1})^2 + c_{16}(\varphi_2 - \frac{1}{i_2}\varphi_{д1})^2 + \\ & + c_{17}(\varphi_3 - \frac{1}{i_3}\varphi_{д1})^2 + c_{18}(\varphi_4 - \frac{1}{i_4}\varphi_{д1})^2 + \\ & + c_{19}(\varphi_5 - \frac{1}{i_5}\varphi_{д2})^2]; \quad (4) \end{aligned}$$

где $I_{д1}, I_{д2}$ – момент инерции вращающихся масс двигателя и ведущих частей сцепления привода рубильного агрегата и насоса гидросистемы технологического оборудования соответственно, кг·м²;

l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 – моменты инерции базовой машины, двигателя привода рубильного барабана, рубильного модуля, двигателя базой машины, кабины соответственно, кг·м²;

$l_9, l_{10}, l_{11}, l_{12}, l_{14}$ – моменты инерции элементов привода рубильного агрегата и гидросистемы технологического оборудования, кг·м²;

$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7$ – масса базовой машины, двигателя привода рубильного барабана, рубильного модуля, двигателя базой машины, кабины, кресла оператора, древесного сырья соответственно, кг.

Подставив выражения кинетической, потенциальной энергии и диссипативной функции Релея рубильной машины на мобильном шасси в уравнение Лагранжа

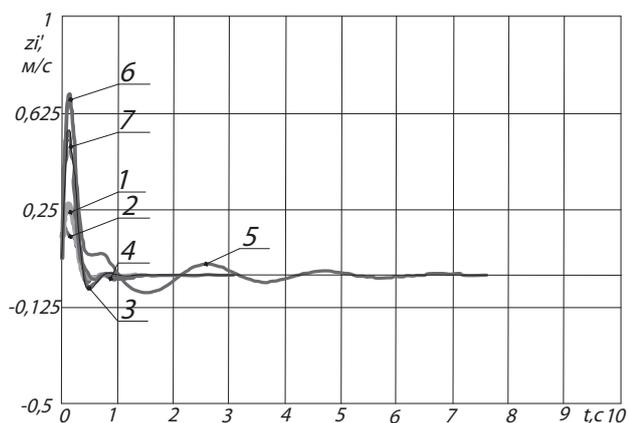


Рис. 3. Изменение скоростей перемещений центров тяжести: 1 – базовой машины; 2 – двигателя привода рубильного барабана; 3 – рубильного модуля; 4 – двигателя базовой машины; 5 – кабины; 6 – кресла оператора; 7 – древесного сырья

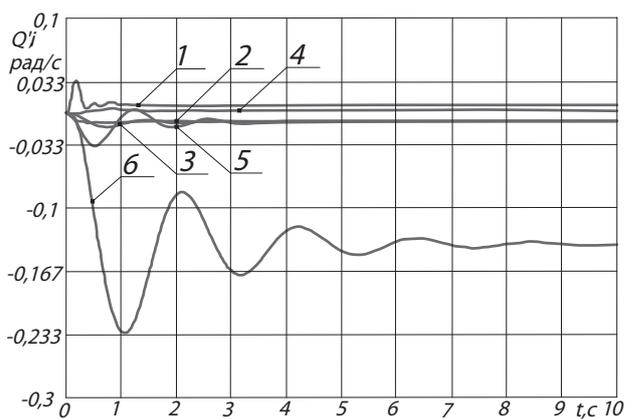


Рис. 4. Изменение скоростей угловых перемещений центров тяжести: 1 – базовой машины; 2 – двигателя привода рубильного барабана; 3 – рубильного модуля; 4 – двигателя базовой машины; 5 – кабины; 6 – балансира

второго рода, получим систему дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы, происходящие с машиной в процессе измельчения древесного сырья. Решение системы дифференциальных уравнений второго порядка производилось с помощью системы программирования *MathCAD 14*.

В результате решения системы дифференциальных уравнений получены матрицы отклонений каждой степени свободы и их первые производные в зависимости от времени протекания процесса (рис. 3, 4).

Максимальные амплитуды колебаний наблюдаются в начальный период работы рубильной машины, затем, вследствие наличия упругодемпфирующих элементов, колебания затухают. Аналогичное явление наблюдается и с изменениями скоростей вертикальных перемещений центров тяжести остова, рубильного модуля, кабины и оператора.

Массово-геометрические параметры динамической системы были приняты с учетом существующих аналогов рубильных машин. Моменты инерции агрегатов машины получены расчетным путем.

Исследование динамических процессов, происходящих при работе рубильной машины на мобильном шасси с автономным

двигателем, при помощи математической модели позволяет обосновать ее рациональные параметры (жесткость виброизолирующих элементов, шин, компоновка) и сделать вывод о соответствии этих параметров условиям работы. Снижение воздействий вибрации на самоходную рубильную машину приведет к повышению ее производительности, а также к уменьшению затрат на ее эксплуатацию.

Библиографический список

1. Барский, И.Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В.Я. Анилович, Г.М. Кутьков // Машиностроение, 1973. – 520 с.
2. Симанович, В.А. Обоснование приемов трелевки и параметров технологического оборудования колесных тракторов кл. 30 кН с целью повышения их тягово-сцепных свойств: дисс. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / В.А. Симанович. – Минск, 1985. – 266 л.
3. Липницкий, А.В. Статистические исследования нагруженности трансмиссии колесного трактора: дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Липницкий – Минск. – 1973. – 23 с.
4. Хромов, Ю.В. Расчетно-экспериментальное определение динамических характеристик автотракторных дизелей / Ю.В. Хромов // Автомобильная промышленность, 1965. – № 2. – С. 5–7.
5. Марков, В.А., Сиротин Е.А. Формирование частичных регуляторных характеристик дизеля / В.А. Марков, Е.А. Сиротин // Автомобильная промышленность, 2002. – № 6. – С. 7–12.

MODELING WORK ON MOBILE CHIPPERS CHASSIS

Germanovich A.O. (BGU)

18german@mail.ru

Belarusian State Technological University, 13a, Sverdlova str. 220006, Minsk, Belarus

Today getting fuel chips from logging residues using mobile chipper is one of the priorities of the effective development of a timber company. The grinding process raw wood fuel chips accompanied by vibration, which requires consideration in the design of the chopper. Operating experience chippers shows that operators have fatigue, which reduces their productivity. Hence the need for the valuation techniques and methods for reducing the vibration activity.

Keywords: dynamics, vibrations, modeling, chipper, chips.

References

1. Barskiy I.B., Anilovich V.Ya., Kutkov G.M. *Dinamika traktora* [Dynamics of tractor]. Moscow. Mashinostroyeniye, 1973. 520 p.
2. Simanovich, V.A. *Obosnovaniye priyemov trelevki i parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya kolesnykh traktorov kl. 30 kN s tselyu povysheniya ikh tyagovo-stsepnnykh svoystv: Diss.... kand. tekhn. nauk: 05.21.01* [Justification logging techniques and parameters of technological equipment of wheeled tractors kl. 30 kN to increase their traction properties]. Minsk, 1985. 266 p.
3. Lipnitskiy A.V. *Statisticheskiye issledovaniya nagruzhennosti transmissii kolesnogo traktora* [Statistical studies of the transmission of loading wheel tractor]. Diss.... kand. tekhn. nauk. Minsk. 1973. pp. 23.
4. Khromov Yu.V. *Raschetno-eksperimentalnoye opredeleniye dinamicheskikh kharakteristik avtotraktornykh dizeley* [Numerical and experimental determination of the dynamic characteristics of automotive diesel engines]. Avtomobilnaya promyshlennost. Moscow, 1965. № 2. pp. 5-7.
5. Markov V.A., Sirotin Ye.A. *Formirovaniye chastichnykh regulatorynykh kharakteristik dizelya* [Formation of partial regulatory characteristics of diesel]. Avtomobilnaya promyshlennost, Moscow, 2002. № 6. pp. 7-12.

ВАРИАНТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КАНАТНЫХ УСТАНОВОК
НА ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ В РАВНИННОЙ МЕСТНОСТИ

О.Н. МАТЮШКИНА, ст. преп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ

matyushkina@mgul.ac.ru

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

Отводимые в рубку участки лесного фонда Российской Федерации постепенно приобретают вид тех или иных выборочных рубок и перемещаются на заболоченные грунты. Организация технологического процесса выборочных рубок в определенных условиях, например, в заболоченных местностях, с применением трелевочных, трелевочно-транспортных канатных установок. Предложенные технологические схемы освоения лесосек значительно увеличивают длину пасек, расстояние между магистральными волоками и позволяют не создавать технологические коридоры. Преимущества данной технологии позволяют уложиться в нормативы по правилам заготовки древесины.

Ключевые слова: выборочные рубки, заболоченные местности.

Общий запас древесины на корню в Центральном федеральном округе составляет 4,8 % общероссийского запаса, расчетная лесосека составляет 6 %. Лесистость округа не превышает 35 %. Округ занимает 5-е место среди федеральных округов по производству деловой древесины. Наибольшие запасы древесины приходятся на Костромскую и Тверскую области. Наибольшая лесистость

территории (более 50 %) характерна для Костромской, Тверской и Владимирской областей. Эти же области лидируют по производству деловой древесины.

Лесной фонд России, особенно Центральный федеральный округ Российской Федерации, характеризуется истощенностью и без того малолесных районов, в зоне расположения лесопромышленных предприятий и

транспортных путей. Поэтому отводимые в рубку участки лесного фонда постепенно приобретают вид тех или иных выборочных рубок и перемещаются на заболоченные грунты.

Выборочные рубки – это рубки, при которых на соответствующих землях или земельных участках вырубается часть деревьев и кустарников определенного возраста, размера, качества и состояния. В зависимости от характера вырубаемых деревьев и технологии проведения рубок выделяют следующие виды выборочных рубок спелых, перестойных лесных насаждений: добровольно-выборочные, группово-выборочные, равномерно-постепенные, группово-постепенные, чересполосные постепенные, длительно-постепенные рубки.

Организация технологического процесса выборочных рубок значительно проще для применения при горном рельефе с применением трелевочных, трелевочно-транспортных канатных установок. В определенных условиях, например в заболоченных местностях, можно применить с некоторыми технологическими

особенностями группово-выборочные рубки с применением канатных лесотранспортных установок, где использование других транспортных средств нецелесообразно и весьма затруднительно. Группово-выборочные рубки ведутся на площадях лесных насаждений с группово-разновозрастной структурой, при которых вырубаются перестойные и спелые деревья преимущественно группами, в соответствии с их размещением по площади лесосеки и особенностями воспроизводства. Предельная площадь лесосек для данного вида выборочных рубок спелых, перестойных лесных насаждений составляет 100 га. Площадь групп рубки составляет от 0,01 до 0,5 га. Таким примером может послужить выполнение выборочных рубок многофункциональными машинами, а также опыт применения зарубежной многофункциональной техники с канатно-чокерной оснасткой.

Один из вариантов технологической схемы может быть таким: ширина лесосеки может достигать 1,5 км, что обусловлено длиной каната, по длине лесосека может достигать до 10 км, ширина вырубаемых полос не должна превышать 100 м.

В подготовительных работах прорубаются деревья в зоне визира, но не более 1,5 м шириной. Использовать такой визир можно в искусственных насаждениях (при их закладке), а также в естественных лесах на весь срок лесопользования. Мачтами для канатов могут являться растущие деревья. Такие канаты можно оставлять на весь срок действия заготовки леса на этой лесосеке. Таким образом, уменьшается время на сборку и разборку установки и естественно увеличивается время на основные работы.

Во втором варианте можно рассмотреть пример, когда лесосека находится в 500 м от дороги, строить усы в заболоченной местности практически невозможно, поэтому можно перевести многофункциональную канатно-трелевочную установку в канатно-транспортную и перевозить сортименты или хлысты сразу к дороге.

Предложенные технологические схемы освоения лесосек при группово-выборочных рубках на заболоченной местности

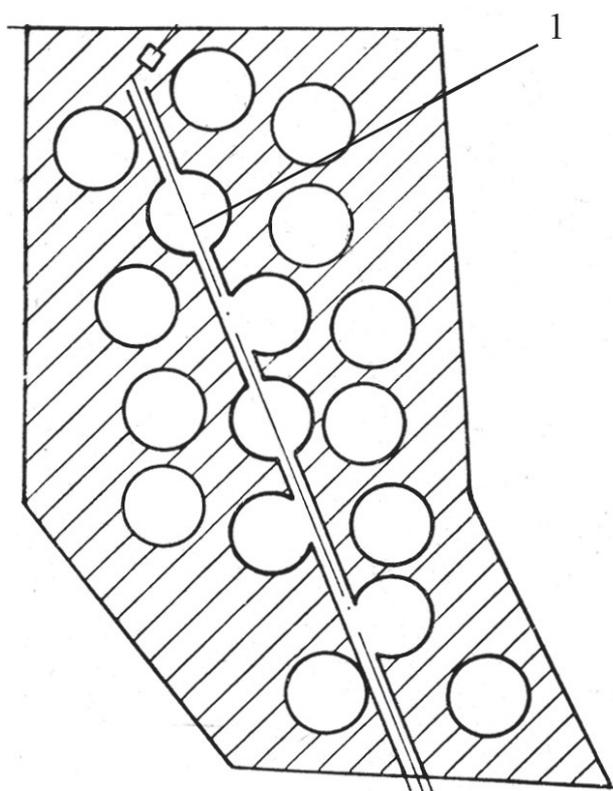


Рисунок. Группово-выборочные рубки: 1 – просвет технологического коридора

значительно увеличивают длину пазов, расстояние между магистральными волоками и позволяют не создавать технологических коридоров. Это сократит затраты на обустройство магистральных волоков, позволит осваивать заболоченные площади в летний период, и уход за лесом будет осуществляться в соответствии с биологическими требованиями лесоводства. Преимущества данной технологии позволят уложиться в нормативы по правилам заготовки древесины: (общая площадь трасс волоков и дорог должна составлять при выборочных рубках не более 15 % от площади лесосеки. Ширина трасс волоков для самоходных установок не должна превышать 10 м.)

При освоении заболоченных местностей придется учитывать комплекс факторов, влияющих на эффективность применения различных транспортных средств, выявлять, что целесообразнее применять в каждом конкретном случае, поэтому при выборе канатной установки должны сочетаться техни-

ческие, экономические и лесоводственные аспекты.

Библиографический список

1. Быковский, М.А. Высокотехнологичные лесозаготовительные производства на базе multifunctionальных машин / М.А. Быковский, А.К. Редкин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 5(81). – С. 41–42.
2. Макаренко, А.В. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства / А.В. Макаренко, М.А. Быковский. – М., 2009 – 372 с.
3. Калущий, К.К. Технология лесоразработок и лесовосстановления в горных условиях / К.К. Калущий, М.Ф. Лазарев, В.С. Холявко – М.: Лесная промышленность, 1967. – 136 с.
4. Каневский, М.В. Лесозаготовки в горных районах СССР и за рубежом / М.В. Каневский, К.И. Вороницын. – М.: Лесная промышленность, 1974. – 384 с.
5. Матюшкина, О.Н. Анализ применения зарубежной multifunctionальной техники с канатно-чокерной оснасткой на выборочных рубках / О.Н. Матюшкина, М.А. Быковский // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1(93). – С. 112–116.

APPLICATIONS OF CABLE SYSTEMS FOR SELECTIVE FELLING IN FLAT TERRAIN

Matyushkina O.N. (MSFU)

matyushkina@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU),

1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytishchi, Moscow region, Russia

Discharged into the wheelhouse forest areas of the Russian Federation gradually take the form of certain selective logging and move on swampy soils. The technological process of selective logging, in certain conditions, such as wetlands using skidders, Logging and transport cable system. Technological development schemes proposed logging sites, significantly increases the length of the apiaries, the distance between backbone portages and lets not create technology corridors. The advantages of this technology will meet the standards for timber harvesting rules.

Key words: selective logging, wetlands.

References

1. Bykovskiy, M.A., Redkin, A.K. *Vysokotekhnologichnyye lesozagotovitelnyye proizvodstva na baze mnogofunktionalnykh mashin* [High-tech timber production on the basis of multifunctional machines]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2011 № 5(81). pp. 41-42.
2. Makarenko, A.V., Bykovskiy, M.A. *Mногоoperatsionnyye mashiny dlya lesozagotovok i lesokhozyaystvennogo proizvodstva* [Multicenters machines for harvesting and forestry production]. Moscow. 2009. 372 p.
3. Kalutskiy, K.K., Lazarev M.F., Khol'yavko V.S. *Tekhnologiya lesorazrabotok i lesovosstanovleniya v gornykh usloviya* [Technology lumbering and reforestation in mountain conditions]. Lesnaya promyshlennost, 1967. 136 p.
4. Kanevskiy, M.V., Voronitsyn, K.I. *Lesozagotovki v gornykh rayonakh SSSR i za rubezhom* [Logging in the mountainous regions of the USSR and abroad]. Lesnaya promyshlennost, 1974. 384 p.
5. Matyushkina O.N., Bykovskiy M.A. *Analiz primeneniya zarubezhnoy mnogofunktionalnoy tekhniki s kanatno-chokernoy osnastkoy na vyborochnykh rubkakh* [Analysis of the application of foreign multifunction machines with rope-choker snap on selective felling]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013 № 1(93). p. 112-116.

БИОРЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛЕСОВ ПОДМОСКОВЬЯ КАК ПЕРСПЕКТИВА ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕГИОНЕ

А.В. ПАШКОВ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства МГУЛ*

maybach62gti@gmail.com

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

Определено направление ведения лесного хозяйства в защитных лесах Московской области и переработки заготовленной низкосортной древесины, а также объемы проведения связанных с этим санитарных рубок.

Ключевые слова: заготовка топливной древесины, Московская область, защитные леса, рубки промежуточного пользования, спелые и перестойные леса, использование порубочных остатков, санитарная рубка.

В связи с принятием большинством стран Киотского протокола большое внимание стало уделяться получению энергии из возобновляемых источников. Они получили название альтернативных источников энергии. В разных странах имеются перспективы для получения энергии из разных энергоносителей [3]. Россия имеет огромный потенциал для получения энергии из древесных источников. В связи со сложившейся обстановкой в лесах Подмосковья леса этого региона целесообразно рассматривать как лесосырьевую базу для предприятий, специализирующихся на заготовке топливной древесины.

Как известно, все леса Московской области защитные. Это налагает определенные ограничения на проведение рубок в них. Действующей редакцией Лесного кодекса Российской Федерации разрешено проведение в защитных лесах санитарных рубок [1]. В связи с большим объемом древесины, нуждающейся в уборке в лесах, Московская область обладает большим биоресурсным потенциалом. Объем древесины, подлежащей уборке, состоит из ельников, пораженных короедом-типографом, горельников и перестойных лиственных насаждений, древесина, заготовленная в них, не находит большого спроса у населения. Все большая популярность альтернативных источников энергии и рост цен на нефть, природный газ и каменный уголь, являющихся невозобновляемыми видами топлива, заставляет искать новые источники энергии. В качестве такого источника целесообразно рассматривать порубочные

остатки после проведения санитарных рубок и рубок ухода, которые можно использовать в энергетических целях. В то же время количество населения, нуждающегося в дровах, неуклонно снижается. Этому способствуют газификация и электрификация жилищного фонда как в городах, так и в сельской местности.

Прирост древесины, ограничения на рубки, недорубы расчетной лесосеки и воздействие неблагоприятных факторов приводят к накоплению перестойной древесины, которая с течением времени теряет качество, теряя биологическую устойчивость к различным неблагоприятным факторам, и тем самым приводит к убыточности ведения лесного хозяйства как в регионе, так и в масштабах всей страны [6].

Кроме того, большой объем древесины образуется при рубках ухода за лесом. Эта древесина остается на месте проведения работ, складывается и нередко мешает нормальному росту пород, за которыми производится уход. При уборке захламленности древесина оставляется в лесу в штабелях, что улучшает только эстетический вид участка лесного фонда, в котором она проводилась.

Для получения более подробной информации о лесном фонде Московской области был проведен анализ Лесного плана Московской области 2010 г. (по состоянию на 01.01.2009 г.).

В Московской области в настоящее время образовано 19 лесничеств. Общее количество участков лесничеств на терри-

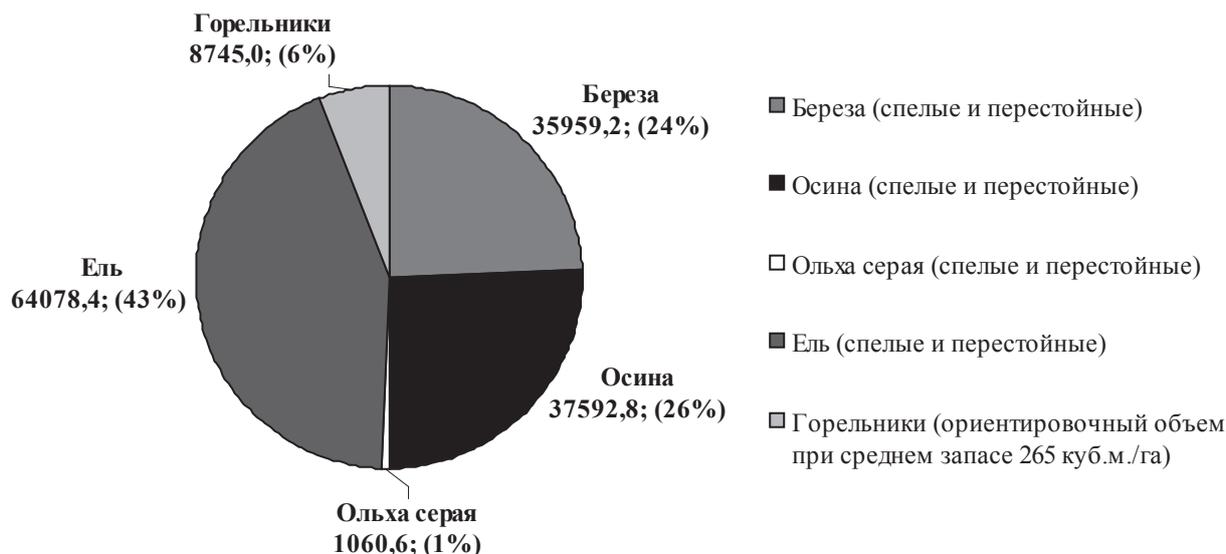


Рис. 1. Распределение древесины, требующей проведения санитарных рубок, в лесах Московской области, тыс. м³

тории Московской области составляет 279, в т.ч. 30 из них – бывшие лесопарки. Площадь лесов Московской области составляет 2 179,4 тыс. га, в т.ч. 2 015,6 тыс. га на землях лесного фонда. Запас древесины составляет 431 881,2 тыс. м³, в т.ч. в лесах, расположенных на землях лесного фонда – 402123,6 тыс. м³. Распределение искомых ельников на землях лесного фонда, возможно, пораженных короедом-типографом начиная с приспевающего возраста, составляет 192,9 тыс. га (64 078,4 тыс. м³), в т.ч. по группам возраста и запасам: приспевающих – 113,4 тыс. га (37 714,0 тыс. м³), спелых и перестойных – 79,5 тыс. га (26 364,4 тыс. м³), из них перестойных 0,1 тыс. га (44,7 тыс. м³). Распределение спелых и перестойных березняков, осинников и сероольшанников составляет 306,0 тыс. га (74 612,6 тыс. м³), в т.ч. перестойных – 87,4 тыс. га (25 506,4 тыс. м³), в т.ч. березняков – спелых и перестойных 159,1 тыс. га (35 959,2 тыс. м³), в т.ч. перестойных – 4,7 тыс. га (2 214,9 тыс. м³); осинников – спелых и перестойных 139,5 тыс. га (37 592,8 тыс. м³), в т.ч. перестойных – 82,5 тыс. га (23 253,8 тыс. м³); сероольшанников – спелых и перестойных 7,4 тыс. га (1060,6 тыс. м³), в т.ч. перестойных 0,2 тыс. га (37,7 тыс. м³). Объем приспевающих мягколиственных насаждений по породам березняков – 141,1 тыс. га (31437,1 тыс. м³), осинников – 7,4 тыс. га (1 376,9 тыс. м³), сероольшанни-

ков – 15,7 тыс. га (2 060,1 тыс. м³) [2]. Изложенное можно свести в круговую диаграмму (рис. 1).

Запас искомым пород в лесах, расположенных на землях иного назначения, в сравнении с запасами в лесном фонде ничтожно мал и не рассмотрен в настоящей работе.

На долю мягколиственных пород приходится 53 % лесопокрытой площади, хвойных – 45,1 %, твердолиственных – 1,9 % [2].

Основными лесообразующими породами в лесах области являются: береза – 39,5 %, ель – 24,9 %, сосна – 20,0 %, осина – 8,6 %, дуб – 1,8 %, ольха серая – 2,4 %, ольха черная – 1,8 %, липа – 0,6 %, остальные породы – 0,4 %. Средний состав лесного фонда Московской области – 4Б2Ос2С2Е+Олс, Олч,Лп,Ивд, средний возраст – 65 лет, средний запас на 1 га спелых и перестойных насаждений – 265 м³ [2].

Ежегодный прирост в лесах Подмосковья составляет 6,6 млн м³, что является безопасной нормой изъятия древесины. Анализ лесного плана Московской области показывает, что расчетная лесосека для заготовки древесины на 01.01.2007 г. составляла 2098,3 тыс. м³ и использовалась на 13,7 % [2].

Товарная структура на 01.01.2009 г. составляла 64,7 % деловой древесины, 23,5 % технологического сырья и 11,8 % топливной древесины [2]. В настоящее время она увели-

чилась в сторону технологического сырья и топливной древесины.

В связи с низкой эффективностью использования заготовленной древесины и значительным поражением стволовыми вредителями объем отходов лесопереработки после выработки готовой продукции может значительно возрасти. Кроме того, из-за состояния лесных дорог заготовленная древесина не всегда своевременно вывозится, часть ее теряет качество и оставляется на лесосеке в виде крупных порубочных остатков. Кроме того, действующей редакцией Лесного кодекса закреплен запрет на применение любых химических препаратов в защитных лесах, что не позволяет уменьшить потери деловой древесины увеличением сроков ее хранения [1]. Это предоставляет дополнительный объем ресурсов, из которых можно произвести древесное топливо.

В настоящее время в Московской области имеется большой объем старовозрастных ельников, в различной степени пораженных короедом-типографом. Часть древесины, в меньшей степени пораженной типографом, используется для получения пиломатериалов, оставшаяся часть – в качестве топливной древесины. В зависимости от степени поражения насаждений часть заготовленной древесины остается на лесосеках в виде порубочных остатков и сжигается в пожаробезопасный период. Этот объем древесины также возможно использовать в биоэнергетике.

Кроме того, возможна разработка горельников 2010 г., площадь которых, по данным ФБУ «Рослесозащита», составляет порядка 33 тыс. га, 2/3 из которых погибли полностью. Заготовленную на горельниках древесину целесообразно использовать для получения древесного угля, находящего потребительский спрос в промышленности и в быту. Древесный уголь вырабатывается при пиролизе древесины. Важным достоинством пиролиза является то, что, кроме древесного угля, при этом процессе вырабатывается ряд органических веществ, находящихся применение в медицине и промышленности. В случае с горельниками энергия лесного пожара сделала дело, оставив большие выгоревшие площади, что позволяет

уменьшить затраты энергии на выработку единицы объема древесного угля.

Согласно Лесному плану Московской области, ЛПК существенно снизил свою долю в экономике региона. Доля области в общероссийских показателях и по Центральному федеральному округу незначительна, за исключением мебельного производства. Объемы заготовки и вывозки древесины, а также лесопереработка остаются значительно ниже 1990 г. По данным Лесного плана, основными проблемами, сдерживающими развитие ЛПК области, являются: 1) недоиспользование потенциальных возможностей развития лесопромышленного производства при наличии в московском регионе емкого внутреннего рынка лесобумажной продукции и относительно высокой покупательской способности населения; 2) низкий уровень лесопользования, не позволяющий обеспечить работу действующих деревообрабатывающих производств, следствием чего являются неоправданно высокие объемы завоза на территорию области малоценного древесного сырья для производства плитной продукции, при наличии в достаточном количестве этой древесины в лесном фонде области; 3) низкий уровень использования производственных мощностей; 4) недоиспользование объективных преимуществ малого предпринимательства в лесозаготовительном производстве и первичной деревообработке, обусловленное существенным ухудшением условий для малого предпринимательства из-за изменения лесного законодательства, вследствие чего снизились объемы лесозаготовок и производства пиломатериалов, обострилась проблема обеспечения рабочими местами в лесных поселках и сельской местности; 5) недостаточная инвестиционная привлекательность лесного сектора экономики области, связанная с неустойчивым рынком лесного сырья в области, низкой концентрацией лесосырьевых ресурсов [2].

Обладая высоким ресурсным потенциалом, Московская область ввозит из других регионов страны различные лесоматериалы [2].

Уровень доходов населения, работающего в лесном хозяйстве, ниже, чем в городах области, что вызывает миграционный отток

Карта расположения еловых насаждений, пораженных короедом-типографом, и расположение промышленных площадок для размещения перерабатывающих низкокачественную древесину предприятий



Рис. 2. Распределение еловых насаждений, требующих проведения санитарных рубок в очагах короеда-типографа в Московской области и размещения предполагаемых потребителей низкокачественной древесины, полученной от их проведения (данные Комитета лесного хозяйства Московской области)

населения в города и возникновение проблемы дефицита трудовых ресурсов для лесных предприятий [2].

Поражение вредителями лесов Московской области и предполагаемое размещение перерабатывающих мощностей показано на карте (рис. 2).

Как видно из карты, перерабатывающие предприятия должны располагаться на северо-западе и юго-востоке области, что объясняется на западе – большими площадями еловых лесов, пораженных короедом-типографом, а на востоке – большими площадями горельников 2010 г.

Фиолетовые области карты – насаждения, требующие санитарной рубки; зеленые маркеры – промышленные площадки для размещения перерабатывающих производств [7].

Проведя анализ Лесного плана Московской области, можно сделать следующий вывод: регион обладает богатым биоресурсным потенциалом и ведение лесного хозяйства в нем должно быть нацелено на проведение санитарных рубок и рубок ухода. Древесина, заготовленная в результате этих рубок, не находит большого спроса на рынке. Чтобы повысить доход от ведения лесного хо-

зьяства, необходимо уделить внимание более полной переработке заготовленной древесины, особенно лиственных пород, ее наиболее полному использованию.

Применение порубочных остатков в энергетических целях решает ряд задач, важных для сложившейся модели ведения лесного хозяйства в регионе:

- снижение пожарной опасности в лесах путем уменьшения объема лесных горючих материалов;
- уменьшение объема древесины, являющейся источником лесопатологической опасности для менее ослабленных лесов;
- повышение прироста и улучшение породного состава лесов;
- решение проблемы очистки лесосек от порубочных остатков;
- повышение эстетики лесов региона;
- повышение заинтересованности в ведении лесного хозяйства;
- интенсификация ведения лесного хозяйства в регионе;
- повышение качества лесов Московской области;
- восстановление штата рабочих, задействованных в ведении лесного хозяйства;
- дополнительный источник финансирования лесохозяйственных мероприятий за счет реализации в энергетических целях порубочных остатков;
- повышение доходности лесного хозяйства;

– развитие лесохимии в регионе;

– источник тепловой энергии для отопления контор лесничеств, лесных кордонов и жилых домов не только работников лесного хозяйства, но и частного жилищного сектора.

Следует заметить, что часть неликвидной древесины остается в лесу для поддержания оптимального объема кормовых ресурсов и безопасного баланса сапрофитов в лесной экосистеме. Эта древесина составляет лесную подстилку. Она включает в свой объем древесину, представленную старым ветровалом и бурелом, тонкие сучья и ветви, опавшую хвою и листву. Объем фитомассы, оставленного на лесосеке после сбора порубочных остатков, хватит для поддержания

лесного биоценоза в равновесии и недопущения в дальнейшем ситуации последних лет, а также защиты трелевочных волоков от почвенной эрозии.

Подобные технологии есть в лесопромышленном комплексе Республики Беларусь и стран Скандинавского полуострова (например, Финляндия, максимально использующая порубочные остатки) [4].

Топливная древесина может быть использована при выработке тепло- и электроэнергии котельными и ТЭЦ, переведенными на твердое древесное топливо. Также древесное топливо может быть применено для сушки готовой продукции до нужной влажности.

Кроме того, разработаны установки для пиролиза древесины, позволяющие получать из порубочных остатков и низкокачественной древесины древесный уголь.

В сравнении с ископаемыми видами топлива, например мазутом, древесное топливо при том же количестве производимой тепловой энергии меньше нарушает экологию.

Перевод котельных с мазута и каменного угля на топливную древесину может снизить себестоимость единицы теплоэнергии.

Библиографический список

1. Лесной кодекс Российской Федерации: текст с изменениями и дополнениями на 2013 год. – М.: Эксмо, 2013. – 96 с.
2. Лесной план Московской области. Книги 1,2. г. – М., 2010.
3. Косенко, В.Г. Перспективы развития биотопливной промышленности в России / В.Г. Косенко, Н.А. Вохмянин, Т.В. Коваленко // ЛесПромИнформ. – № 10, август 2003. – С. 60–62.
4. Ледницкий, А.В. Сравнительный анализ систем машин для производства топливной щепы / А.В. Ледницкий // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1(93). – 2013. – С. 94–99.
5. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке / А.В. Макаренко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1(93). – 2013. – С. 99–105.
6. Пискунов М.А. Закономерности образования лесосечных отходов на лесосеках // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1(93). – 2013. – С. 117–121.
7. Трунов, Е.С. Доклад «Об итогах выполнения санитарно-оздоровительных мероприятий в лесах Московской области в 2013 г.» / Трунов Е.С.

BIORESOURCE POTENTIAL OF MOSCOW REGION FORESTS
AS PERSPECTIVE FOR FORESTRY IN REGION

Pashkov A.V. (MSFU)

maybach62gti@gmail.com

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

Analysing direction of forestry in protect woods of Moscow region and conversion cut junk wood, and volume forest environmental harvesting.

Keywords: harvesting forest-energy wood, Moscow region, protect woods, logging of interval using, mature and overmature woods, using felling debris, forest environmental harvesting.

References

1. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii: tekst s izmeneniyami i dopolnениyami na 2013 god* [Forest Code of the Russian Federation: the text with amendments for 2013]. Moscow. Eksmo, 2013. 96 p.
2. *Lesnoy plan Moskovskoy oblasti* [Forest plan of the Moscow Region]. Knigi 1, 2. Moscow. 2010.
3. Kosenko, V.G., Vokhmyanin, N.A., Kovalenko, T.V. *Perspektivy razvitiya biotoplivnoy promyshlennosti v Rossii* [Prospects for the development of the biofuel industry in Russia]. LesPromInform № 10, avgust 2003, pp. 60-62.
4. Lednitskiy, A.V. *Sravnitelnyy analiz sistem mashin dlya proizvodstva toplivnoy shchepy* [Comparative analysis of systems of machines for production of wood chips]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1(93) 2013. pp. 94-99.
5. Makarenko, A.V. *Programmnoye proyektirovaniye trelevochnykh volokov na lesoseke* [Software design skid trails on the cutting area]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1(93) 2013. pp. 99-105.
6. Piskunov, M.A. *Zakonomernosti obrazovaniya lesosechnykh otkhodov na lesosekakh* [Regularities of cutting waste at logging sites]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1(93) 2013. pp. 117-121.
7. Trunov, Ye.S. *Doklad «Ob itogakh vypolneniya sanitarno-ozdorovitelnykh meropriyatiy v lesakh Moskovskoy oblasti v 2013 godu»* [Report «On the results of sanitary measures in the forests of the Moscow region in 2013»].

ГРАФОАЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБОСНОВАНИЮ
РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОКВАРТАЛЬНОГО
ОСВОЕНИЯ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА

К.П. РУКОМОЙНИКОВ, доц. каф. ТОЛП Поволжского ГТУ, канд. техн. наук

rukomojnikovkp@volgatech.net

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, кафедра ТОЛП
424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-ола, пл. Ленина, д. 3.

Предложена методика выбора рациональной схемы транспортного освоения лесных участков. В расчетах использован графоалгоритмический метод решения поставленной задачи. Предложенная методика позволяет осуществить поиск рационального варианта размещения лесовозных дорог, магистральных волоков и технологических коридоров в лесном квартале, сократить затраты на обустройство погрузочных пунктов, прокладку транспортных путей и трелевку по ним лесоматериалов.

Ключевые слова: лесной квартал, алгоритм, лесозаготовка, трелевка, технологическая схема, трелевочный волок, лесосека, погрузочный пункт.

Одной из важных задач лесопромышленного комплекса, решаемых при выборе рациональной технологической карты освоения как отдельных лесосек, так и всего лесного квартала в целом является выбор рациональной схемы транспортного освоения лесных участков, позволяющей сократить затраты на выполнение подготовительных и

основных операций лесосечных работ на их территории.

В настоящее время разработаны методики выбора трасс трелевочных волоков лесосек [1], рассмотрены вопросы их компьютерного проектирования [2], обоснован алгоритм поиска оптимального положения лесовозного уса на лесосеке и размещения

погрузочных пунктов на ней [3], разработаны методики оптимизации транспортно-технологического освоения лесного фонда [4, 5].

Особого внимания заслуживают исследования, посвященные моделированию размещения погрузочных пунктов и сети волоков на лесосеке с использованием лингвистических переменных в качестве структур для моделирования [6, 7] и покрытия гиперсети взвешенным корневым деревом [8–10]. Наглядность структуры теории графов позволяет сделать доступными решение довольно сложных прикладных задач, развить и разнообразить методики их решения.

В предлагаемой методике предпринята попытка использования графоалгоритмических методов для обоснования рационального варианта размещения транспортных путей в лесном квартале при поквартальной форме организации лесного хозяйства.

При анализе вариантов поквартального освоения участков лесного фонда существует возможность наглядного изображения лесного квартала и находящихся на его территории выделов и лесосек в виде рисунка, представляющего связи между определенными парами точек (вершин), характеризующих основные элементы анализируемой ситуации, соединенных посредством линий (ребер). Для решения поставленной задачи в качестве таких

вершин могут быть признаны всевозможные варианты размещения погрузочных пунктов и участков лесосек, а в качестве ребер использованы возможные варианты соединяющей их сети транспортных путей (поквартальных просек, лесовозных дорог, технологических коридоров, магистральных и пасечных волоков). Подобное представление лесного квартала является эффективным инструментом для формулировки и решения задач обустройства и размещения на его территории основных технологических элементов для выполнения всего комплекса лесосечных работ.

Пример постановки данной задачи приведен на рис. 1, где представлена карта лесного квартала с наиболее вероятными вариантами размещения погрузочных пунктов и транспортных путей. Число данных элементов может быть различно и проектируется в зависимости от различных условий местности: рельефа, почвенно-грунтовых условий, территориального размещения выделов различного класса возраста и состояния, требующих на разных этапах развития различных мероприятий, наличия заболоченных участков, прогалин и т.д. Кроме того, для получения более точно отражающих реальную ситуацию результатов, при построении технологической карты лесного квартала с указанием расположенных на его территории лесосек, может быть допущена дополнительная детализация их геометрических характеристик, связанная с разделением всех или части крупных лесосек вытянутой формы на ряд небольших участков, характеризующихся своими «центрами тяжести» выполняемых работ. На представленном рисунке подобная детализация предпринята для разделения на участки двух выделов, в результате которой получены участки лесосек с центрами тяжести, обозначенными номерами 4, 6, 8 и 5, 7.

Все это многообразие вариантов, количество которых в реальной ситуации может быть значительно больше, чем это продемонстрировано на рисунке, призвано обеспечить выбор наиболее приемлемой технологии разработки лесного квартала, основываясь на максимальном числе заложенных в алгоритм способов его транспортного освоения.

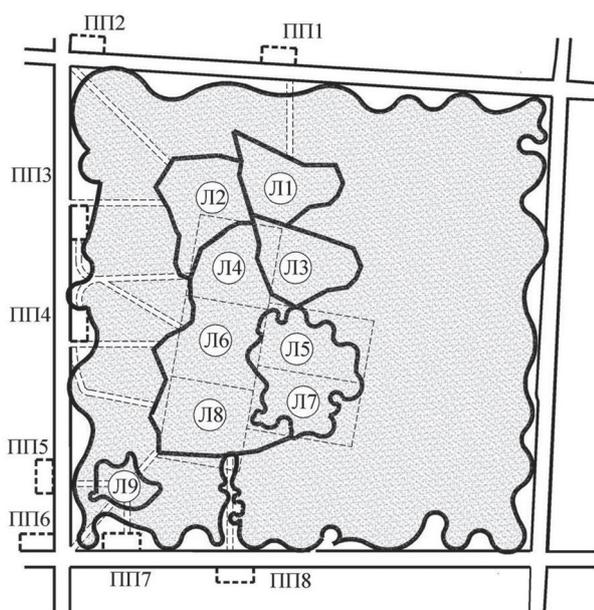


Рис. 1. Постановка задачи выбора схемы размещения транспортных путей в лесном квартале

Для построения графа введем обозначения наиболее вероятных мест размещения погрузочных пунктов (ПП1, ПП2, ..., ППg, ... ППk) и, обозначив центры тяжести каждого участка лесосеки (Л1, Л2, ..., Ли, ... Лn), соединим их ребрами на графе в соответствии с наиболее вероятными направлениями трелевки древесины.

Очевидно, что при увеличении числа возможных вариантов размещения погрузочных пунктов и числа разрабатываемых лесосек на территории лесного квартала, а также от уровня детализации принятого при построении схемы транспортных путей на его территории число вариантов остовов графов растет в геометрической прогрессии.

Линиям, ведущим напрямую от погрузочного пункта к участку лесосеки, присваивается значение C_{mg} равное значению стоимости подготовки погрузочного пункта, необходимого для использования данного направления. Линиям, соединяющим погрузочные пункты между собой, а также соединяющим между собой участки лесосек, присваивается значение $C_{mn} = 0$, свидетельствующее о том, что использование данных транспортных путей не вызывает необходимости обустройства погрузочного пункта. Использование данного показателя позволит сократить число погрузочных пунктов, т.к. становится очевидным, что внедрение магистрального волока в граф предусматривает дополнительные материальные затраты на обустройство примыкающего погрузочного пункта. Все вершины, характеризующие погрузочные пункты, должны быть связаны между собой ребрами, соответствующими поквартальным просекам, но не образовывать замкнутого цикла.

Предлагаемый алгоритм основывается на алгоритме Прима и позволяет осуществить выбор кратчайшего остова графа задачи выбора схемы размещения транспортных путей в лесном квартале (рис. 4) посредством разрастания одного поддерева графа (обозначим его T_s), содержащего больше одной вершины. Особенность задачи размещения транспортных путей в лесном квартале, заключается в специфике поквартального способа освоения лесного

участка, предусматривающего последовательное увеличение веса каждой следующей присоединяемой к поддереву графа вершины за счет веса всех или части вершин, присоединенных к поддереву графа ранее. На практике ведения лесосечных работ в квартале отчетливо видно, что расстояние трелевки древесины и затраты на трелевку с каждого нового анализируемого участка должны учитывать удаленность от погрузочного пункта предыдущего участка, через территорию которого проложен волок.

Для реализации предлагаемого алгоритма пронумеруем вершины графа так, чтобы вершина x_{gi} , соответствующая крайнему на графе варианту размещения погрузочного пункта, получила номер $x_{g=1; i=0}$. Вершины, обозначающие погрузочные пункты, соединяем между собой ребрами до достижения незамкнутого контура. Поддерево графа постепенно разрастается за счет присоединения ребер $(x_{gi}; x_{g(i+1)})$, где $x_{gi} \in T_s$, а $x_{g(i+1)} \notin T_s$.

Работа предложенного алгоритма начинается с присвоения каждой вершине пометок $[S_{gi}; C_{bg(i+1)}]$. В данной пометке S_{gi} есть ближайшая к $x_{g(i+1)}$ вершина поддерева T_s , присоединяемая к поддереву при каждой новой итерации, а C – вес присоединяемого ребра графа, лежащего между точками $(x_{gi}; x_{g(i+1)})$.

Затраты на прокладку магистрального волока, обустройство погрузочного пункта и трелевки лесоматериалов с анализируемого участка лесного фонда (лесосеки) $x_{g(i+1)}$ («пометку» в условиях применения алгоритмического подхода к теории графов) можно найти по формуле

$$C_{bg(i+1)} = C_{bgi} + C_{gi \rightarrow g(i+1)} = \\ = C_{bgi} + L_{gi \rightarrow g(i+1)} C_{ппgi \rightarrow g(i+1)} + C_{ппgi \rightarrow g(i+1)} + \\ + \frac{C_T V_{g(i+1)} \left(T + \frac{2L_{g0 \rightarrow g(i+1)}}{v_{g \rightarrow g(i+1)}} \right)}{3600 Mm\varphi}$$

где C_{bgi} – затраты, связанные с присоединением к графу (к транспортной сети) предыдущей вершины (участка лесного фонда), связанной ребром (магистральным волоком) с анализируемым погрузочным пунктом x_{g0} , руб. и анализируемым участком лесосеки;

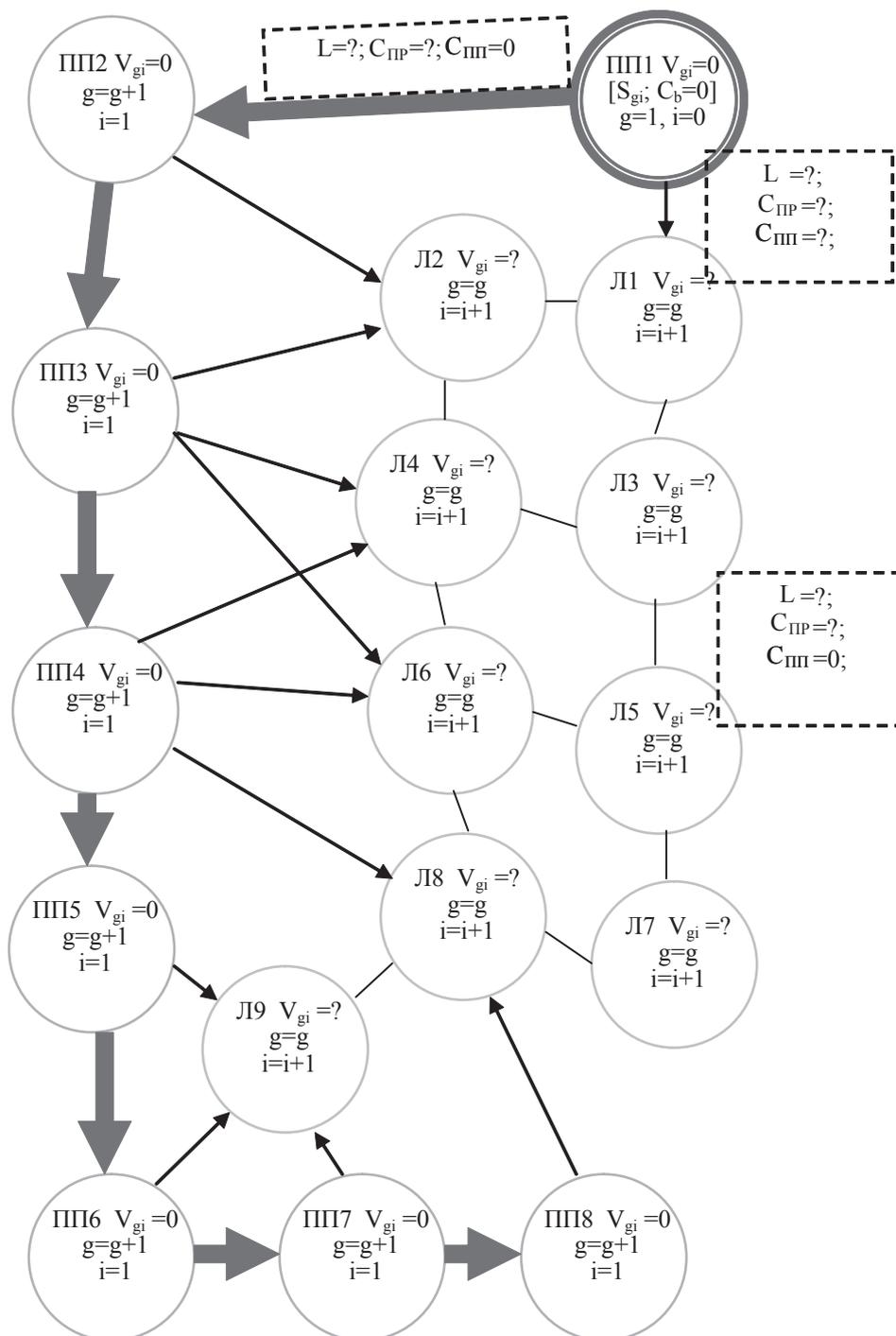


Рис. 2. Граф задачи выбора схемы размещения транспортных путей в лесном квартале

$L_{g_i \rightarrow g_{(i+1)}}$ – расстояние между смежными участками лесного фонда x_{g_i} и $x_{g_{(i+1)}}$ между которыми анализируется возможность прокладки магистрального волока, м;

$C_{пп_{g_i \rightarrow g_{(i+1)}}$ – стоимость прокладки магистрального волока между предыдущей вершиной (участком лесосеки) связанным в графе с вершиной x_{g_0} (по-

ручным пунктом) и анализируемой вершиной (участком лесосеки), руб.;

$C_{пп_{g_i \rightarrow g_{(i+1)}}$ – стоимость обустройства дополнительного погрузочного пункта для трелевкисесоматериалов участка $x_{g_{(i+1)}}$, руб. (указывается в тех случаях, когда анализируемый магистральный волок (ребро) примыкает непосредственно к погрузочному пункту (вершине x_{g_0});

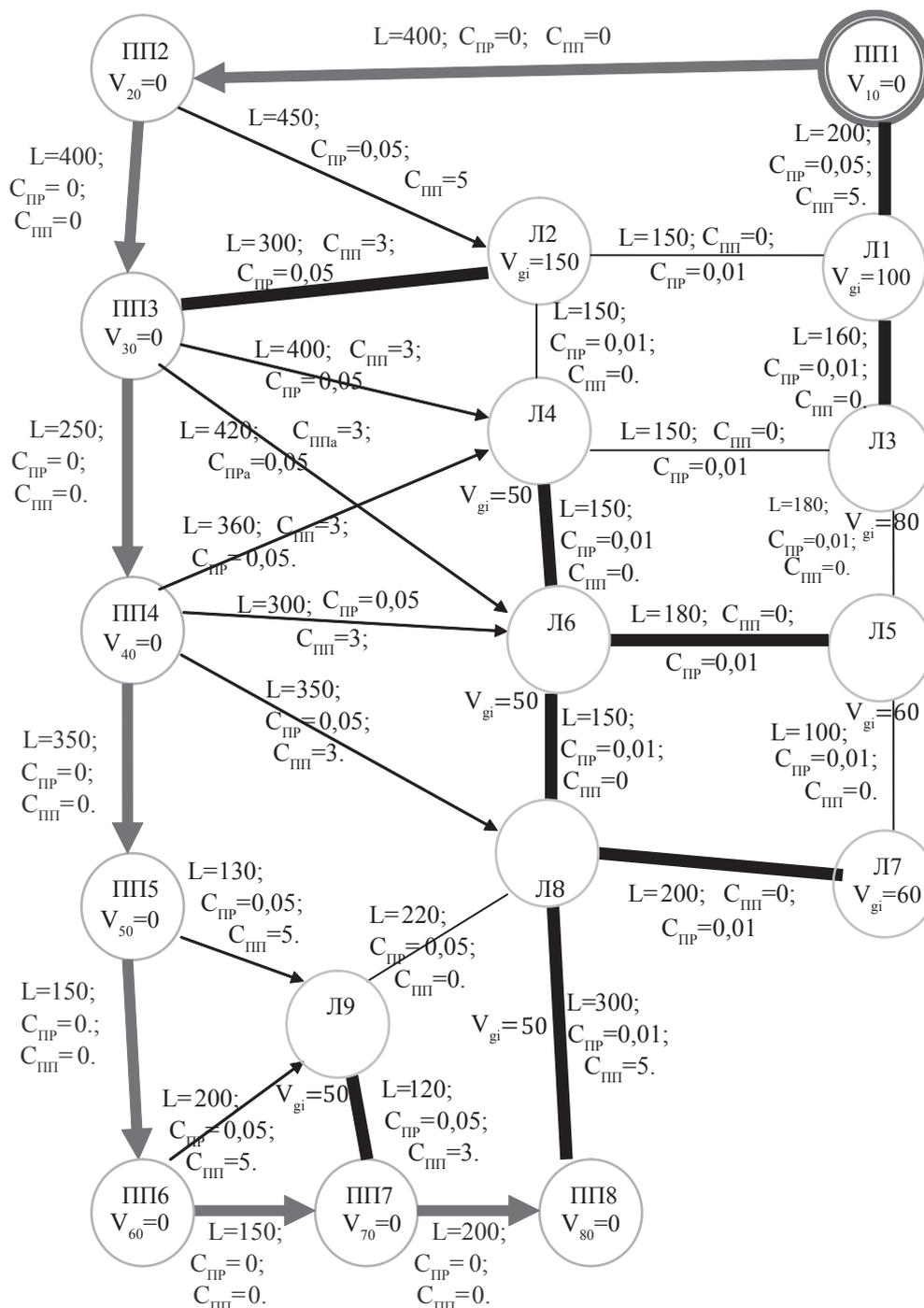


Рис. 3. Исходные данные к примеру решения задачи выбора схемы размещения транспортных путей

C_T – стоимость машиномены при трелевке древесины, руб./смена;
 $V_{g(i+1)}$ – вырубемый запас лесоматериалов на анализируемом участке лесной площади, m^3 ; T – трудозатраты при сборе и разгрузке пачки лесоматериалов, сек;
 $L_{g0 \rightarrow g(i+1)}$ – расстояние между погрузочным пунктом x_{g0} и анализируемым участком лесного фонда $x_{g(i+1)}$, м;

$v_{g0 \rightarrow g(i+1)}$ – средняя скорость движения машины, задействованной на трелевке при движении в холостом и грузовом направлениях на участке между погрузочным пунктом x_{g0} и анализируемым участком лесного фонда $x_{g(i+1)}$, м/с;
 M – средний объем пачки лесоматериалов, трелеваемых машиной, задействованной на трелевке лесоматериалов, m^3 ;

Пример решения задачи выбора схемы размещения транспортных путей на территории лесного квартала

№ итерации	1								2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пометка добавленной вершины		$[x_{10}, C_{b20}=0]$	$[x_{20}, C_{b30}=0]$	$[x_{30}, C_{b40}=0]$	$[x_{40}, C_{b50}=0]$	$[x_{50}, C_{b60}=0]$	$[x_{60}, C_{b70}=0]$	$[x_{70}, C_{b80}=0]$	$[x_{80}, C_{b81}=10]$	$[x_{70}, C_{b72}=11]$	$[x_{81}, C_{b83}=14]$	$[x_{81}, C_{b84}=15]$	$[x_{10}, C_{b85}=18]$	$[x_{83}, C_{b16}=18,6]$	$[x_{83}, C_{b87}=19]$	$[x_{10}, C_{b18}=23]$	$[x_{30}, C_{b39}=24]$
Включенное в остов ребро		(ПП1; ПП2)	(ПП2; ПП3)	(ПП3; ПП4)	(ПП4; ПП5)	(ПП5; ПП6)	(ПП6; ПП7)	(ПП7; ПП8)	(ПП8; Л8)	(ПП7; Л9)	(Л8; Л6)	(Л8; Л7)	(ПП8; Л4)	(ПП1; Л1)	(Л6; Л5)	(ПП1; Л3)	(ПП3; Л2)
Наименование вершины графа	Вершины, последовательно включенные в кратчайший остов графа																
	ПП1 (x_{10})	ПП2 (x_{20})	ПП3 (x_{30})	ПП4 (x_{40})	ПП5 (x_{50})	ПП6 (x_{60})	ПП7 (x_{70})	ПП8 (x_{80})	Л8 (x_{81})	Л9 (x_{72})	Л6 (x_{83})	Л7 (x_{84})	Л4 (x_{85})	Л1 (x_{16})	Л5 (x_{87})	Л3 (x_{18})	Л2 (x_{39})
Ближайшие к T_s вершины	ПП2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП3	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП4	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП5	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП6	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП7	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ПП8	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л1	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л2	-	35	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	26	-	-
	Л4	-	-	25	23	-	-	-	-	-	-	18	-	-	-	-	-
	Л6	-	-	26	20	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-
	Л8	-	-	-	22	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	Л9	-	-	-	-	13	17	11	-	24	-	-	-	-	-	-	-
	Л7	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-
Л5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	20	-	-	-	-	
Л3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	23	25	-	

m – время смены, ч;

ϕ – коэффициент использования времени смены.

При каждой новой итерации одна из вершин графа $x_{g(i+1)} \notin T_s$ присоединяется к поддереву T_s посредством добавления ребра $(S_{gi}; x_{g(i+1)})$. Добавляемое ребро должно иметь минимальный вес $C_{bg(i+1)}$ из всех примыкающих к поддереву T_s ребер. При добавлении к поддереву T_s новой вершины возникает необходимость пересмотра пометок $[S_{gi}; C_{bg(i+1)}]$ у некоторых вершин (участков лесосек или погрузочных пунктов), которые не принадлежат поддереву T_s , т.е. вершин $x_{g(i+1)} \notin T_s$. После этого процесс анализа может быть продолжен.

Анализ продолжается до тех пор, пока число ребер в поддереве T_s не станет равным $k + n - 1$, где n – общее число участков лесосек в графе, k – общее число погрузочных пунктов в графе, т.е. не будет проведен анализ всех предполагаемых вариантов размещения технологических коридоров и магистральных волоков. Полученное дерево можно будет принять в качестве кратчайшего остова графа, а, следовательно, и в качестве наиболее рационального варианта размещения сети трелевочных путей в анализируемом участке леса.

Рассмотрим пример решения поставленной на рис.1 задачи при следующих исходных данных: $C_T = 3$ д.е.; $M = 7$ м³; $T = 1200$

сек; $m = 7$ час; $\varphi = 0,75$. Среднюю скорость движения машины, задействованной на трелевке, примем равной для всех анализируемых участков на территории лесного квартала $v_{g0 \rightarrow g(i+1)} = 1$ м/с. Исходные данные, связанные с размещением транспортных путей между участками, представлены на рис. 3.

Решим задачу с использованием предложенного алгоритма (табл. 1). Кратчайший остов графа будет выглядеть следующим образом

$$T_s = \left\{ x_{10}, x_{20}, x_{30}, x_{40}, x_{50}, x_{60}, x_{70}, x_{80}, \right. \\ \left. x_{81}, x_{72}, x_{83}, x_{84}, x_{85}, x_{16}, x_{87}, x_{18}, x_{39} \right\};$$

$$A_s = \left\{ (x_{10}, x_{20}), (x_{20}, x_{30}), (x_{30}, x_{40}), (x_{40}, x_{50}), \right. \\ (x_{50}, x_{60}), (x_{60}, x_{70}), (x_{70}, x_{80}), (x_{80}, x_{81}), \\ (x_{70}, x_{72}), (x_{81}, x_{83}), (x_{81}, x_{84}), (x_{10}, x_{85}), \\ \left. (x_{83}, x_{16}), (x_{83}, x_{87}), (x_{10}, x_{18}), (x_{30}, x_{39}) \right\}$$

Таким образом, в результате анализа восьми вариантов размещения погрузочных пунктов на территории лесного квартала выявлено рациональное размещение, эффективность и достаточность использования лишь четырех из них (рис.4), продемонстрированы наилучшие направления прокладки магистральных волоков, соответствующие критерию снижения материальных затрат на освоение лесного квартала.

Предложенный графоалгоритмический метод анализа позволил получить в ходе

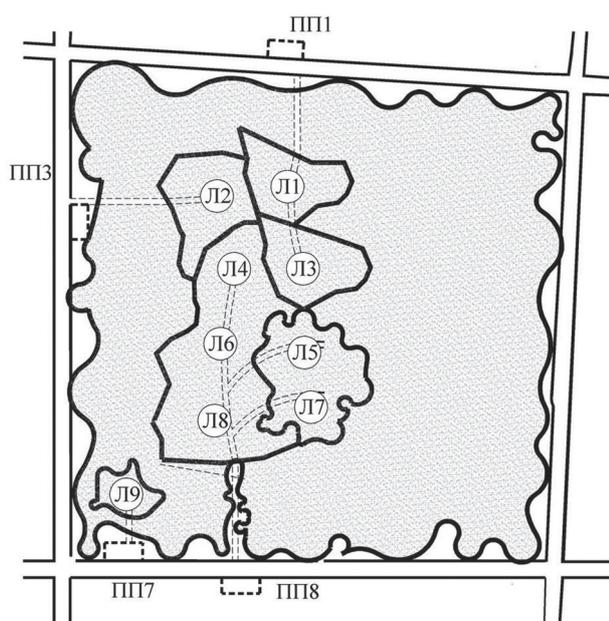


Рис. 4. Результаты выбора схемы размещения транспортных путей на территории лесного квартала

работы алгоритма рациональный вариант размещения транспортных путей в лесном квартале, сократить затраты на обустройство погрузочных пунктов, прокладку транспортных путей и трелевку по ним лесоматериалов.

Статья подготовлена в рамках научно-исследовательской деятельности ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет» по заданию Министерства образования и науки РФ № 7.1846.2011. по теме «Разработка основных технико-технологических подходов к внедрению и реализации промышленной технологии освоения лесных участков на базе комплексного решения задач технологического процесса лесосечно-лесовосстановительных работ с совмещенным лесовосстановлением».

Библиографический список

1. Кончев, А.М. Методология выбора трелевочных волоков лесосеки / А.М.Кончев, А.Н.Юшков // Лесной журнал. – № 3, 2013. – С. 65–70.
2. Макаренко, А.В. Программное проектирование трелевочных волоков на лесосеке /А.В.Макаренко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1(93), 2013. – С. 99–104.
3. Афоничев, Д.Н. Оптимизация в системе автоматизированного проектирования параметров размещения лесовозных усов и погрузочных пунктов на лесосеках /Д.Н.Афоничев, П.С.Рыбников // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 3(95), 2013. – С. 150–153.
4. Скрыпник, В.И. Способы минимизации затрат на первичный транспорт леса / В.И. Скрыпник, А.В. Кузнецов, Ю.А. Ратманова // Учебные записки Петрозаводского государственного университета – № 4, 2012. – С. 98–101.
5. Шегельман, И.Р. Методика оптимизации транспортно-технологического освоения лесосырьевой базы с минимизацией затрат на заготовку и вывозку древесины / И.Р. Шегельман, А.В. Кузнецов, В.И. Скрыпник, В.Н. Баклагин // Инженерный вестник Дона. – № 4-2(23), 2012. – С. 35.
6. Пискунов, М.В. Алгоритм построения оптимальной сети лесных дорог / М.В. Пискунов // Лесной журнал. – № 3, 2011. – С. 58–63.
7. Воронова, А.М. Обоснование использования нечетких структур для моделирования размещения погрузочных пунктов и сети волоков на лесосеке / А.М. Воронова, Р.В. Воронов // Актуальные вопросы современной науки. – № 7-1, 2009. – С. 86–93.
8. Воронова, А.М. Алгоритм оптимального размещения волоков из условия минимизации поврежде-

- ния грунта / А.М. Воронова, Р.В. Воронов, М.А. Пискунов, Л.В. Щеглова // Тракторы и сельхоз машины. – № 9, 2013. – С. 33–35.
9. Воронов, Р.В. Задача покрытия гиперсети взвешенным корневым деревом и ее приложение для оптимального проектирования схем волоков на лесосеках / Р.В. Воронов, А.М. Воронова, М.А. Пискунов // Информа- тика и системы управления. – № 1, 2012. – С. 56–64.
10. Воронова, А.М. Моделирование схемы волоков при помощи покрытия гиперсети взвешенным корневым деревом / А.М. Воронова, Р.В. Воронов, М.А. Пискунов // Учебные записки Петрозаводского государственного университета. – № 2, 2012. – С. 114–117.

ALGORITHMIC GRAPH THEORY TO THE JUSTIFICATION OF RATIONAL TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF FOREST COMPARTMENT

Rukomojnikov K.P. (Volga State University of Technology)

rukomojnikovkp@volgatech.net

Volga State University of Technology, 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

Methodology for the selection of a rational roadpattern of forest areas proposed . Algorithmic graph theory used in the calculations in solving the problem. The proposed technique allows to search for a rational variant organize logging roads , main skid road, technological corridors in the forest compartment, cut the cost of equipping loading points, laying transport routes and skidding timber on them .

Keywords: forest compartment, algorithm, harvesting, skidding, flow sheet, logway, cutting area, loading point.

References

1. Konchev A.M., Yushkov A.N. *Metodologiya vybora trelevochnykh volokov lesoseki* [Selection methodology skid trails felling] *Lesnoy zhurnal*. № 3, 2013. pp. 65-70.
2. Makarenko A.V. *Programmnoye proyektirovaniye trelevochnykh volokov na lesa-seke* [Software design skid trails on logging sites]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik*. № 1(93), 2013. pp. 99-104
3. Afonichev D.N., Rybnikov P.S. *Optimizatsiya v sisteme avtomatizirovannogo proyektirovaniya parametrov razmeshcheniya lesovoznykh usov i pogruzochnykh punktov na lesosekakh* [Optimization in computer-aided design placement options logging mustache and loading points at logging sites]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik*. № 3(95), 2013. pp. 150-153.
4. Skrypnik V.I., Ratmanova Yu.A. *Sposoby minimizatsii zatrat na pervichnyy transport lesa* [Ways to minimize the costs of primary forest transportation]. *Uchebnyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. № 4, 2012. pp. 98-101.
5. Shegelman I.R., Kuznetsov A.V., Skrypnik V.I., Baklagin V.N. *Metodika optimizatsii transportno-tekhnologicheskogo osvoyeniya lesosyryevoy bazy s minimizatsiyey zatrat na zagotovku i vyvozku drevesiny* [A procedure for optimizing transport and technological development of forest resources while minimizing the costs of harvesting and hauling wood]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. № 4-2(23), 2012. pp. 35
6. Piskunov M.V. *Algoritm postroyeniya optimalnoy seti lesnykh dorog* [An algorithm for constructing an optimal network of forest roads]. *Lesnoy zhurnal*. № 3, 2011. pp. 58-63.
7. Voronova, A.M., Voronov R.V. *Obosnovaniye ispolzovaniya nechetkikh struktur dlya modelirovaniya razmeshcheniya pogruzochnykh punktov i seti volokov na lesoseke* [Rationale for the use of fuzzy modeling structures for placement loading points and portages in the felling area network]. *Aktualnyye voprosy sovremennoy nauki*. № 7-1, 2009. pp. 86-93.
8. Voronova, A.M., Voronov R.V., Piskunov M.A., Shcheglova L.V. *Algoritm optimalnogo razmeshcheniya volokov iz usloviya minimizatsii povrezhdeniya grunta* [Algorithm for optimal placement of trails to minimize damage to the soil conditions]. *Traktory i selkhoz mashiny*. № 9, 2013. pp. 33-35.
9. Voronov, R.V., Voronova A.M., Piskunov M.A. *Zadacha pokrytiya giperseti vzveshennym kornevym derevom i yeye prilozheniye dlya optimalnogo proyektirovaniya skhem volokov na lesosekakh* [The task of covering hypernet weighted rooted trees and its application to optimal design schemes portages at logging sites]. *Informatika i sistemy upravleniya*. № 1, 2012. pp. 56-64.
10. Voronova A.M., Voronov R.V., Piskunov M.A. *Modelirovaniye skhemy volokov pri pomoshchi pokrytiya giperseti vzveshennym kornevym derevom* [Circuit simulation using skid coating hypernet weighted root tree]. *Uchebnyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. № 2, 2012. pp. 114-117.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛЕСОСЫРЬЕВЫХ ПОТОКОВ И ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ RFID ДАТЧИКОВ

С.П. САННИКОВ, доц., вед. науч. сотрудник каф. автоматизации производственных процессов УГЛТУ, канд. техн. наук,
 Э.Ф. ГЕРЦ, проф., директор института лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства (ИЛБидС УГЛТУ), д-р техн. наук,
 В.В. ШИПИЛОВ, ст. преподаватель каф. автоматизации производственных процессов УГЛТУ,
 П.А. СЕРКОВ, ассистент каф. автоматизации производственных процессов УГЛТУ

SSP-mail@mail.ru, gerz.e@mail.ru, valera_yvh@mail.ru, serkov@app1.ru
 ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»
 620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37.

Рассмотрена синергетическая сетевая система мониторинга леса, которая способна самоорганизовываться. Изменяется система случайным образом в сети от состояния RFID-датчиков, например о лесном пожаре. Особенностью статьи является синергетическая сеть сбора информации о состоянии леса. Проведен анализ стандартов организации сети.

Авторы делают вывод о том, что при проектировании синергетической сети можно воспользоваться известным стандартом IEEE 802.15.4 (ZigBee).

Ключевые слова: количество информации, технологии мониторинга, лесозаготовка, лесоохрана, самоорганизующаяся сеть, синергетическая сеть, RFID устройство

Моделирование системы сбора и передачи информации [1] о физических характеристиках лесе (пожарах) может содержать n -го количество RFID-датчиков и k -го количество считывателей [2]. Конечная задача сводится к контролю состояния всех RFID-датчиков при помощи синергетической системы: в любое время года, при любой погоде и на длительном отрезке эксплуатации в лесном массиве. При этом количество RFID-устройств (датчиков) в системе может в течение всего периода эксплуатации изменяться: увеличиваться, уменьшаться. Информацию о событиях датчиков, которая изменяется случайным образом в RFID-системе, можно разделить на частную и общую. Математическая модель частной информации «от события к событию» описана в [3], обладает свойствами энтропии [4]

$$J(B \rightarrow A) = \log_2 \frac{p(A|B)}{p(A)},$$

где $p(A|B)$ – вероятность (условная) появления события A при наступлении события B ;

$p(A)$ – вероятность наступления события A , принятая априорно (эталон);

$J(B \rightarrow A)$ – информация о событии A , содержащаяся в событии B .

Например, определение количества информации о вероятности возникновения лесного пожара (событие A), содержащейся в некотором лесном массиве с измеряемыми признаками (событие B), можно интерпретировать следующим образом:

$$J(B \rightarrow A) = \log_2 \frac{\text{вероятность появления признака лесного пожара}}{\text{вероятность появления признака исследуемого лесного участка}}$$

Математическая модель информационной оценки [3, 4] какого-либо признака (P_i), влияющего на лесной пожар, относительно нормальной экологической обстановки (примем за эталон) лесного объекта (\mathcal{E}_j) имеет вид

$$J(P_i \rightarrow \mathcal{E}_j) = \log_2 \frac{m(P_i^j)/m(\mathcal{E}_j)}{m(P_i)/m(N)},$$

где $J(P_i \rightarrow \mathcal{E}_j)$ – значение информативности i -го признака;

$m(N)$ – общее количество объектов распознавания (элементарных ячеек, на которые делится площадь исследуемого прогнозного пожара);

$m(\mathcal{E}_j)$ – общее число лесных объектов распознавания с нормальными экологическими показателями (эталона);

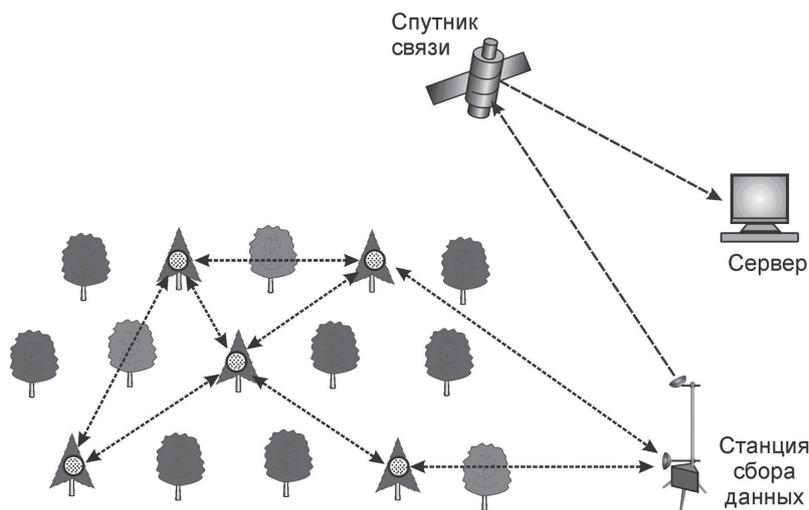


Рис. 1. Структура синергетической сети сбора информации о лесе

$m(P_i)$ – общее число лесных объектов с *RFID*-датчиками распознавания, на которых проявлен *i*-й признак возникновения лесного пожара;

$m(P_i^0)$ – число эталонных лесных объектов *RFID*-датчиками распознавания, на которых проявлен *i*-й признак.

При использовании *RFID*-устройств с датчиками для получения информации состояния лесного массива можно реализовать в виде сетевой системы (рис. 1).

Количество источников информации $m(P_i)$, расположенных на участке леса и способных вероятностным способом передать ее одновременно или в какой-либо последовательности, и определяет общее количество информации *J*. Техническая возможность сети будет определяться применением приборов связи для сбора информации, протоколов обмена информацией в сети между устройствами, от общего количества устройств в сети и пр.

При синергетическом подходе определение количества информации I_A , которую произвольный системный объект воспроизводит о самом себе как едином целом, т.е. самовоспроизводимая информация системного объекта *A*.

Количество информации I_A , самовоспроизводимой системного объекта *A*, является монотонно возрастающей функцией от $m(A)$ и соответственно для любых двух объектов информации *A* и *B* можно записать

$$m(A) = X, m(B) = X + 1, \quad \text{при условии } I_A < I_B. \quad (1)$$

Показателем объекта информации *A* как единого целого и неделимого является индивидуальный номер датчика, представляющего собой последовательность символов (число). Длина номера (числа) является функцией от общего количества элементов системного объекта при моделировании системы мониторинга леса.

Количество информации I_A , передаваемой по сети, зависит от количества элементов *A* в виде ориентированного графа (рис. 2). Тогда, по утверждению [3], совокупность «висячих» вершин взаимно-однозначного соответствуют множеству элементов $a \in A$ в модели, а максимальное число дуг в графе, выходящих из одной вершины, равно числу символов (*n*), выбранного для составления индивидуального номера датчика. Обозначим каждую из смежных дуг, при построении модели, через свой символ. В качестве индивидуального номера датчика элемента модели выступает последовательность символов, находящихся на пути движения из начальной вершины графа к соответствующему элементу висячую вершину. В качестве примера рассмотрим модель графа с номерами датчиков $n = 2$ и для «висячих» вершин $m(A) = 6$.

Тогда модель графа номеров датчиков состоит из множества *A* по длине интегративных его элементов, разбитых на два подмножества *A'* и *A''*. Каждая группа подмножеств

показывает количество «висячих» вершин: $U_{A'} = x$ и $U_{A''} = x+1$, где $x = [\log_n m(A)]$ – целочисленная часть $\log_n m(A)$. Учитывая, что U_A не является однозначной функцией от $m(A)$, поэтому следует рассматривать среднюю ее длину (\bar{U}_A) интегративных номеров датчиков

$$\bar{U}_A = \frac{xm(A') + (x+1)m(A'')}{m(A)} \quad (2)$$

начиная с минимального числа символов $n = 2$.

Из анализа модели графа (рис. 2) следует, что при $n = 2$ возрастание $m(A)$ на единицу обуславливает уменьшение на единицу числа элементов с длиной номера датчиков x и увеличение числа элементов с длиной номера датчиков $x + 1$ на два элемента, то есть [4]

$$m(A)+1|_{n=2} \rightarrow (U_{A'} - 1) \cap (U_{A''} + 2).$$

Из полученного выражения для $U_{A'}$ и $U_{A''}$ составим систему уравнений

$$\begin{cases} m(A') + m(A'') = m(A) \\ 2m(A') + m(A'') = 2^{x+1}, \end{cases}$$

при решении этой системы уравнений получим

$$\begin{cases} m(A') = 2^{x+1} - m(A) \\ m(A'') = 2(m(A) - 2^x), \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя значения (3) в выражение (2) и проводя несложные преобразования, получаем следующую формулу средней длины интегративных кодов при $n = 2$

$$\bar{U}_A |_{n=2} = x + 2 - \frac{2^{x+1}}{m(A)}. \quad (4)$$

Полученное выражение удовлетворяет принятым условиям и может служить мерой количества информации $I_{A'}$ самовоспроизводимой конечным множеством A .

Примеры моделей графа с номерами датчиков для $n > 2$ рассмотрим на рис. 3 для систем с параметрами числа символов $n = 3$ и «висячих» вершин $m(A) = 2, 3, 8$ и 9 .

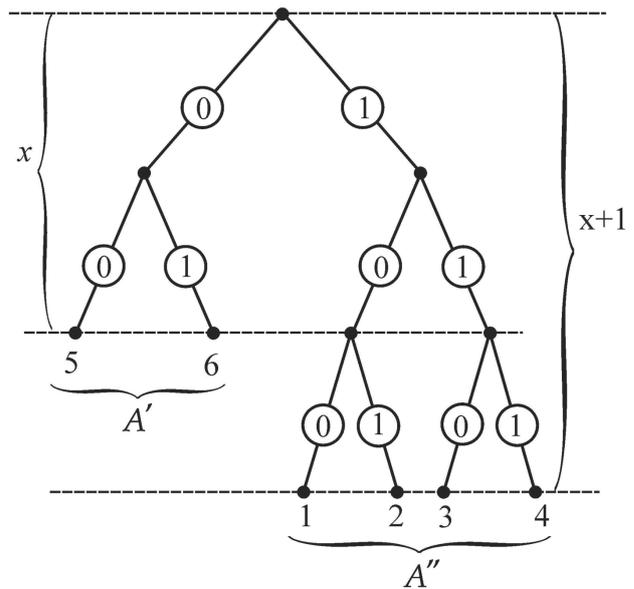


Рис. 2. Модель графа с номером датчика $n = 2$ и $m(A) = 6$

Из анализа графа на рис. 3 видно, что при наполнении выходящими дугами начальной узла сети RFID датчиков (рис. 3 а, б) и последней из «висячих» узлов (рис. 3 в, г) средняя длина кодов \bar{U}_A не изменяется

$$\begin{cases} \bar{U}_A |_{m(A)=2} = \bar{U}_A |_{m(A)=3} = 1 \\ \bar{U}_A |_{m(A)=8} = \bar{U}_A |_{m(A)=9} = 2 \\ \dots n = 3 \rightarrow \dots \\ \bar{U}_A |_{m(A)=3^{y-1}} = \bar{U}_A |_{m(A)=3^y} = y \end{cases}$$

где $y = 1, 2, \dots$

При увеличении n приходим к общему выражению случаев постоянства значений \bar{U}_A при наполнении выходящими дугами последних из «висячих» вершин

$$n > 2 \rightarrow \bar{U}_A |_{m(A)=n^y} = \bar{U}_A |_{m(A)=n^{y-n+3}} = \dots = \bar{U}_A |_{m(A)=n^y} = y$$

Из выражения следует, что \bar{U}_A при $n > 2$ и $\bar{U}_A \geq n^y$ не менее чем в $(n - 2)y$ случаев противоречит выражению (1) монотонного

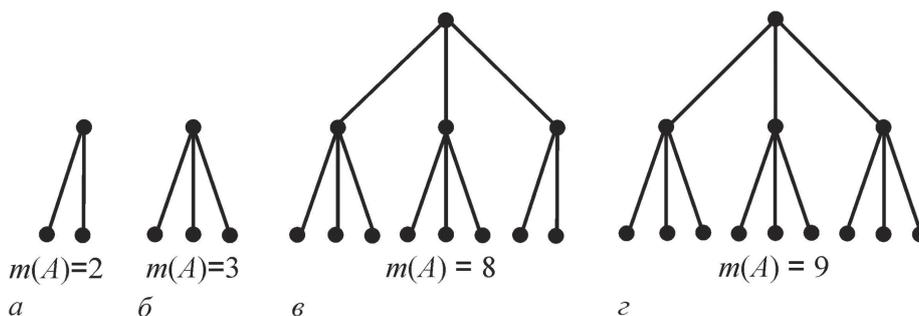


Рис. 3. Модель дерева номера датчик $n = 3$ и $m(A) = 2, 3, 8, 9$ (а, б, в, г соответственно)

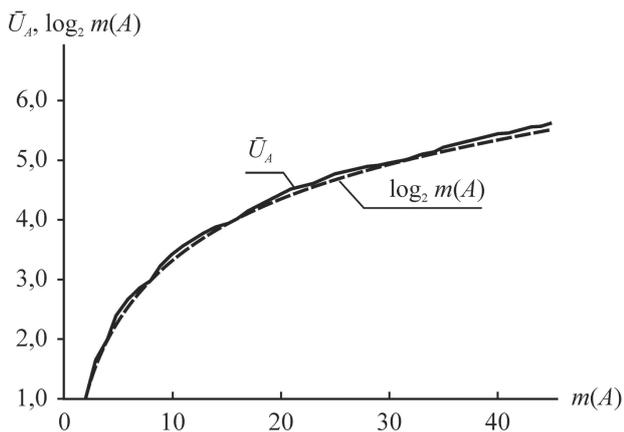


Рис. 4. График функций \check{U}_A и $\log_2 m(A)$

возрастания информации I_A . Это позволяет сделать принципиально важный вывод, что средняя длина интегративного номера датчика может выступать в качестве меры количества информации только тогда, когда интегративные номера датчиков составлены с помощью двоичной последовательности символов [3]. Таким образом, количество информации $I_A = \check{U}_A|_{n=2}$, поэтому далее рассмотрим примеры относительно $n = 2$.

Из формулы (4) можно заметить, что если $m(A) = 2^x$, тогда количество информации $\check{U}_A = \log_2 m(A)$. По утверждению [3], в тех случаях, когда $2^x < m(A) < 2^{x+1}$, наблюдается некоторое превышение \check{U}_A над $\log_2 m(A)$, что можно наблюдать на рис. 4.

Количество информации I_A в каждый момент времени и носит случайный характер, обусловленный событиями, происходящими в лесном массиве, где установлены RFID-датчики. Организация локальной, самоорганизующейся сети из RFID-устройств в лесу для обеспечения сбора информации о состоянии леса, задача, еще никем не решенная. Есть ряд причин, которые нужно рассмотреть и найти решения: отсутствие источников электропитания, стандартов на протоколы обмена данными, ослабление радиосигнала, распространяющегося под пологом леса.

Проведен анализ стандартов протоколов обмена, которыми можно воспользоваться для организации синергетической сети по сбору информации в лесу. Результаты анализа по возможности вида информации, скорости и дальности связи представлены на рис. 5 [6].

На рис. 5 показаны возможности некоторых доступных стандартов для беспроводной связи с разновидностью передачи данных по скорости и по дальности в условных единицах. Наибольшей скоростью передачи цифровой информации обладает протокол обмена данными UWB (Ultra-WideBand) IEEE 802.15.3, рекомендованный разработчиками стандарта для цифрового видео. Все устройства этого стандарта не обладают достаточной мощностью и несущей частотой, что сказывается на дальности

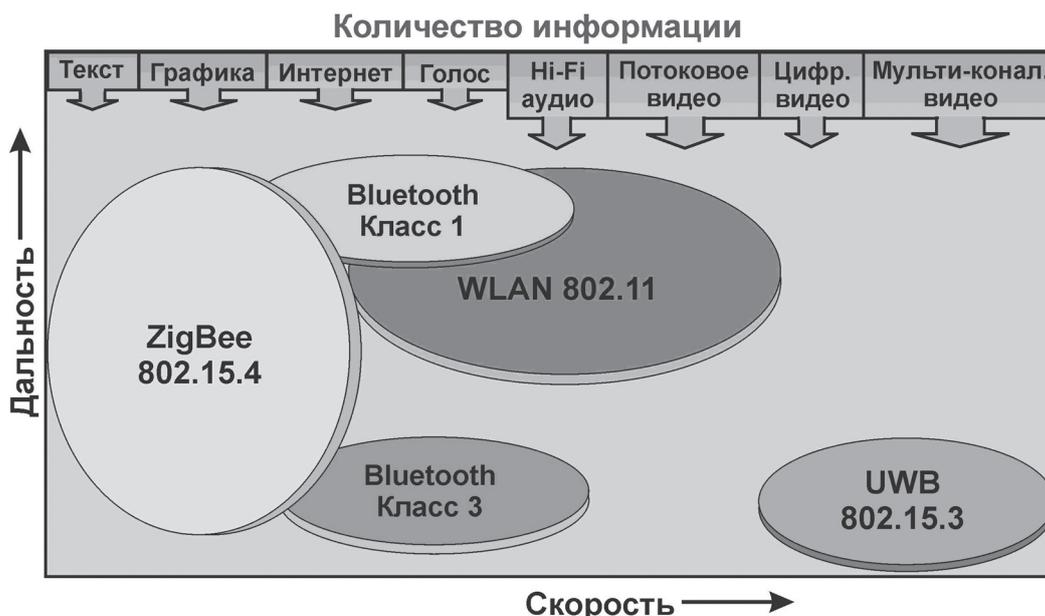


Рис. 5. Классификация протоколов беспроводных стандартов передачи информации

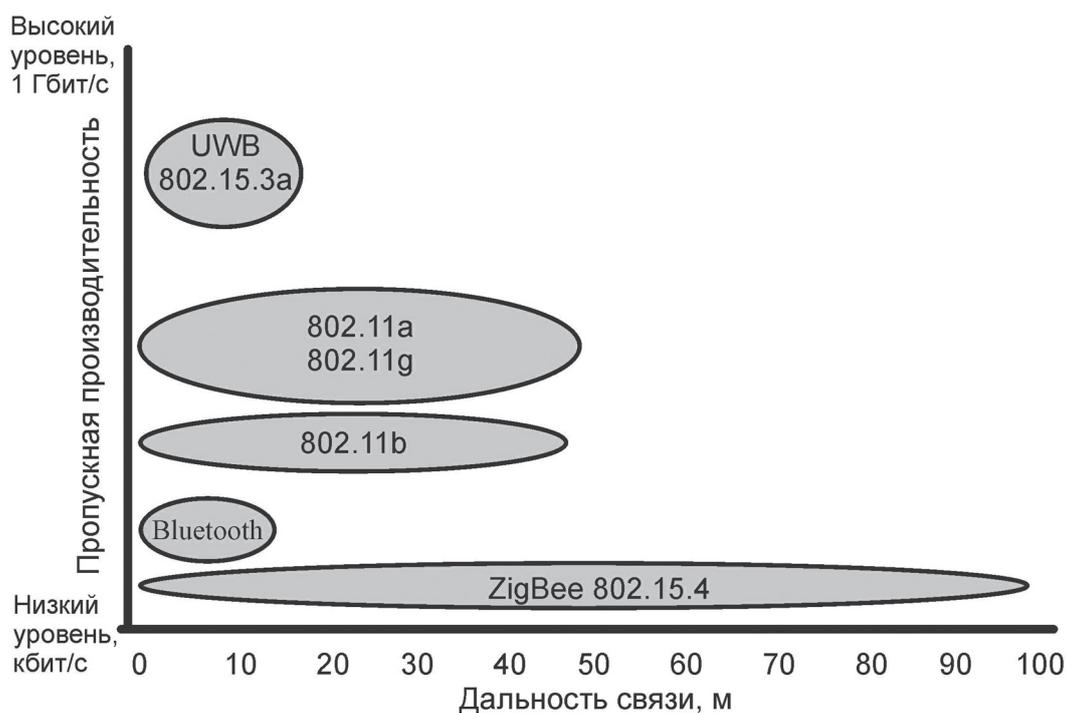


Рис. 6. Сравнительная диаграмма максимальной дальности связи и пропускной способности различных технологий беспроводных систем

передачи информации. Диапазон частот от 3,1 до 10,6 ГГц, поэтому получила свое название «сверхширокополосная связь», что позволяет достичь умопомрачительной для беспроводной связи скорости – до 480 Мбит/с. Скорость снижается с расстоянием до 100 м. Резкое снижение пропускной способности в связи с увеличением расстояния является большим местом в этой технологии еще и потому, что мнение специалистов *Intel* не совпадает по данному вопросу с мнениями остальных разработчиков стандарта, входящих в рабочую группу *IEEE 802.15.3a*, ответственную за *UWB* [6].

Средней скоростью и максимальной дальностью для данного класса беспроводных устройств обладает стандарт *WLAN 802.11 (Wi-Fi)*, предназначенный для голосовой передачи информации в Интернет и потокового видео. Это явный лидер для замены устройств типа *Bluetooth*, которые уступают по скорости передачи информации и объему. Так, например, по дальности передачи информации (для класса 1) на уровне стандарта *WLAN IEEE 802.11* [6].

Стандарт интерфейса *Bluetooth* (Синий Зуб – *Harald Bluetooth*) всех классов ос-

тается средством обмена на средней скорости данными небольшого объема между компьютерами, фотоаппаратурой, телефонами и пр.

Стандарт *Bluetooth: 802.15.1 (2005)* предполагает физические соединения для передачи звуковых и компьютерных данных с использованием синхронной (*SCO link – Synchronous Connection Oriented link*) линии связи с двунаправленным одновременным соединением и асинхронной (*ACL – Asynchronous Connectionless Link*) линии связи.

По нашему мнению, для сбора данных и передачи информации в лесу необходима синергетическая, самоорганизующая сеть. Это обусловлено тем, что в лесном массиве часть узловых элементов сети могут выйти из строя по различным причинам, например, устройство сети может быть повреждено упавшим деревом или может потерять электропитание (разрядились аккумуляторы). Из всех рассмотренных нами стандартов для сбора и передачи информации в лесу подойдет стандарт *ZigBee* (рис. 6).

Беспроводные сети связи на базе стандарта *IEEE 802.15.4*, разработанный в 2001 г. семейства беспроводных персональных сетей

WPAN, который известен под маркой ZigBee, характеризуется низким энергопотреблением [10]. Он представляет собой альтернативу другим соединениям в распределенных системах мониторинга леса. Система отличается более гибкой архитектурой, требует меньших затрат на эксплуатацию, например, возможность работы при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Линейка ZigBee устройств беспроводных приложений с поддержкой различных сетевых топологий типа «звезда», «кластерное дерево», «многоячеичковая сеть» нашла широкое распространение в самых различных направлениях [10].

Сравнительная диаграмма дальности связи и пропускной способности различных стандартов беспроводных систем (рис. 6) показывает, что для мониторинга лесных массивов наилучшим образом подходят ZigBee устройства. Во-первых, для задач мониторинга леса не требуется высокоскоростные каналы связи, во-вторых, ZigBee устройства обладают достаточной надежностью при максимальной дальности связи из всех рассмотренных беспроводных систем связи. В-третьих, ZigBee устройства обладают свойством самоорганизации локальной сети, т.е. использование такой сети не потребует дополнительного обслуживания по эксплуатации сети. Поэтому все исследования проводили с устройствами ZigBee. Для успешного функционирования системы сбора и передачи информации в лесу необходимы устройства по-

лучения первичной информации о состоянии леса с малым энергопотреблением.

Устройства на основе ZigBee способны работать в автономном режиме (от батарей и аккумуляторов). Одним из представителей таких устройств являются RFID-датчики. На рис. 7 сформулированы возможные направления развития по разработке RFID-датчиков [7–9].

Сенсор RFID-устройства, который имеет индивидуальный номер, рассчитан на выполнение определенной функции: измерение таксационных параметров дерева, измерение влажности воздуха в лесу или температуры, измерение концентрации газов CO_x , NO_x или дыма и т.д. Имея такой чипованный сенсор, расположенный на определенном дереве, с известными координатами, мы будем периодически получать сведения о состоянии данного дерева или об экологической обстановке в лесу.

В настоящее время промышленность не выпускает RFID-устройства с набором сенсоров, перечисленных на рис. 7, за исключением сенсора температуры для бытовых целей.

Использование сенсора температуры в лесу, какую цель должны преследовать при этом? На наш взгляд, можно определить две задачи по измерению температуры в лесу. Первая задача – получение сведений текущих температур в лесу, для анализа и прогнозирования опасной пожарной обстановки, при достижении которой произойдет возгорание (самовозгорание) в лесу на данном участке. Имея такие данные, можно оперативно прогнозировать и реагировать на пожарную обстановку. Вторая задача – это реагировать на произошедшее возгорание в данном участке леса, т.е. когда пожар невелик, не охватывает больших площадей, но еще незаметен с летательных аппаратов, со спутников или видеокамер, расположенных на мачтах (вышках).

В обоих случаях RFID-устройство формирует сигнал и передает, с помощью элементов сети, на сервер, где программное обеспечение отработает по заложенному в нее алгоритму. Программное обеспечение для выполнения задач по сбору информации о состоянии леса пополнит сведения в базе данных, выдаст сообщение оператору или службе, которая в соответствии с предписанием выполнит работу.

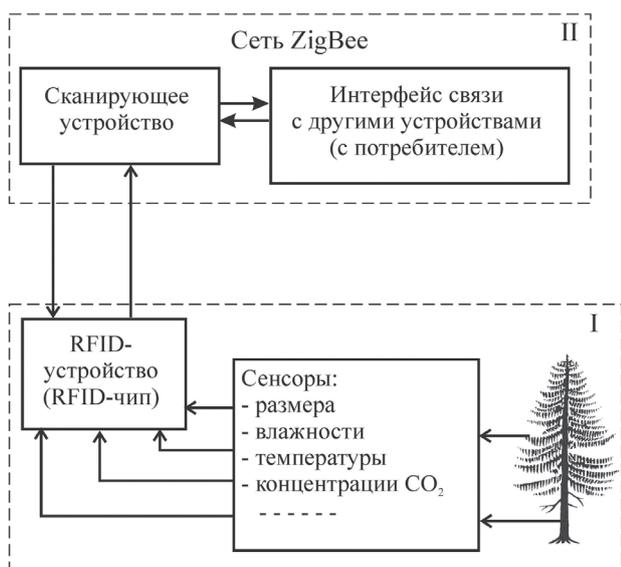


Рис. 7. Структурная схема RFID-системы сбора информации о лесу

Использование синергетической сети по сбору информации о состоянии леса, которая в случае выхода одного или нескольких ZigBee устройств, например поврежденных пожаром, проложит другой путь передачи данных, но информация в любом случае попадет на сервер в базу данных. Этим и объясняется надежность функционирования сети, что является очень важным фактором в условиях леса.

Библиографический список

1. Игнатов, В.А. Теория информации и передачи сигналов: учебник для вузов / В.А. Игнатов. – М.: Сов. радио, 1979. – 280 с., ил.
2. Лисиенко, В.Г. Система раннего предупреждения пожаров на основе мониторинга лесов / Лисиенко В.Г., Герц Э.Ф., Шлеймович Е.М., Санников С.П. и др. // Труды Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. – Вып. V. – М.: Институт радиотехники и электроники РАН, Институт проблем экоинформатики РАЕН. – 2010. – С. 107–109.
3. Вяткин, В.Б. Синергетическая теория информации / в Ч. 1, 2 / В.Б. Вяткин // Научный журнал КубГАУ – Краснодар: КубГАУ, 2008. – № 10(44). <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/12.pdf>; // Научный журнал КубГАУ – Краснодар: КубГАУ, 2009. – № 01(45). – Шифр Информрегистра: 0420900012\0001. <http://ej.kubagro.ru/2009/01/pdf/12.pdf> (25.01.2013).
4. Вяткин, В.Б. Математические модели информационной оценки признаков рудных объектов: дисс. ... канд.техн.наук: 05.13.18 / В.Б. Вяткин. – Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2004. – 27 с.
5. Рестович, А. Bluetooth® технология беспроводной связи и ее применение / А. Рестович, И. Стоян, И. Чубич. – [Электронный ресурс]. – М.: Ericsson Nikola Tesla, REVIJA. 2005. – № 18. – С. 68–86. http://4_bluetooth.pdf (25.01.2013).
6. Ольшевский, В.Ю. Беспроводные сети // Вести высших учебных заведений черноземья / В.Ю. Ольшевский. – Липецк: ЛГТУ, 2009, № 1(15) – С. 56–59.
7. Санников, С.П. Круглогодичный мониторинг углерода в лесных массивах и управление лесами / С.П. Санников, Э.Ф. Герц // Леса России в XXI веке: Мат. I международной научно-практической Интернет-конференции. Июль 2009 г. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 92–96.
8. Санников, С.П. Информационные технологии в управлении лесами / С.П. Санников, Э.Ф. Герц // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе САПР, АСНИ, СУБД и системы искусственного интеллекта: Мат. 5-й между. науч.-техн. конф.
9. Серебренников, М.Ю. Возможности и перспективы использования RFID-технологии в таксационных исследованиях управления лесами / М.Ю. Серебренников, С.П. Санников // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России. Мат. VII всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. – С. 58–60.
10. ZigBee Alliance. URL: <http://www.zigbee.org/> (25.01.2013).

MODELING OF THE SYSTEM OF THE MONITORING THE MOVING THE TIMBER MATERIAL AND FIRE ON BASE SYNERGETIC NETWORK RFID SENSOR

Sannikov S.P. (USFEU), Shipilov V.V. (USFEU), Serkov P.A. (USFEU), Serebrennikov M.Yu. (USFEU)

ssp-mail@mail.ru, gerz.e@mail.ru, valera_vvh@mail.ru, serkov@app1.ru

Ural State Forest Engineering University (USFEU) Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The Considered problem network of synergetic system of the monitoring wood, capable self-tuning. Changes the system by casual image in network from condition RFID-sensor; about wood fire for instance. The Particularity of the article is синергетическая network of the collection to information on condition wood. The Organized analysis standard networking. The Authors draw a conclusion about that that when designing синергетической to network possible to use the known standard IEEE 802.15.4 (ZigBee).

Keywords: amount of the information, technology of monitoring, timber cutting, forest guard, self-tuning a network, of synergetic a network, RFID the device

References

1. Ignatov V.A. *Teorija informacii i peredachi signalov* [Information Theory and signaling]. Moscow. Sov. radio, 1979. 280 p., il.
2. Lisienko V.G., Gerc Je.F., Shlejmovich E.M., Sannikov S.P., Shipilov V.V., Suslova S.S., Suslov D.G. *Sistema rannego preduprezhdenija pozharov na osnove monitoringa lesov* [An early warning system based on fires forest monitoring]. Trudy Rossijskogo nauchno-tehnicheskogo obshhestva radiotekhniki, jelektroniki i svjazi imeni A.S. Popova. Serija: Inzhenernaja jekologija. Issue V. Moscow. Institut radiotekhniki i jelektroniki RAN., Institut problem jekoinformatiki RAEN. 2010. pp. 107–109.

3. Vjatkin V.B. *Sinergeticheskaja teorija informacii*. [Synergetic theory of information]. Nauchnyj zhurnal KubGAU [electronic resource]. Krasnodar: KubGAU, 2008. № 10(44). URL: <http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/12.pdf>.
4. Vjatkin V.B. *Matematicheskie modeli informacionnoj ocenki priznakov rudnyh ob'ektov* [Mathematical models of assessment information signs ore objects]: Diss. ... kand.tehn.nauk: 05.13.18. Ekaterinburg, UGTU-UPI, 2004. 27 p.
5. Restovich A., Stojan I., Chubich I. *Bluetooth® tehnologija besprovodnoj svjazi i ee primenenie* [Bluetooth® wireless technology and its application]. [electronic resource]. Moscow. Ericsson Nikola Tesla, REVIJA. 2005, № 18, pp. 68–86. http://4_bluetooth.pdf (25.01.2013).
6. Ol'shevskij V.Ju. *Besprovodnye seti* [Wireless Networks]. Vesti vysshih uchebnyh zavedenij chernozem'ja [electronic resource]. Lipeck: LGTU, 2009, № 1(15). pp. 56–59.
7. Sannikov S.P., Gerc Je.F. *Kruglogodichnyj monitoring ugleroda v lesnyh massivah i upravlenie lesami* [Year-round monitoring of carbon in forests and forest management]. Lesa Rossii v XXI veke [tekst]: materialy pervoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj Internet-konferencii. Ijul' 2009 g. / Pod red. avtorov. SPb.: SPbGLTA, 2009. pp. 92–96.
8. Sannikov S.P., Gerc Je.F. *Informacionnye tehnologii v upravlenii lesami* [Information technology in forest management]. Informatizacija processov formirovanija otkrytyh sistem na osnove SAPR, ASNI, SUBD i sistemy iskusstvennogo intellekta: Materialy 5-j mezhd. nauch.-tehn. konf.
9. Serebrennikov M.Ju., Sannikov S.P. *Vozmozhnosti i perspektivy ispol'zovanija RFID-tehnologii v taksacionnyh issledovanijah upravlenija lesami* [Possibilities and prospects of RFID-technology in forest inventory studies of forest management]. Nauchnoe tvorcestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii. Materialy VII vsrossijskoj nauch.-tehn. konf. Ch. 1. Ekaterinburg: UGLTU, 2011. pp. 58–60.
10. ZigBee Alliance. [electronic resource] URL: <http://www.zigbee.org/> (25.01.2013).

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ

В.М. ДЕРБИН, доц. каф. технологии лесопромышленных производств САФУ, канд. техн. наук,
М.В. ДЕРБИН, ст. преподаватель каф. технологии лесопромышленных производств САФУ,
канд. техн. наук

v.derbin@mail.ru, m.v.derbin@mail.ru

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова
163002 г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

В статье приведены общие сведения о сертификационных процессах на предприятиях лесной отрасли, которые включают ряд последовательных этапов: принятие решения о сертификации, подготовка к сертификации, выбор аудиторской компании, заключение договора, предварительный аудит, устранение несоответствий, основной аудит, решение о выдаче сертификата, ежегодные контрольные аудиты, ресертификационный аудит. Общая схема сертификационного процесса лесопромышленного предприятия представлена на блок-схеме.

Ключевые слова: сертификация, сертификационный процесс, подготовка, предварительный аудит, основной аудит, контрольный аудит, оценка, аудиторская компания, сертификация лесопромышленного предприятия, несоответствие, лесопользование, заинтересованные стороны, ресертификация.

Многие предприятия лесопромышленного комплекса РФ реализуют продукцию на экологически чувствительных рынках. Сохранить, упрочить и расширить эти рынки возможно только за счет проведения лесной сертификации на предприятиях. Лесопромышленные предприятия Архангельской области и многих других субъектов РФ выбрали сертификацию по системе FSC, отличительной особенностью которой является направленность на рынок, на потребителя, а

значит, и на создание преимуществ для торговли сертифицированной продукцией [1, 2]. В настоящее время лесная сертификация по схеме FSC лидирует как по площади сертифицированных лесов, так и по доле на рынках (по сертификации цепочки поставок).

Общая схема сертификационного процесса лесопромышленного предприятия представлена на рис. 1 [3]. Принятие решения о сертификации для многих предприятий очевидно из-за невозможности

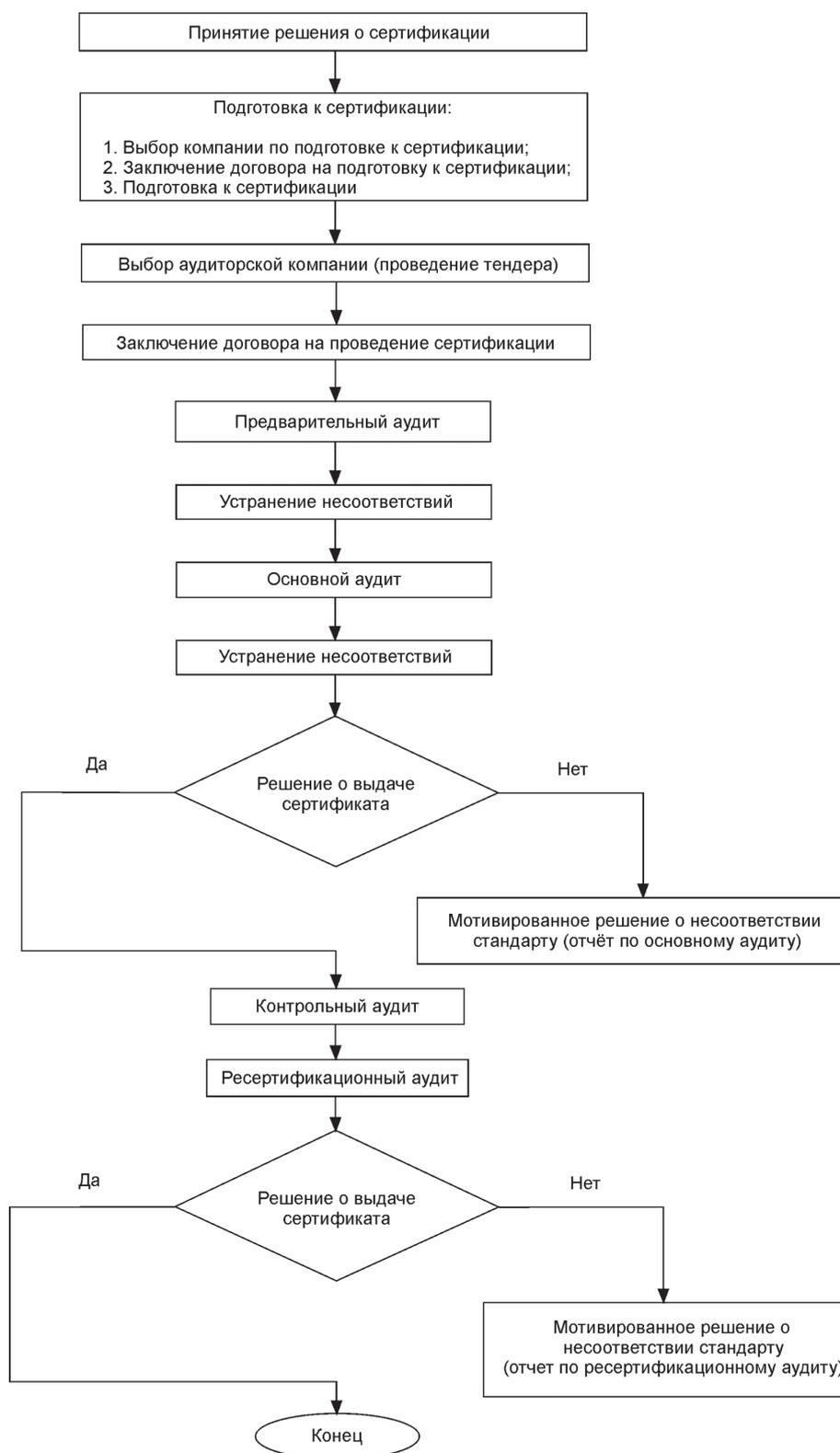


Рис. 1. Блок-схема сертификационного процесса лесозаготовительного предприятия

реализации несертифицированной продукции. Важным этапом сертификационного процесса является подготовка к сертификации. Основная ее задача состоит в том, чтобы донести до каждого работника важность сертифика-

ции для предприятия. Сертификация – это не абстрактный процесс, необходимый лишь руководству, а неотъемлемая часть ежедневной работы компании, которая ведется на основе принципов устойчивого лесопользования [4,

5]. Только в этом случае требования лесной сертификации будут внедрены в практику.

На рынке сертификационных услуг имеется большой выбор аудиторских компаний, в том числе и российских. Возможным вариантом при выборе аудиторской компании является проведение тендера. Однако при оценке компаний не следует в качестве критериев принимать только стоимостные показатели. Есть пример, когда при проведении тендера лесопромышленная компания включила в список возможных 8 аудиторских компаний. Ранжирование по условиям тендера (по набранным баллам) показало, что победителями явились российские компании, которые в заявках указали наименьшие стоимостные показатели услуг. Однако эти компании не имели достаточного опыта услуг по добровольной лесной сертификации, а одна компания даже не имела аккредитации *FSC*. Поэтому при выборе аудиторских компаний необходимо учитывать имидж, опыт работы и другие критерии.

Аудиторские компании используют неодинаковые схемы заключения договоров на выполнение сертификационных услуг. Возможно заключение договоров на различные сроки, например, на срок действия сертификата или на проведение определенного этапа сертификационного процесса (предварительный, основной, контрольный, внеплановый аудит). Важным элементом условий договора является валюта взаиморасчетов. Некоторые компании предлагают взаиморасчеты производить в российских рублях. Взаиморасчеты в иностранной валюте требуют выполнения дополнительных банковских операций, например, оформления паспортов сделки.

Предварительная оценка предприятия проводится аудиторской компанией, которая проверяет общее соответствие лесопользования стандарту лесопользования и цепочки поставок.

Основной аудит назначается по мере готовности предприятия, то есть после устранения всех несоответствий, выставленных во время предварительного аудита. К основному аудиту должны быть разработаны: экологическая политика предприятия, процедуры, инструкции, необходимые для внедрения требований лесной сертификации в практику [6–8]. Одним из важ-

ных этапов подготовки предприятий к сертификации является обучение персонала, в процессе которого работники знакомятся с требованиями Российского национального стандарта добровольной лесной сертификации по схеме *FSC*, Российского законодательства. Следует учитывать, что в деятельности предприятия должен поддерживаться баланс между экономическими, экологическими и социальными аспектами. Поскольку сертификация является процессом открытым, то за полтора месяца до основного сертификационного аудита аудиторская компания рассылает информацию всем заинтересованным сторонам, каждая из которых может участвовать в процессе сертификации. На лесозаготовительных предприятиях, находящихся в процессе сертификации, список заинтересованных сторон составляет более 20 позиций.

После проведения основного аудита аудиторская компания представляет отчет, который может содержать существенные и несущественные несоответствия, рекомендации. Формальным признаком выдачи сертификата является отсутствие существенных несоответствий. Если по результатам основного аудита выставлены существенные несоответствия, то до выдачи сертификата они должны быть устранены. Несущественные несоответствия не являются препятствием для выдачи сертификата, они должны быть устранены к очередному контрольному аудиту.

После выдачи сертификата на предприятии проводятся ежегодные контрольные аудиты, по результатам которых предприятию также представляются отчеты. Структура отчетов подобна отчету по основному аудиту. Однако если предприятию выставлено 5 и более существенных несоответствий, аудиторская компания принимает решение о приостановке действия сертификата до их устранения. Наличие 4 и менее существенных несоответствий не предусматривает приостановки действия сертификата, но на их устранение устанавливается трехмесячный срок. Невыполнение этого условия приводит к отзыву или приостановке действия сертификата.

Срок действия сертификата – 5 лет. Для подтверждения сертификата до окончания его срока действия на предприятии про-

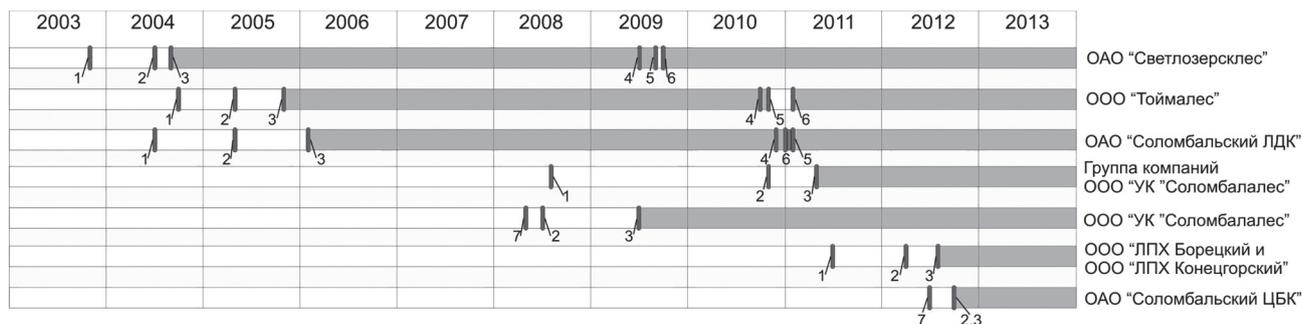


Рис. 2. Сертификационные процессы на предприятиях холдинга ООО «УК «Соломбалалес»: 1 – дата проведения предварительного аудита; 2 – дата проведения основного аудита; 3 – дата выдачи сертификата; 4 – дата проведения ресертификационного аудита; 5 – дата окончания срока действия сертификата; 6 – дата выдачи сертификата после ресертификационного аудита; 7 – дата подготовки предприятия к сертификации

водится ресертификационный аудит. Практика показывает, что иногда даты получения новых сертификатов на предприятиях позднее дат окончания действия предыдущих сертификатов, и поэтому от даты окончания действия сертификатов до даты получения новых сертификатов предприятия производят несертифицированную продукцию. Это может произойти в связи с продолжительным устранением выставленных аудиторской компанией несоответствий. Такая ситуация возникла на лесозаготовительных предприятиях ООО «УК» Соломбалалес» (г. Архангельск) [9, 10]. Это видно из графика сертификационных процессов предприятий (рис. 2). Для исключения подобных случаев предприятия должны учитывать время на устранение несоответствий и проводить ресертификационные аудиты заблаговременно.

Проведенный десятилетний мониторинг сертификации на предприятиях холдинга ООО «УК» Соломбалалес» позволил выявить ряд особенностей, связанных с последовательностью и сроками выполнения некоторых этапов сертификационных процессов. Общая схема сертификационного процесса предусматривает подготовку к сертификации, а затем проведение предварительного аудита. Однако на практике эти этапы могут меняться местами, то есть сначала аудиторская компания проводит предварительный аудит, а затем предприятие готовится к сертификации. Такая ротация позволяет при подготовке к сертификации большее внимание уделить тем направлениям работы предприятия, по которым аудиторская компания выставила большее ко-

личество несоответствий во время предварительного аудита. Последнее время в лесопромышленных холдингах накоплен достаточный опыт в проведении лесной сертификации и, как правило, сформированы коллективы специалистов. Поэтому на предприятиях подготовка к сертификации иногда проводится без привлечения сторонних организаций.

Использование данных мониторинга сертификационных процессов улучшает условия планирования объемов производимой сертифицированной продукции и позволяет своевременно выявить недостатки в планировании сертификационных процессов по времени.

Библиографический список

1. Птичников, А.В. Лесная сертификация по схеме Лесного попечительского совета: общие сведения / А.В.Птичников // Устойчивое лесопользование. – М. 2009. – № 1(20).
2. Птичников, А.В. Добровольная лесная сертификация: учеб. пос. для вузов / А.В. Птичников, Е.В. Бубко, А.Т. Загидуллина и др.. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF России), 2011 – 175 с.
3. Рыжков, А.Е. Система добровольной лесной сертификации PEFC-FSR, оценка лесопользования, лесопользования и цепочки поставок лесопромышленности на соответствие международным требованиям: учебное пособие / А.Е. Рыжков, Н.Е. Проказин. – М.: Система PEFC-FSR, 2011. – 252 с.
4. Рогозин, О. Сертификация поставщиков древесины – новая возможность в продвижении лесной сертификации в России / О. Рогозин // Устойчивое лесопользование. – М., 2011. – № 2(27).
5. Яницкая, Т. Пятая конференция национальной рабочей группы по добровольной лесной сертификации по схеме Лесного попечительского совета / Т. Яницкая // Устойчивое лесопользование. – М. 2010. – № 2(24).

6. Свободная энциклопедия «Википедия» <http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%EE%ED%E8%F2%EE%F0%E8%ED%E3>.
7. Дербин, В.М. Технология разработки лесосек с учетом сертификационных требований сохранения неэксплуатационных площадей / В.М. Дербин, М.В. Дербин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1(93).
8. Дербин, В.М. Влияние лесной сертификации на технологию разработки участков на примере сохранения неэксплуатационных площадей / В.М. Дербин, И.В. Морозов // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – Петрозаводск. – 2012. – № 4.
9. Официальный сайт ООО «Управляющая компания Соломбалалес» <http://www.solombala.com/soles/>.
10. Официальный сайт органа сертификации систем менеджмента качества «ОмскСтройАудит» <http://auditomsk.ru/stati/problemy-sertifikacionogo-audita-smk.html>.

SOME FEATURES OF CERTIFICATION PROCESSES OF FOREST MANAGEMENT

Derbin V. (NArFU), Derbin M. (NArFU)

v.derbin@mail.ru, m.v.derbin@mail.ru

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov» Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002

The article describes General information about certification processes at the enterprises of the forest industry, which includes a number of consecutive stages: decision-making on certification, certification preparation, selection of an audit company, conclusion of contract, preliminary audit, elimination inconsistencies, the main audit, decision on issuing the certificate, annual audits re-certification audit. The General scheme of certification process of forest management logging company presents on the flowchart.

Keywords: certification, certification process, preparation, preliminary audit, main audit, control audit, evaluation, audit company, certification of forest management, discrepancy, forest use, stakeholders, re-certification.

References

1. Ptichnikov A.V. *Lesnaja sertifikacija po sheme Lesnogo popechitel'skogo soveta: obshhie svedenija* [Forest certification by the Forest Stewardship Council : general information]. Ustojchivoe lesopol'zovanie. Moscow. 2009. № 1(20).
2. Ptichnikov A.V., Bubko E.V., Zagidullina A.T. *i dr. Dobrovol'naja lesnaja sertifikacija: ucheb* [Voluntary forest certification]. Moscow. WWF Rossii., 2011. 175 p.
3. Ryzhkov A.E., Prokazin N.E. *Sistema dobrovol'noj lesnoj sertifikacii PEFC-FSR, ocenka lesoupravlenija, lesopol'zovanija i cepochki postavok lesoprodukcii na sootvetstvie mezhdunarodnym trebovanijam* [The system of voluntary forest certification PEFC-FSR, evaluation of forest management, forest management and chain of custody of forest products to meet international requirements]. Moscow. Sistema PEFC-FSR, 2011. 252 p.
4. Rogozin O. *Sertifikacija postavshhikov drevesiny – novaja vozmozhnost' v prodvizhenii lesnoj sertifikacii v Rossii* [Certification of suppliers of wood – a new feature in the promotion of forest certification in Russia]. Ustojchivoe lesopol'zovanie. 2011. № 2(27).
5. Janickaja T. *Pjataja konferencija nacional'noj rabochej gruppy po dobrovol'noj lesnoj sertifikacii po sheme Lesnogo popechitel'skogo soveta* [The Fifth Conference of the National Working Group on voluntary forest certification by the Forest Stewardship Council]. Ustojchivoe lesopol'zovanie. 2010. – № 2(24).
6. *Svobodnaja jenciklopedija «Vikipedija»* [The free encyclopedia «Wikipedia»] [electronic resource] –<http://ru.wikipedia.org/wiki/%CC%EE%ED%E8%F2%EE%F0%E8%ED%E3>.
7. Derbin V.M., Derbin M.V. *Tehnologija razrabotki lesosek s uchetom sertifikacionnyh trebovanij sohraneniya neeksploatacionnyh ploshhadej* [Technology development of cutting areas, taking into account the certification requirements for maintaining non-operational areas]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013. № 1(93).
8. Derbin V.M., Morozov I.V. *Vlijanie lesnoj sertifikacii na tehnologiju razrabotki deljanok na primere sohraneniya neeksploatacionnyh ploshhadej* [Influence of forest certification in the technology development plots for example non-operational areas of conservation]. Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Petrozavodsk. 2012. № 4.
9. *Oficial'nyj sajt ООО «Upravljajushhaja kompanija Solombalales»* [The official website for «Management Company Solombalales»] [electronic resource] –<http://www.solombala.com/soles/>.
10. *Oficial'nyj sajt organa sertifikacii sistem menedzhmenta kachestva «OmskStrojAudit»* [Official Website of quality management systems certification «OmskStrojAudit»] [electronic resource] – <http://auditomsk.ru/stati/problemy-sertifikacionogo-audita-smk.html>.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОРОГА

В.И. ЗАПРУДНОВ, проф., проректор по научной работе МГУЛ, д-р техн. наук,
 А.К. РЕДЬКИН, проф. каф ТОЛП МГУЛ, д-р техн. наук,
 В.С. НАЙМАН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук,
 Ю.А. ШИРНИН, проф. каф. ТОЛП ПГТУ, д-р техн. наук

zaprudnov@mgul.ac.ru, redkin@mgul.ac.ru, shirninya@marstu.net
 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ
 Поволжский государственный технологический университет, ФГБОУ ВПО «ПГТУ»
 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, дом 3

Одной из главных причин, сдерживающих экономическое развитие многих регионов РФ, являются неудовлетворительные транспортные связи. В ФГБОУ ВПО МГУЛ совместно с ФГБОУ ВПО ПГТУ предложена конструкция верхнего строения дороги многофункционального назначения. Обеспечивается это тем, что проезжая часть, предназначенная для железнодорожных рельсов, выполнена в виде элементов коробчатого сечения в продольном и поперечном направлениях. Дорожная одежда в виде щебня уложена внутри железобетонного короба, которые образуют сплошную конструкцию верхнего строения дороги (патент РФ № 113271, бюл. № 4 от 10. 02.2012). Это позволит пользоваться дорогой разными видами транспорта и пешеходами. Патентодержателем является МГУЛ.

Ключевые слова: строительство, дорога, верхнее строение, многофункциональное назначение, железобетонный короб

Одной из главных причин сдерживающих экономическое развитие многих регионов РФ, являются неудовлетворительные транспортные связи. Это, прежде всего, вызвано недостаточными инвестициями на строительство дорог и обслуживание, которые обусловлены территориальной разбросанностью обслуживаемых объектов и высокой стоимостью добычи и производства строительных материалов. Немаловажной причиной неудовлетворительного состояния российских дорог является ведомственный подход к выбору их трассы, проектированию и эксплуатации, доставшийся с прошлого века. Зачастую это учитывало интересы конкретного ведомства и не в полной мере государственные и региональные интересы.

Негативные последствия (экономические и социальные) можно наблюдать при освоении природных ресурсов, обеспечении транспортного обслуживания населения и производства в малонаселенных регионах, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и др.

В развитых зарубежных странах Европы и Америки накоплен опыт выбора трассы проектирования и строительства автодорог с учетом интересов всех потенциальных поль-

зователей, естественно, на платной основе. Это, несомненно, снижает общие финансовые расходы и обеспечивает качество дорог, соответствующее требованиям действующих норм и стандартов.

В ФГБОУ ВПО МГУЛ совместно с ФГБОУ ВПО ПГТУ предложена конструкция верхнего строения дороги многофункционального назначения. Обеспечивается это

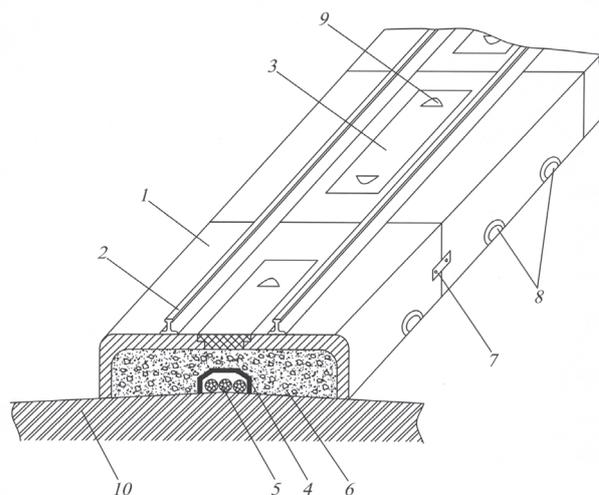


Рисунок. Рельс: 1 – короб; 2 – рельс; 3 – крышка; 4 – кожух для линий связи и энергетики; 5 – кабель(провод); 6 – щебень или гравий; 7 – соединительное звено для коробов; 8 – дренажные отверстия; 9 – скоба на шарнирах 10 – земляное полотно

тем, что проезжая часть, предназначенная для железнодорожных рельсов, выполнена в виде элементов коробчатого сечения в продольном и поперечном направлениях. Дорожная одежда в виде щебня уложена внутри железобетонного короба, который образует сплошную конструкцию верхнего строения дороги (патент РФ № 113271. Верхнее строение дороги, бюл. № 4 от 10. 02.2012). Патентодержателем является МГУЛ.

Верхнее строение дороги состоит из железобетонных элементов коробчатого сечения в продольном и поперечном направлениях – коробов 1 (рисунок), к которым закрепляют рельсы 2. Люки в коробах 1 закрывают крышками 3 на уступах проемов (люков). Вертикальные боковые стенки снабжены дренажными отверстиями 8 для увода дождевой, талой и грунтовой воды из-под дорожной одежды. Торцовые стенки выполнены с выемками, которые предназначены для размещения коммуникаций 5, защищаемых железобетонными кожухами 4 (лотками) или металлическими трубами. Пространство внутри элементов коробчатого сечения заполняют щебнем или гравием 6, которые передают нагрузку на основание дороги 10, а также обеспечивают ровность поверхности покрытия за счет регулярной подбивки материала (щебня или гравия) 6.

Подкладками 7 элементы коробчатого сечения закрепляются между собой при помощи специальных болтов или шпилек (рисунок).

Предлагаемая многофункциональная дорога (верхнее строение дороги) предназначена для использования различными видами транспорта: железнодорожным, автомобильным, гусеничным, а также пешеходами. Это достигается заменой шпал на коробчатые элементы, которые образуют ровное без промежутков верхнее строение дороги. Наиболее эффективное применение может быть достигнуто в малонаселенных регионах, где интенсивность движения невелика, но планируется, например, освоение новых залежей полезных ископаемых, а также при реконструкции действующих дорог.

Экономический и социальный эффект достигается за счет:

- возведения одного земляного полотна;
 - более рационального использования щебня (гравия) и равномерной передачи нагрузки на основание;
 - сокращения расходов на строительство мостов – общих для железной дороги и автодороги;
 - возможности населения (особенно малонаселенных районов и при отсутствии автодорог) использовать данное покрытие для поездок и хождения, что улучшает социальные условия;
 - в случае возникновения чрезвычайной ситуации появляется возможность для оперативной переброски специальной техники и людей в ту и другую стороны;
 - закрытого размещения линий связи и электроэнергетики;
 - строительства таких дорог при освоении месторождений полезных ископаемых;
 - отсутствия сезонных ограничений, в частности, ограничение нагрузки на ось автомобилей в период весенней и осенней распутицы;
 - при необходимости предлагаемая дорога может использоваться и как шоссейная (без рельсов) и как рельсовая.
- Предварительные расчеты свидетельствуют о возможности экономии затрат только на строительстве не менее 500 тыс. руб. на 1 км дороги.
- Вместе с тем, для реализации предложения и определения области его эффективности необходимо:
- провести исследовательскую и конструкторскую работу, построить экспериментальный участок дороги и провести испытания;
 - разработать систему сигнализации и график для безопасного пользования дорогой различными видами колесной и гусеничной техники и пешеходами;
 - предусмотреть вдоль дороги площадки и съезды для автотранспорта и пешеходов;
 - установить светофоры и шлагбаумы.

Выводы

1. Повышение эффективности инвестиций в дорожное строительство и эксплуатацию дорог возможно за счет совмещения различных видов наземного транспорта в единую многофункциональную дорогу.

2. Одним из эффективных способов следует рассматривать замену железнодорожных шпал на короба, по которым закрепляются рельсы, а по сплошной поверхности могут перемещаться автомашины, тракторы, пешеходы и т.д. Внутри коробов могут быть размещены линии связи и энергетики.

3. Многофункциональная дорога будет более эффективна в сравнении с разрозненными специальными дорогами за счет сокращения затрат на возведение земляного полотна, щебень, строительство мостов, отдельных линий связи и, соответственно, на их эксплуатацию.

4. Наибольший эффект от многофункциональной дороги может быть получен в малонаселенных регионах, при освоении лесных массивов и полезных ископаемых, а также в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и благодаря улучшению социальных условий проживающего там населения.

5. Решение данной проблемы требует проведения соответствующих научно-проектных и конструкторских работ и производственной проверки этого предложения.

Библиографический список

1. Лесные дороги. Справочник: Учебное пособие / под ред. Э.О.Салминена. – СПб.: Лань, 2012. – 494 с.
 2. Левушкин, Д.М. Строительство лесных дорог – решение транспортной доступности лесных мас-

сивов / Д.М. Левушкин, В.Я. Ларионов // Лесопромышленник, 2010. – № 4 (56). – С. 22–26.
 3. Падня, В.А. Применение теории массового обслуживания на транспорте (железнодорожном, автомобильном, водном и воздушном) / В.А. Падня. – М.: Транспорт, 1968. – С. 208.
 4. Редькин, А.К. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок / А.К. Редькин, Якимович С.Б. – М.: МГУЛ, 2005. – С. 504: ил.
 5. Строительство автомобильных дорог: Учебник для вузов, спец. «Автомобильные дороги и аэродромы» направления подготовки «Транспортное строительство» / под ред. В.В.Ушакова, В.М.Ольховикова. – М.: КНОРУС, 2013. – 572 с.
 6. Технология и оборудование лесопромышленного производства: Научные труды. Вып.362. Сб. статей студентов магистратуры Лесопромышленного факультета / отв. ред. М.А. Быковский. – М.: МГУЛ, 2013. – 60 с.: ил.
 7. Строительство автомобильных дорог. Дорожные покрытия: Учебник для вузов, спец. «Автомобильные дороги аэродромы» направления подготовки «Транспортное строительство» и направление подготовки бакалавров «Строительство» (профили подготовки «Автомобильные дороги» и «Автомобильные дороги и аэродромы») / под. ред. В.П. Подольского. – 2-е изд. испр. – М.: Академия, 2013. – 298 с.
 8. Фетищева, З.И. Техничко-экономическое проектирование: Учебное пособие к практическим занятиям для студ. спец. 080502 Экономика и управление на предприятии лесного хозяйства и лесной промышленности / З.И. Фетищева, Т.В.Рыжкова. – М.: МГУЛ, 2009 – 78 с.
 9. Патент РФ на полезную модель № 113271. Верхнее строение дороги, бюл.№ 4 от 10.02.2012.
 10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615903. Программа определения прочности дорожных покрытий лесовозных дорог. Левушкин Д.М.; правообладатель ФГБОУ ВПО МГУЛ; зарегистр. в Реестре программ для ЭВМ 27.06.2012.

MULTIFUNCTIONAL ROAD

Zaprudnov V.I. (MSFU), Red'kin A.K. (MSFU), Najman V.S. (MSFU), Shirin Ju.A. (MSFU)

zaprudnov@mgul.ac.ru, redkin@mgul.ac.ru, shirninia@marstu.net

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaaya st., 1, 141005, Mytischki, Moscow region, Russia
 Volga State University of Technology, 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

One of the main reasons hindering the economic development of many regions of the Russian Federation, the poor transport links. In MSFU together with the chief of the PSTU the design of the upper structure of the multi-purpose roads. By the fact that the roadway is intended for railway rails, made in the form of elements of box section in the longitudinal and transverse directions. Road pavement is in the form of crushed stone is laid inside the reinforced concrete boxes, which form the solid construction of the superstructure of the road (patent RF № 113271, bul. no 4 of 10.02.2012). A patent holder is MSFU.

Keywords: construction, road, topside, multifunctional purpose, reinforced concrete box.

References

1. *Lesnye dorogi. Spravochnik: Uchebnoe posobie* [Forest roads. Reference: the manual. Under the editorship Salminen E.O.]. SPb. Lan', 2012. 494 p.
2. Levushkin D.M., Larionov, V.Ja. *Stroitel'stvo lesnyh dorog – reshenie transportnoj dostupnosti lesnyh massivov* [Forest road. Construction – the solution of the transport accessibility of forests]. Lesopromyshlennik, 2010. № 4 (56). pp. 22-26.
3. Padnja V.A. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya na transporte (zheleznodorozhnom, avtomobil'nom, vodnom i vozdushnom)* [Application of the theory of mass service of transport (railway, automobile, water and air)]. Moscow. Transport, 1968, pp. 208.
4. Red'kin, A.K., Jakimovich, S.B. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizacija tehnologij lesozagotovok.* [Mathematical modeling and optimization of technologies of logging]. Moscow. MGUL, 2005, pp. 504, il.
5. *Stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog* [Road construction]. KNORUS, 2013, 572 p, il.
6. *Tehnologija i oborudovanie lesopromyshlennogo proizvodstva* [Technology and equipment for the wood industry]: Sbornik statej studentov magistratury Lesopromyshlennogo fakul'teta. Moscow. MGUL, 2013. 60 p., il.
7. *Stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog. Dorozhnye pokrytija* [Construction of motor roads. Pavement]. Moscow. Akademiya, 2013. 298 p., il.
8. Fetishheva, Z.I., Ryzhkova T.V. *Tehniko-jekonomicheskoe proektirovanie* [Feasibility engineering]. Moscow. MGUL, 2009. 78 p.
9. *Patent RF na poleznuju model' № 113271. Verhnee stroenie dorogi, bjul. № 4 ot 10.02.2012.* [The RF patent for useful model № 113271, topside of the road, bul. № 4 from 10.02.2012.]
10. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM* [The certificate on the state registration of the computer program № arm determine the strength of road coverings of wood-roads. Levushkin D.M.; the right holder FSEI HPE at MSFU; zaregistruj the Register of computer programs.] № 2012615903. Programma opredelenija prochnosti dorozhnyh pokrytij lesovoznyh dorog. Levushkin D.M.; pravoobladatel' FGBOU VPO MGUL; zaregist.rv Reestre programm dlja JeVM 27.06.2012.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

А.А. КАМУСИН, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
Н.И. КАЗНАЧЕЕВА, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
В.А. БОРИСОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
Д.В. АКИНИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Обеспечение высокой точности работы технологического оборудования (манипулятора) лесозаготовительных машин и быстроходности комплекса механизмов, включающих гидродвигатель, требует более точного учета реальных свойств последнего. При работе харвестера на манипулятор машины действуют переменные нагрузки, это особенно заметно при валке деревьев и обрезке сучьев. Поэтому влияние переменной нагрузки на динамику системы с гидродвигателем является актуальной задачей исследования.

Ключевые слова: технологическое оборудование, лесозаготовительные машины, харвестер, манипулятор, объемный гидропривод.

Для обеспечения высокой точности работы технологического оборудования (манипулятора) лесозаготовительных машин и быстроходности комплекса механизмов, включающих гидродвигатель, необходим более точный учет реальных свойств последнего. В исследованиях [1–3] приведен обшир-

ный материал по гидравлическим системам. При работе харвестера на манипулятор машины действуют переменные нагрузки, это особенно заметно при валке деревьев и обрезке сучьев. Поэтому влияние переменной нагрузки на динамику системы с гидродвигателем является актуальной задачей исследования.

В качестве расчетной системы примем гидропривод с гидроцилиндром (рис. 1), шток которого в процессе движения преодолевает переменную силу сопротивления, зависящую от перемещения.

Общее уравнение движения поршня гидроцилиндра имеет вид [2]

$$m = d^2x/dt^2 = p_1 F_1 - [p_2 F_2 + R(x) + T], \quad (1)$$

где p_1, p_2 – давления в рабочей и штоковой полостях гидроцилиндра;

F_1, F_2 – эффективные площади поршня в рабочей и штоковой полостях;

$R(x), T$ – переменная и постоянная составляющие нагрузки на шток поршня гидроцилиндра;

m – приведенная масса подвижных тел, включающая и рабочую жидкость.

Как известно [2], при турбулентном течении жидкости через дроссельный орган давление в штоковой полости зависит от квадрата скорости перемещения поршня

$$p_2 = (F_2^2 p / 2 \mu^2 f_{др}^2) (dx/dt)^2.$$

Подставив значение p_2 и введя обозначение

$A = F_2^2 p / 2 \mu^2 f_{др}^2 m, B = 1/m, D = (p_1 F_1 - T)/m,$ перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{d^2x}{dt^2} A \left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + BR(x) = D. \quad (2)$$

Обозначив

$$\frac{dx}{dt} = y(x); \quad \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dy}{dx} y, \quad (3)$$

решаем уравнение (2) относительно y

$$y = \frac{dx}{dt} = \sqrt{-l^{-2Ax} 2B \int R(x) l^{2Ax} dx + \frac{D}{A} + C_1 l^{-2Ax}},$$

где C_1 – константа интегрирования.

Разделяем переменные в последнем уравнении и интегрируем его

$$\int \frac{dx}{\sqrt{-2l^{-2Ax} B \int R(x) l^{2Ax} dx + \frac{D}{A} + C_1 l^{-2Ax}}} = t, \quad (4)$$

Зная закон изменения нагрузки $R(x)$, вычисляем интеграл

$$\int R(x) e^{2Ax} dx$$

и, подставив полученное значение в уравнения (3), (4), находим закон движения поршня.

Рассмотрим частный случай, когда $R(x) = R_0 - kx$, т.е., нагрузка на шток изменяется по линейному закону. Тогда решение уравнения (3) будет иметь вид

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{-\frac{BR_0}{A} + \frac{D}{A} + \frac{BK}{2A^2} (2Ax - 1) + C_1 l^{-2Ax}},$$

или

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{Bk}{A} x + C_1 l^{-2Ax} + N},$$

где

$$N = \frac{1}{A} (D - BR_0 - \frac{BK}{2A}). \quad (5)$$

Сделаем подстановку $z = l^{-2Ax}$. Тогда

$$x = -\frac{\ln z}{2A}; \quad \frac{dz}{dt} = -2Az \frac{dx}{dt}.$$

Отсюда

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{1}{2Az} \frac{dz}{dt}.$$

Подставляя это выражение в формулу (5), получаем

$$-\frac{1}{2Az} \frac{dz}{dt} = \sqrt{-\frac{Bk}{2A^2} \ln z + C_1 z + N}. \quad (6)$$

Разложим $\ln z$ в ряд

$$\ln z = (z - 1) - \frac{(z - 1)^2}{2} + \dots$$

и, ограничиваясь двумя членами разложения, что дает ошибку, не превышающую 3,5 %, подставим в уравнение (6), которое примет вид

$$-\frac{1}{2Az} \frac{dz}{dt} = \sqrt{-\frac{Bk}{2A^2} \left[(z - 1) - \frac{(z - 1)^2}{2} \right] + C_1 z + N}.$$

После преобразования имеем

$$-\frac{dz}{\sqrt{\frac{Bk}{4A^2} z^2 + \left(C_1 - \frac{Bk}{A^2}\right) z + \left(N - \frac{3Bk}{4A^2}\right)}} = dt. \quad (7)$$

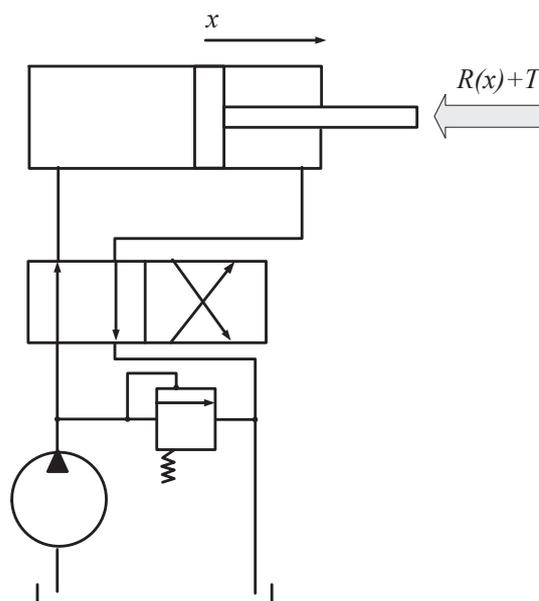


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода

Обозначив

$a = Bk; b = C_1 + Bk/A^2; c = N - 3Bk/4A^2$,
 проинтегрируем уравнение (7)

$$\frac{1}{2A\sqrt{c}} \ln \left[\frac{2\sqrt{c(az^2+bz+c)}}{z} + \frac{2c}{z} + b \right] + c_2 = t.$$

Подставим значение $z = l^{-2Ax}$ и преобразуем полученное уравнение

$$\frac{1}{2A\sqrt{c}} \ln [2\sqrt{c(cl^{4Ax} + bl^{2Ax} - a)} + 2cl^{2Ax} + b] + c_2 = t \quad (8)$$

Значения C_1, C_2 находим из начальных условий, а именно при $t = 0; x = 0; dx/dt = 0; c_1 = -N$

$$C_2 = -\frac{1}{2A\sqrt{c}} \ln [2\sqrt{c(c+b+a)} + 2c + b].$$

Уравнение (8) примет вид

$$t = \frac{1}{2A\sqrt{c}} \ln \frac{2\sqrt{c(cl^{4Ax} + bl^{2Ax} + a) + 2cl^{2Ax} + b}}{2\sqrt{c(c+b+a)} + 2c + b}, \quad (9)$$

Решаем это уравнение относительно x

$$t = \frac{1}{2A} \ln \frac{(\ln^{2A\sqrt{c}l} - b)^2 - 4ac \sqrt{c(l^{2Ax} + a) + 2cl^{2Ax} + b}}{4cn} l^{-2A\sqrt{c}l}, \quad (10)$$

где $n = 2\sqrt{c(c+b+a)} + 2c + b$.

Уравнение (9) позволяет определить время срабатывания поршня при выполнении технологической операции, вызывающей линейное уменьшение нагрузки.

На рис. 2 приведены графики перемещения поршня гидроцилиндра в функции

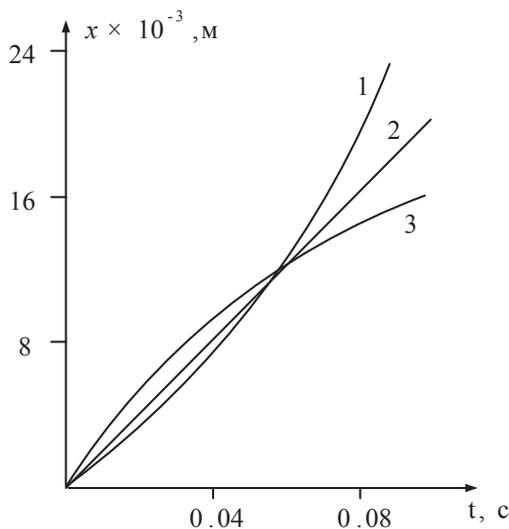


Рис. 2. Зависимость перемещения гидроцилиндра от времени

времени при уменьшении (кривая 1) и возрастании (кривая 3) нагрузки на шток для гидропривода со следующими параметрами p_1 (МН/М²)

$$F_1 = 8,24 \cdot 10^{-4} \text{ М}^2;$$

$$F_2 = 6,23 \cdot 10^{-4} \text{ М}^2;$$

$$P = 900 \text{ кг/М}^3;$$

$$\mu = 0,7;$$

$$f_{\text{др}} = 14,65 \cdot 10^{-7} \text{ М}^2;$$

$$m = 9,32 \text{ кг};$$

$$T = 30 \text{ Н};$$

$$R_0 = 4000 \text{ Н};$$

$$K = 0,16 \text{ МН/м},$$

Кривая 2 построена для постоянной величины нагрузки $R = const$. В момент времени $t = 0,1$ разница в перемещении поршня составляет 20 % от среднего значения (кривая 2). При дальнейшем движении разница возрастает.

Следовательно, даже при непродолжительной работе гидропривода необходимо учитывать влияние сил упругого сопротивления. В противном случае ошибка в определении перемещения поршня может достигнуть больших значений, что особенно недопустимо для машин, работающих на больших скоростях по предварительно составленным программам.

Библиографический список

1. Лебедев, Н.И. Гидравлика, гидравлические машины и объемный гидропривод: учеб. пособие. – 4-е изд. / Н.И. Лебедев. – М.: МГУЛ, 2009. – 232 с.
2. Лебедев, Н.И. Объемный гидропривод лесных машин: учебник / Н.И. Лебедев. – М.: МГУЛ, 2007. – 314 с.
3. Камусин, А.А. Гидравлика, гидро-пневмопривод: учеб.-методич. пособие. / А.А. Камусин, С.П. Карпачев, А.Н. Комяков, В.А. Борисов и др. – М.: МГУЛ, 2013. – 73 с.
4. Камусин, А.А. Лесовозные автопоезда: учеб. пособие / А.А. Камусин, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашева. – М.: МГУЛ, 2012. – 268 с.
5. Курьянов, В.К. Лесотранспорт как система водитель – автомобиль – дорога – среда: учеб. пособие / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, В.А. Борисов. – М.: МГУЛ, 2010. – 370 с.
6. Камусин, А.А. Определение парка лесовозных машин с гидроманипуляторным оборудованием и выбор наиболее эффективного парка машин / А.А. Камусин, В.А. Борисов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1999. – № 4(9). – С. 90–92.

INVESTIGATION OF HYDRAULIC DRIVE OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF FOREST MACHINES

Kamusin A.A. (MSFU), Kaznacheeva N.I. (MSFU), Borisov V.A. (MSFU), Akinin D.V. (MSFU)

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutsкая st., 1, 141005, Mytischy, Moscow region, Russia

To ensure high accuracy of operation of technological equipment (optical drive) forestry machines and rapidity of the complex mechanisms, including hydraulic, require a more precise accounting of the real properties of the latter. When working harvester on the manipulator machines are variable loads, it is especially noticeable when felling trees and damp. Therefore, the impact of the variable load PA dynamics of systems with hydraulic motor is an important task of the study. Keywords: theory car, stability and instability of movement of the trains up to critical velocity of the vehicle.

Keywords: technological equipment, forest machines, harvester, a manipulator, the volumetric hydraulic drive.

References

1. Lebedev N.I. *Gidravlika gidravlicheskiye mashiny i obyemnyy gidroprivod* [Hydraulics hydraulic machines and hydraulic volume]. Moscow. MGUL, 2009. 232 p.
2. Lebedev N.I. *Obyemnyy gidroprivod lesnykh mashin* [Hydrostatic transmissions forest machines]. Moscow. MGUL, 2007. 314 p.: il.
3. Kamusin A.A., Karpachev S.P., Komyakov A.N., Borisov V.A., Kaznacheeva N.I. *Gidravlika, gidro-pnevmoprivod* [Hydraulic, hydro-pneumatic]. Moscow. MGUL, 2013. 73 p.
4. Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Kondrasheva Ye.V. *Lesovoznyye avtopoyezda* [Timber-carrying trains]. Moscow. MGUL, 2012. 268 p.
5. Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel – avtomobil – doroga – sreda* [Lesotransport as a system driver – vehicle – road – Wednesday]. Moscow. MGUL, 2010. 370 p.
6. Kamusin, A.A., Borisov V.A. *Opredeleniye parka lesovoznykh mashin s gidromanipulyatornym oborudovaniyem i vybor naiboleye effektivnogo parka mashin* [Definition of forest park machines gidromanipulyatornym equipment and selection of the most efficient fleet]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 1999. № 4(9). pp. 90-92.

НЕКОТОРЫЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОПОЕЗДА

А.А. КАМУСИН, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
 Н.И. КАЗНАЧЕЕВА, *доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
 В.А. БОРИСОВ, *доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
 Д.В. АКИНИН, *доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук*

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru

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

Задача устойчивости автопоезда сложна, так как конструктивные схемы автопоездов весьма разнообразны и, кроме того, сложность расчетов устойчивости длинных автопоездов усугубляется большим числом степеней свободы. Исследования показывают, что критическая скорость движения автопоезда, после которой возникает неустойчивость движения, может быть увеличена, главным образом, за счет увеличения жесткости системы и в меньшей степени за счет увеличения демпфирующих сопротивлений.

Ключевые слова: теория автомобиля, устойчивость и неустойчивость движение автопоезда, критическая скорость автопоезда.

Исследованию устойчивости автопоездов посвящено много отечественных и зарубежных работ. Особого внимания заслуживают работы, в которых рассматриваются методы определения критической скорости автопоезда и влияние различных

конструктивных параметров на устойчивость.

Задача устойчивости автопоезда сложна, так как конструктивные схемы автопоездов весьма разнообразны и, кроме того, сложность расчетов устойчивости длинных

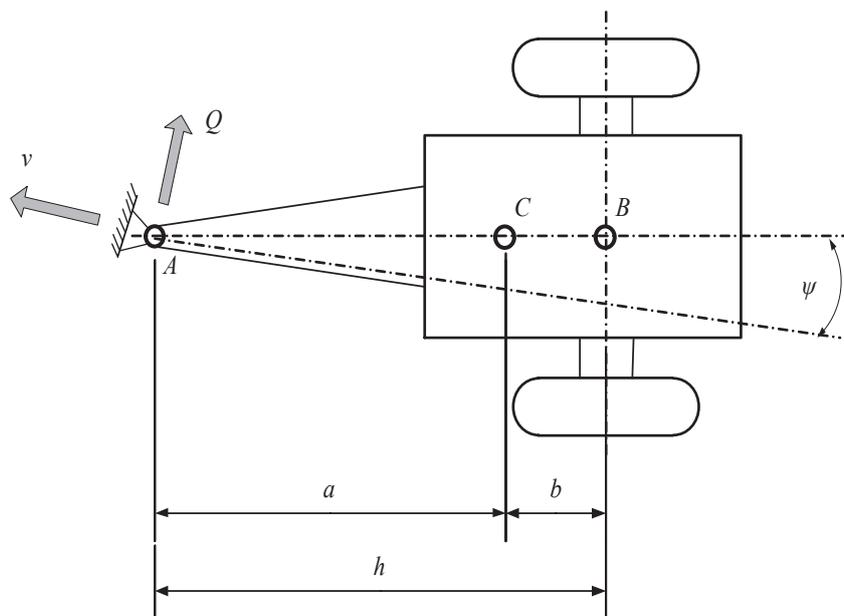


Рис. 1. Схема одноосного прицепа

автопоездов усугубляется большим числом степеней свободы.

Однако можно сформулировать некоторые весьма простые и удобные для конструкторов критерии устойчивости, выполнение которых во многих случаях легко осуществить при проектировании.

Одиночный одноосный прицеп в предположении, что автомобиль-тягач движется прямолинейно и равномерно, всегда устойчив, и его критическая скорость теоретически бесконечна. Уравнение движения такого прицепа [1] имеет вид

$$J_0 \ddot{\vartheta} + \frac{K_y h^2}{v} \dot{\vartheta} + K_y h^2 \vartheta = 0, \quad (1)$$

- где ϑ – угол отклонения прицепа (рис. 1);
- J_0 – момент инерции прицепа относительно точки A крепления его к тягачу;
- v – скорость движения;
- K_y – коэффициент сопротивления уводу обоих колес;
- h – расстояние от точки A до оси колес.

Из этого уравнения

$$\vartheta = \vartheta_0 e^{-nt} \cos(pt + \psi),$$

где

$$n = \frac{K_y h^2}{2Jv}; \quad p = \sqrt{p_0^2 - n^2}; \quad p_0 = \sqrt{\frac{K_y h}{J_0}}. \quad (2)$$

Таким образом, движение такого прицепа всегда представляет собой затухающие колебания, причем, коэффициент затухания n , а,

следовательно, и степень устойчивости падают с ростом скорости движения v . При обычных параметрах одиночного одноосного прицепа величина n при $v = 50 \div 60$ км/ч соответствует затуханию, при котором амплитуда каждого следующего колебания в 3–4 раза меньше амплитуды предыдущего. Однако предположение о том, что автомобиль-тягач не совершает поперечных колебаний, удовлетворительно отражает реальную картину лишь при условии, что колебания прицепа слабо влияют на движение автомобиля-тягача и что последний имеет свою достаточно высокую критическую скорость.

Пусть a и b соответственно расстояния центра тяжести прицепа от точек A и B (рис. 1), а m и J_c – масса и момент инерции прицепа относительно его центра тяжести c_T .

Заменим прицеп некоторым механически эквивалентным ему телом с двумя сосредоточенными в точках A и B массами m_1 и m_2 (рис. 2). Для этого надо удовлетворить трем условиям

$$\begin{aligned} m_1 + m_2 &= m; \\ m_1 a &= m_2 b; \\ m_1 a^2 + m_2 b^2 &= J_c = m \rho^2 \end{aligned}$$

где

$$\rho = \sqrt{\frac{J_c}{m}}$$

– радиус инерции прицепа относительно его центра тяжести.

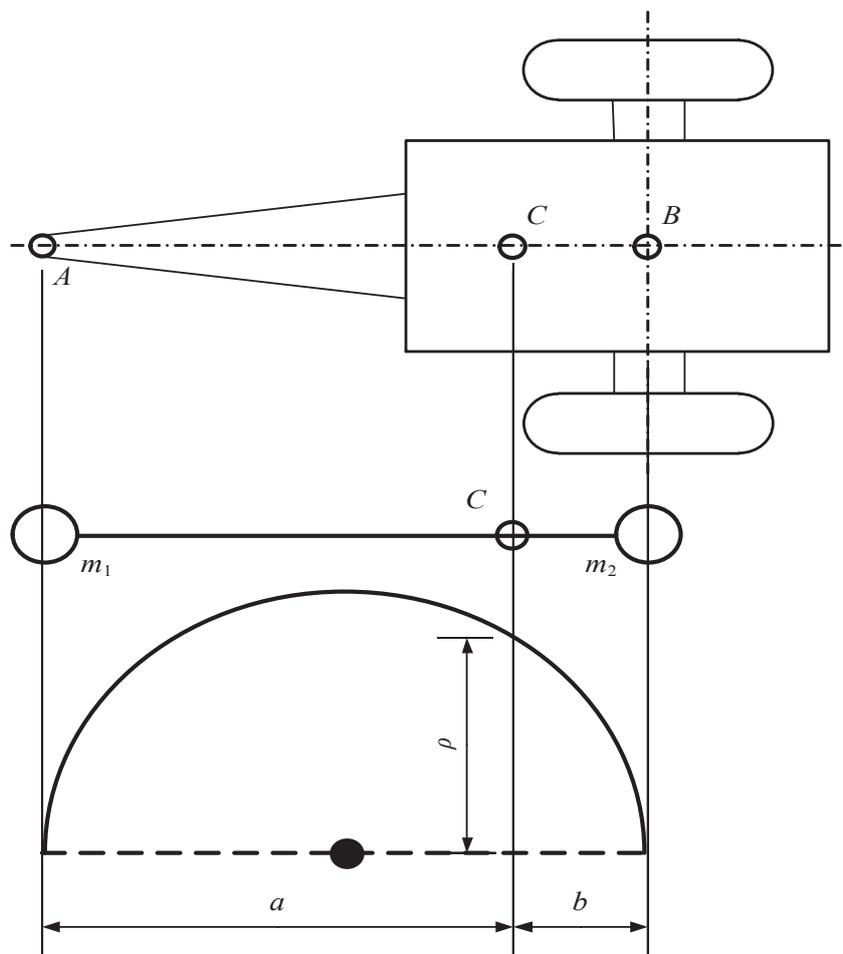


Рис. 2. Схема замены прицепа стержнем с распределенными точечными массами

Первые два из этих условий дают

$$m_1 = \frac{m}{1 + \frac{a}{b}}; \quad m_2 = \frac{m}{1 + \frac{b}{a}}, \quad (3)$$

а последнее приводит к условию

$$\rho = \sqrt{a b}. \quad (4)$$

Таким образом, если выполняется условие (4), то массу прицепа можно распределить на две точечные массы, из которых первую m_1 можно считать принадлежащей автомобилю-тягачу, а вторая образует некоторый новый, более легкий прицеп, у которого центр тяжести лежит на оси вращения колес и который не имеет момента инерции относительно своего центра тяжести (потому что масса точечная). Такой прицеп при поперечных колебаниях не дает силы Q , действующей на автомобиль-тягач. Следовательно, при движении такого автопоезда можно пользоваться уравнением (1). Прицеп при этом будет обладать устойчивостью, и степень затухания его колебаний и частота будут определяться формулами (2).

Критическую скорость автомобиля-тягача можно при этом определить по формуле [5]

$$v_{кр} = L \sqrt{\frac{K_1 K_2}{M (K_1 a_1 - K_2 a_2)}}, \quad (5)$$

где M – масса автомобиля-тягача с присоединенной массой m_1 ;

a_1 и a_2 – расстояния от центра тяжести c_T автомобиля-тягача с присоединенной массой соответственно до передней и задней осей, $L = a_1 + a_2$;

K_1 и K_2 – коэффициенты сопротивления уводу передней и задней осей автомобиля тягача.

Таким образом, если у одноосного прицепа или полуприцепа выполнено условие (4), то критическую скорость такого автопоезда можно определять по формуле (5), рассматривая тягач как изолированный автомобиль с добавленной в точке A массой m_1 .

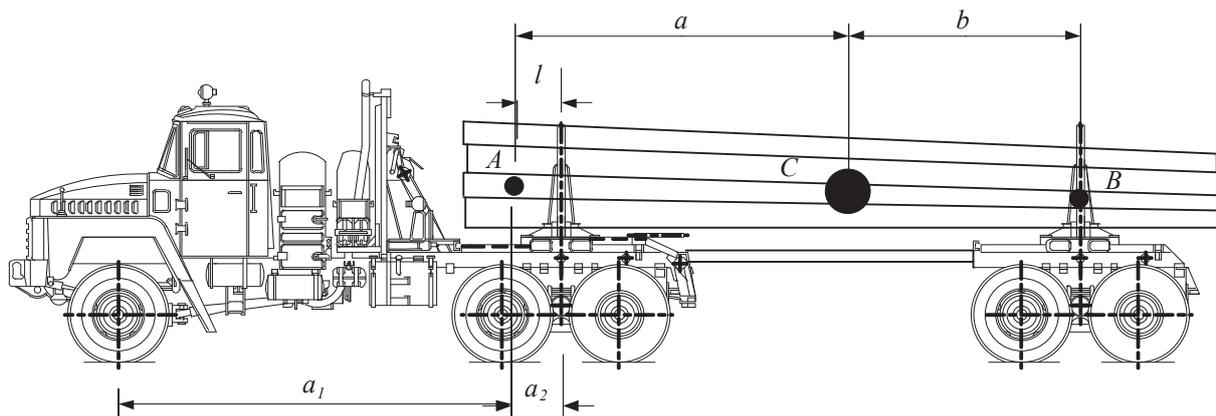


Рис. 3. Схема лесовозного автопоезда

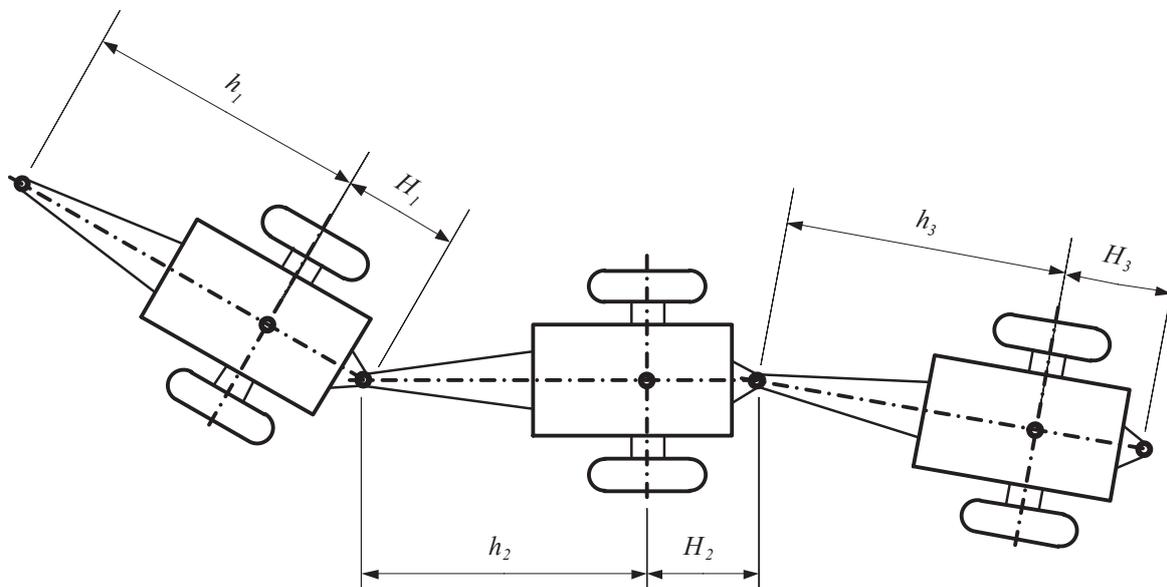


Рис. 4. Схема составного автолесовоза

Такой автопоезд, очевидно, не может иметь колебательной неустойчивости, а может иметь лишь аperiodическую неустойчивость, как и изолированный автомобиль. Из этого рассуждения, в частности, ясно, что точку A крепления прицепа для улучшения устойчивости желательно сдвигать как можно дальше вперед, т. е. увеличивать длину l . Обычно для полуприцепов $l \approx 0$, а для прицепов даже $l < 0$ (рис. 3).

Рассмотрим общую схему автопоезда (рис. 4). Пусть автопоезд имеет n различных по размерам одноосных прицепов. Если, например, взять $n = 2$ и $H_1 = 0$, то получится автопоезд с одним двухосным прицепом (он состоит из двух звеньев), у которого h_1 – длина дышла, а h_2 – база. Если вообще взять четное число прицепов и у всех прицепов с

нечетными номерами взять $H = 0, H_3 = 0, \dots$ и при этом сделать так, чтобы все нечетные звенья были между собой одинаковы и все четные тоже, получится автопоезд, состоящий из $s = n/2$ одинаковых двухосных прицепов. В последнем случае, очевидно, что если все звенья такого поезда выполнить так, чтобы для каждого звена выполнялось условие (4), то каждый последующий прицеп (начиная с заднего) не будет влиять на движение предыдущего.

Такой поезд при любой величине v будет устойчив. Затухание его колебаний и частоту при любом значении v можно рассчитать по формулам (2), беря в них параметры звена с четным номером (так как инерцией дышла и поворачивающейся части, т.е. звена с нечетным номером, можно пренебречь).

Критическая скорость такого поезда зависит исключительно от автомобиля-тягача и может быть найдена по формуле (5). Для автопоезда с двухосными прицепами, если считать, что инерцией дышла и поворачивающейся части с передними колесами можно пренебречь, гипотеза о прямолинейном движении автомобиля-тягача превращается в точное положение, так как в этом случае прицеп при движении не оказывает влияния на автомобиль-тягач.

Библиографический список

1. Камусин, А.А. Лесовозные автопоезда: учеб. пособие / А.А. Камусин, А.В. Скряпников, Е.В. Кондрашева. – М.: МГУЛ, 2012. – 268 с.
2. Курьянов, В.К. Лесотранспорт как система водитель – автомобиль – дорога – среда: учеб. пособие / В.К. Курьянов, А.В. Скряпников, В.А. Борисов. – М.: МГУЛ, 2010. – 370 с.
3. Васильев, А.В. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т.1 /А.В.Васильев, Б.С.Марышев, В.В.Силкин и др. – М.: Информавтодор, 2005. – 646 с.
4. Камусин, А.А. Определение парка лесовозных машин с гидроманипуляторным оборудованием и

- выбор наиболее эффективного парка машин / А.А. Камусин, В.А. Борисов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1999. – № 4(9). – С. 90–92.
5. Борисов, В.А. Исследование движения лесовозных автопоездов на горизонтальных кривых / В.А. Борисов. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 73–80.
 6. Борисов, В.А. Учет параметров движения и анализ устойчивости лесовозных автопоездов при торможении / В.А. Борисов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 80–86.
 7. Резникова, Н.Е. Анализ методов расчета уширения проезжей части / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий, 2009. – № 1. – С. 45–57.
 8. Резникова, Н.Е. Изменения величины зазора безопасности при движении автопоездов на кривых и прямых горизонтальных участках / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий, 2009. – № 2. – С. 5–12.
 9. Резникова, Н.Е. Особенности расчета скорости с применением ЭВМ при проектировании трассы дороги / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий, 2009. – № 2. – С. 13–19.
 10. Резникова, Н.Е. Применение ЭВМ для анализа основных режимов движения лесовозных автопоездов / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий, 2009. – № 2. – С. 20–26.

SOME CRITERIA FOR STABILITY OF ROAD-TRAINS OF THE

Kamusin A.A. (MSFU), Kaznacheeva N.I. (MSFU), Borisov V.A. (MSFU), Akinin D.V. (MSFU)

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru

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

Stability problem of road trains difficult, because the structural scheme of the road-trains are very diverse and, in addition, the complexity of calculating the stability of long trains is compounded by the number of degrees of freedom. Studies show that the critical speed of movement of road train, after which there is instability of the motion, can be increased, mainly due to increase rigidity of the system and to a lesser extent, increased damping resistors.

Keywords: theory car, stability and instability of movement of the trains up to critical velocity of the vehicle.

References

1. Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Kondrasheva Ye.V. *Lesovoznyye avtopoyezda* [Timber-carrying trains]. Moscow. MGUL, 2012. 268 p.
2. Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel – avtomobil – doroga – sreda* [Lesotransport as a system driver – vehicle – road – Wednesday]. Moscow. MGUL, 2010. 370 p.
3. Vasilyev A.V., Maryshev B.S., Silkin V.V. *i dr. Stroitelstvo i rekonstruktsiya avtomobilnykh dorog* [Construction and reconstruction of roads : reference encyclopedia Roadman] (SED). T.1. – Moscow. Informavtodor, 2005. 646 p.: il.
4. Kamusin, A.A., Borisov V.A. *Opredeleniye parka lesovoznykh mashin s gidromanipulyatornym oborudovaniyem i vybor naiboleye effektivnogo parka mashin* [Definition of forest park machines gidromanipulyatornym equipment and selection of the most efficient fleet]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 1999. № 4(9). pp. 90-92.
5. Borisov, V.A. *Issledovaniye dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov na gorizontalnykh krivykh* [Motion Study of logging trucks on horizontal curves]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2009. № 2(65). pp. 73-80.
6. Borisov, V.A. *Uchet parametrov dvizheniya i analiz ustoychivosti lesovoznykh avtopoyezdov pri tormozhenii* [Accounting motion parameters and stability analysis of logging trucks during braking]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2009. № 2(65). pp. 80-86.

7. Reznikova, N.E., Borisov V.A. *Analiz metodov rascheta ushireniya proyezhey chasti* [Analysis of calculation methods of broadening the roadway]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk: «Nauchno-informatsionny izdatelskiy tsentr», 2009. ISSN 2072-0831 № 1. pp. 45-57.
8. Reznikova, N.E., Borisov V.A. *Izmeneniya velichiny zazora bezopasnosti pri dvizhenii avtopoyezdov na krivykh i pryamykh gorizontalnykh uchastkakh* [Changes in the gap safety when driving trucks on curves and straight horizontal sections]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk: «Nauchno-informatsionny izdatelskiy tsentr», 2009. ISSN 2072-0831 № 2. pp. 5-12.
9. Reznikova, N.E., Borisov V.A. *Osobennosti rascheta skorosti s primeneniye EVM pri proyektirovanii trassy dorogi* [Features velocity calculation using computers when designing road route]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk: «Nauchno-informatsionny izdatelskiy tsentr», 2009., ISSN 2072-0831 № 2. pp. 13-19.
10. Reznikova, N.E., Borisov V.A. *Primeneniye EVM dlya analiza osnovnykh rezhimov dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov* [The use of computers for the analysis of the main modes of motion of logging trucks]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk: «Nauchno-informatsionny izdatelskiy tsentr», 2009. ISSN 2072-0831 № 2. pp. 20-26.

ПОВЫШЕНИЕ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСНЫХ ДОРОГ

А.А. КАМУСИН, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
В.Я. ЛАРИОНОВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
Д.М. ЛЕВУШКИН, *доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук*

kamusin@mgul.ac.ru, larionov@mgul.ac.ru

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

В статье рассмотрена возможность использования вторичных ресурсов для производства асфальтобетонов.

Ключевые слова: дорожная одежда, асфальтобетон, отходы промышленности

Значительный объем перевозок лесопroduкции осуществляется автомобильным транспортом, обладающим большой мобильностью и гибкостью. Рост интенсивности движения лесовозных автопоездов приходится не только на лесовозные дороги, но и на дороги общего пользования.

Лесовозные автопоезда обладают большой грузоподъемностью, динамичностью и высокими скоростными качествами. Соответственно дороги должны отвечать современным транспортным средствам.

Необходимость развития сети лесных автомобильных дорог при одновременном поддержании требуемого технического уровня существующих дорог на обозримую перспективу ставит перед наукой и лесной отраслью основную стратегическую задачу – применение экономичных дорожных конструкций и технологий, повышение надежности, увеличение сроков службы дорог за счет использования и внедрения нетрадиционных дорожных материалов.

В настоящее время в лесной отрасли эксплуатируется более 12 тыс. км магистраль-

ных дорог с покрытиями из щебня, гравия и грунтовые, улучшенные вяжущими.

В процессе эксплуатации дорог с подобными покрытиями возникают различные деформации – истирание покрытия, колеиность, волны, ямы, пучины, нарушение поперечного профиля покрытия и др. В сухое время года такие покрытия обладают большой пылимостью.

Многие лесные дороги проходят через населенные пункты. Перечисленные выше факторы оказывают негативное воздействие на условия проживания населения этих поселков. К тому же в периоды распутиц возникает необходимость ограничения движения по этим дорогам. В результате нарушается график перевозок лесных грузов и сообщение между населенными пунктами.

Такие дороги требуют постоянного внимания для поддержания их эксплуатационных качеств. Затраты на содержание и средний ремонт могут составлять 11 % и более от стоимости строительства дороги.

Эффективная работа лесовозного транспорта и транспорта других пользовате-

лей может быть обеспечена только при высоких транспортно-эксплуатационных качествах лесных дорог.

Магистральные лесовозные и лесохозяйственные дороги имеют выходы на сеть дорог общего пользования. По мере развития экономики районов лесные дороги включаются в сеть дорог общего пользования. Это позволяет связать не только предприятия отрасли, но и многочисленные лесные поселки, что является существенным социальным фактором.

Для повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных дорог можно применять слои покрытия и поверхностные обработки из асфальтобетона, который обеспечивает высокий коэффициент сцепления с колесом автомобиля, долговечность, снижение расходов на содержание дороги.

Этот способ необходимо применять, прежде всего, на действующих и строящихся лесных дорогах, соединяющих населенные пункты, если это экономически целесообразно.

Некоторые дороги, на которых увеличилась интенсивность и состав движения, требуют усиления дорожной одежды устройством поверхностных обработок.

С целью снижения стоимости асфальтобетона для поверхностной обработки следует максимально использовать местные дорожно-строительные материалы и отходы промышленности.

В промышленности образуется много разнообразных отходов производства – пыль уноса, шлаки котельных, тепловых электростанций, цементных заводов; отходы целлюлозно-бумажного производства, металлургических комбинатов и другие.

Отходы промышленности оказывают негативное воздействие на окружающую среду, занимая большие площади для их хранения, а вымываемые дождевыми и талыми водами вредные вещества попадают в почву, грунтовые и поверхностные воды.

На металлургических комбинатах и в коксохимическом производстве образуются отходы в виде коксовой пыли, шлаков, шламов доменного и конвертерного производства и фусов, которые не нашли широкого применения и сбрасываются в отвал. Ежегодно на

металлургических комбинатах накапливается около 80 тыс. т шлама мокрой газоочистки доменного производства и около 40 тыс. т шлама конвертерного производства.

В последнее время выполнен ряд научно-исследовательских работ по использованию в строительстве лесных дорог асфальтобетонов, в композиции которых применены отходы промышленности, и по оценке качества дорожных покрытий [1–3].

Был исследован гранулометрический состав и физико-механические свойства пыли уноса асфальтосмесительных установок и доменных и конвертерных шламов, которые свидетельствуют о возможности их применения в качестве минерального порошка по ГОСТ 9128-97.

При производстве асфальтобетонов обычно применяют в качестве минерального порошка размолы известняков, доломитов и других карбонатных пород.

Исследования применения пыли уноса асфальтосмесительных установок в производстве асфальтобетонов показали, что по своим физико-химическим свойствам пыль уноса сопоставима с традиционными минеральными порошками. Такой асфальтобетон можно использовать для строительства лесных дорог [1].

Прочность асфальтобетона с дозировкой 20 % пыли уноса и 80 % минерального порошка в 1,5 раза больше, чем на одном минеральном порошке.

Применение пыли уноса в производстве асфальтобетона позволяет значительно снизить его стоимость.

Исследования применения шламов доменного и конвертерного производства и фусов в композиции асфальтобетонов также показали возможность замены ими традиционных минеральных порошков [2], при этом установлено, что положительный эффект достигается не только от применения фусов и шламов, но и от воды, которая способствует гидратации минерального наполнителя и заполнению порового пространства кристаллогидратами и тем самым армирует и повышает прочность минерального скелета.

Результаты испытаний физико-химических свойств асфальтобетонов с примене-

ние фусов и шламов показали, что они отвечают требованиям стандартов.

Производство асфальтобетонов по новой технологии дает сокращение расхода битума на 10 % и минерального порошка из шламов на 5 %. Температура перемешивания смеси в смесительной установке на 20 °С меньше, чем с традиционной минеральной смесью, что приводит к уменьшению расхода тепловой энергии. Производительность смесительной установки повысилась на 3 %.

Технология применения асфальтобетонов на нетрадиционных материалах отработана при строительстве опытных участков дорог.

В покрытии из активных минеральных материалов при уплотнении катками не достигается проектной плотности, и оно в течение длительного времени доуплотняется под движением автомобилей. Через 1,5–2 года эксплуатации плотность покрытия становится стабильной, а водонасыщение близко или полностью соответствует требованиям, предъявляемым к покрытиям из асфальтобетонов. Несмотря на некоторую недоуплотненность, движение автомобилей следует открывать сразу же по мере готовности асфальтобетонного покрытия.

Наблюдения за опытными участками показали их высокие транспортно-эксплуатационные качества.

Применение асфальтобетонов с использованием вторичных ресурсов промышленности, которые являются местными мате-

риалами, в целях строительства лесных дорог может быть в определенных условиях перспективным. Отходы промышленности могут быть использованы в битумах при строительстве покрытий их черного щебня и гравия, грунтобитума, при производстве битумных мастик.

Следует отметить, что отходы промышленности обладают специфическими физико-химическими свойствами. Поэтому для выявления их свойств и дозировок в составе асфальтобетонов необходимы лабораторные исследования.

Использование вторичных ресурсов промышленности расширяет ресурсную базу дорожно-строительных материалов и снижает негативное воздействие на окружающую среду за счет освобождения территорий, занятых под полигоны для хранения отходов, и от попадания вредных веществ в почву и воду.

Библиографический список

1. Хитров, К.А. Исследование возможности применения пыли уноса асфальтосмесительных установок взамен традиционных порошков для строительства лесовозных дорог : дисс. ... канд. техн. наук / К.А. Хитров. – СПбЛТА. – 2009. – С. 2–22.
2. Левушкин, Д.М. Повышение эксплуатационных характеристик лесных автомобильных дорог с применением специальных добавок: дисс. ... канд. техн. наук / Д.М. Левушкин. – М.: МГУЛ. – 2013. – С. 3–18.
3. Скворцова, Т.В. Повышение транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог: модели и алгоритмы: дисс. ... канд. техн. наук / Т.В. Скворцова. – ВГЛТА. – 2005. – С. 2–19.

INCREASING TRANSPORT CHARACTERISTICS OF FOREST ROADS

Kamusin A. (MSFU), Larionov V. (MSFU), Levushkin D. (MSFU)

kamusin@mgul.ac.ru, larionov@mgul.ac.ru

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

The article discusses the use of recycled resources for the production of asphalt concrete.

Key words: surfaces of roads, asphalt concrete, industrial wastes.

References

1. Khitrov, K.A. *Issledovaniye vozmozhnosti primeneniya pyli unosa asfaltosmesitelnykh ustanovok vzamen traditsionnykh poroshkov dlya stroitelstva lesovoznykh dorog* [Study the possibility of applying dust entrainment mixing plants instead of traditional powders for the construction of logging roads: diss. ... Cand. tehn. Sciences]. Diss. ... kand. tekhn. nauk, SPbLTA. 2009. pp. 2-22.
2. Levushkin, D.M. *Povysheniye ekspluatatsionnykh kharakteristik lesnykh avtomobilnykh dorog s primeneniyyem spetsialnykh dobavok* [Performance enhancement of forest roads using special additives diss. ... Cand. tehn. Sciences]. Diss. ... kand. tekhn. nauk, Moscow, MSFU. 2013. pp. 3-18.
3. Skvortsova T.V. *Povysheniye transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznykh avtomobilnykh dorog: modeli i algoritmy* [Improving performance of transport and haulage roads: models and algorithms: diss. ... Cand. tehn. Sciences]. Diss. ... kand. tekhn. nauk, VGLTA. 2005. pp. 2-19.

ГРУЗОВАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ЕДИНИЦА

С.П. КАРПАЧЕВ, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
 Е.Н. ЩЕРБАКОВ, доц. каф. древесиноведения МГУЛ, канд. техн. наук,
 К.А. ЕВСТРАТОВА, мл. научный сотрудник МГУЛ

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

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

Приводятся сведения о новой двухъярусной транспортной единице для сплава круглых лесоматериалов и щепы в мягких контейнерах

Ключевые слова: лесосечные отходы, щепы, мягкие контейнеры, транспортная единица.

В настоящее время в России предприятия лесозаготовительного комплекса используют как хлыстовый, так и сортиментный метод заготовки леса. И в том, и другом случае образуются древесные отходы, объем которых составляет примерно 40 % от заготовленного леса, что негативно сказывается на эффективном использовании лесных ресурсов. Одним из методов переработки отходов является измельчение их в щепу, которая может быть использована как сырье для производства, например, биотоплива.

Вопросами доставки измельченного древесного сырья по водным путям с удаленных труднодоступных лесозаготовительных

предприятий активно занимается кафедра транспорта леса МГУЛ с 80-х годов прошлого века. Были разработаны как конструкции мягких герметичных и водонепроницаемых контейнеров, так и транспортно-технологические схемы их использования для доставки щепы с береговых складов. [1–9]

В настоящей статье предлагается инновационный метод доставки щепы в двухъярусном плоту, верхний ярус, которого выполнен из отдельных единиц в виде контейнеров, содержащих измельченные древесные материалы и установленных в замкнутой оболочке, снабженной грузовым захватным элементом (рисунок).

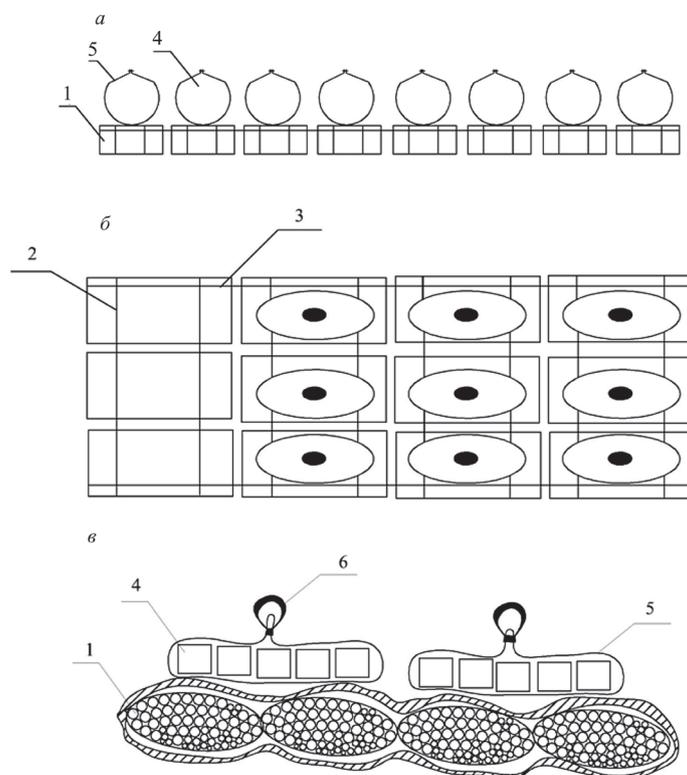


Рисунок. Грузовая транспортная единица: а – вид сбоку; б – вид сверху; в – общий вид в разрезе

Данная конструкция плота позволяет расширить эксплуатационные возможности обычных плотов из круглых лесоматериалов, путем обеспечения возможности транспортирования измельченной древесины (щепы) в контейнерах верхнего яруса, что позволяет доставлять потребителям не только круглые лесоматериалы, но практически всю древесную биомассу, в том числе, измельченные древесные отходы.

Предлагаемая грузовая транспортная единица содержит сплочные единицы, например, пучки из круглых лесоматериалов нижнего яруса 1, скрепленные между собой поперечными связями 2 и продольными связями 3, и верхний ярус 4, выполненный из сплочных единиц, например, в виде мягких контейнеров, установленных в замкнутую сетчатую оболочку 5, которая имеет грузовой захватный элемент 6.

Формирование грузовой транспортной единицы осуществляется следующим образом: на сплочные единицы нижнего яруса 1 накладывают поперечные 2 и продольные 3 связи. Затем на нижний ярус размещают замкнутую сетчатую оболочку 5, на которую укладывают верхний ярус сплочных единиц в виде мягких контейнеров 4, содержащих измельченные древесные материалы (щепу). После создания верхнего яруса, замкнутую сетчатую оболочку 5 скрепляют грузовым захватным элементом 6, который используется при разгрузке.

Таким образом, предложенное решение обеспечивает возможность транспорта измельченных древесных материалов в мягких контейнерах на обычных плотках, что позволяет доставлять потребителям лесоматериалы в круглом и в измельченном виде.

На данный способ транспортировки щепы была оформлена заявка на полезную модель № 2013147052 от 23.10.2013 г. «Грузовая транспортная единица», по которой принято решение о выдачи патента от 14.11.2013 г.

Библиографический список

1. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, И.Д. Грачев // Лесопромышленник. 2009. – № 49. – С. 23.
2. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, А.Н. Комяков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. – № 4 (73) – С. 107–111.
3. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Приоров Г.Е.// Лесопромышленник, 2009. – Февраль-март № 1 (49).
4. Карпачев, С.П. Производство дров для жилищно-коммунального хозяйства лесных поселков и городов / С.П. Карпачев, Е.Н.Щербаков, Приоров Г.Е.// Лесопромышленник, 2010. – Апрель-июнь № 2 (54).
5. Карпачев, С.П. Некоторые вопросы технологии освоения и водного транспорта биоресурсов из леса для биоэнергетики / С.П. Карпачев. – М.: Ученые записки РГСУ /Экологическая безопасность и природопользование. – № 5 – 2009. – С. 130–138.
6. Карпачев, С.П. Моделирование логистических систем лесных материалопотоков / С.П. Карпачев, В.В. Лозовецкий, Е.Н. Щербаков // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – М.: РАН ВИНТИ, 2011. – № 8. – С. 16–20.
7. Карпачев, С.П. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России / С.П. Карпачев, Е.Н. Щербаков, А.Н. Комяков, А.Н. Слинченков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. – С. 70–74.
8. Комяков, А.Н.. Применение большегрузных плавучих контейнеров для нужд биоэнергетики / А.Н. Комяков, С.П. Карпачев // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 4 (73) – 2010. –С. 104–107.
9. Карпачев, С.П. Моделирование технологических процессов освоения древесины на ложе водохранилищ / С.П. Карпачев Е.Н., Щербаков, Е.В. Солдатова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, № 1. – 2013. – С. 56–61.

CARGO TRANSPORT UNIT

Karpachev S.P. (MSFU), Sherbakov E.N. (MSFU), Evstratova K.A. (MSFU)

karpachev@mgul.ac.ru, scherbakov@mgul.ac.ru

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

The article gives information about the new bunk transport unit for the alloy roundwood and chips in soft containers

Keywords: wood chips, forest residuals, technological process

References

1. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Grachev I.D. *Nekotoryye voprosy tekhnologii osvoyeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some issues of technology development of forest biological resources for bioenergy]. Lesopromyshlennik. 2009. № 49. pp. 23.
2. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N.. *Nekotoryye voprosy osvoyeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions of the development of bio-resources of the forests for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010. pp. 107-111.
3. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syrya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Lesopromyshlennik, fevral-mart 1 (49). 2009.
4. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Priorov G.E. *Proizvodstvo drov dlya zhilishchno– kommunalnogo khozyaystva lesnykh poselkov i gorodov* [Manufacture of wood for housing and communal services of forest villages and towns]. Lesopromyshlennik. April-iyun 2 (54). 2010.
5. Karpachev S.P. *Nekotoryye voprosy tekhnologii osvoyeniya i vodnogo transporta bioresursov iz lesa dlya bioenergetiki* [Some issues of technology development and water transport of forest biological resources for bioenergy]. Moscow. Uchenyye zapiski RGSU /Ekologicheskaya bezopasnost i prirodopolzovaniye. № 5. 2009., pp. 130-138.
6. Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov Ye.N. *Modelirovaniye logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Simulation of logistics systems of forest materialopotokov]. M. //Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. / Nauchnyy informatsionnyy sbornik. Moscow. RAN VINITI. 2011, № 8, pp. 16-20.
7. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Komyakov A.N., Slinchenkov A.N. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syrya v Rossii* [Problems bioenergy development of wood-based raw materials in Russia]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010., pp. 70-74.
8. Komyakov A.N., Karpachev S.P. *Primeneniye bolshegruznykh plavuchikh konteynerov dlya nuzhd bioenergetiki* [Heavy use of floating containers for bioenergy]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 4 (73). 2010., pp 104-107.
9. Karpachev S.P., Shcherbakov Ye.N., Soldatova Ye.V. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov osvoyeniya drevesiny na lozhe vodokhranilishch* [Modeling process of development on a bed of wood reservoirs]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. № 1. 2013., pp 56-61.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДНЫХ ПОСТАВОК ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

П.Ф. ВОЙТКО, проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств ПГТУ, д-р техн. наук,

П.М. МАЗУРКИН, проф., зав. каф. природообустройства ПГТУ, д-р техн. наук,

И.Г. ГАЙСИН, асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств ПГТУ

info@volgatech.net, vojtkopf@marstu.net, mazurkinpm@volgatech.net

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, кафедра ТОЛП
424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-ола, пл. Ленина, д. 3.

Приведены справочные материалы о лесосплаве за 47 лет, выполнено математическое моделирование прогноза водных поставок лесоматериалов потребителям на ближайшую перспективу до 2040 г., проведена экспериментальная проверка прогноза.

Ключевые слова: справочные материалы, математическое моделирование прогноза водных поставок лесоматериалов потребителям, экспериментальная проверка прогноза.

Неравномерность распределения лесов на территории России и отдаленность потребителей лесоматериалов от основных лесозаготовительных районов страны вызывает необходимость транспортировки лесных грузов на большие расстояния (табл. 1) [1].

Сопоставление трех видов лесотранспорта (водного, железнодорожного и автомо-

бильного) показывает (табл. 1) резкий спад объемов перевозки древесины водным транспортом, стабилизацию перевозок лесных грузов железнодорожным и рост перевозок лесоматериалов автомобильным транспортом во двор потребителя на небольшие расстояния [2]. В связи с сокращением поставок лесоматериалов потребителям (табл. 2) водным транс-

Вывозка древесины по видам франко России, млн м³

Годы	Всего	в том числе:					
		к железной дороге		к пунктам сплава		к пунктам потребления	
		объем	%	объем	%	объем	%
1965	219,9	59,3	27	108,1	49,1	52,5	23,9
1970	224,5	69,4	30,9	99,8	44,5	55,3	24,6
1975	233,8	76,4	32,7	91,0	38,9	66,4	28,4
1980	205,7	62,6	30,5	72,9	35,4	70,2	34,1
1985	208,6	64,0	30,7	64,4	30,9	80,2	38,4
1990	304,0	93,9	30,9	49,3	16,2	160,8	52,9
1995	116,0	36,1	31,1	11,02	9,5	68,9	59,4
2000	94,8	30,3	32,0	8,5	9,0	56,0	59,0
2005	113,0	36,3	32,1	8,9	7,9	67,8	60,0
2010	112,2	34,7	30,9	7,6	6,8	69,9	62,3

Структура водного транспорта леса России, млн м³

Годы	Пуск в сплав	в том числе					
		молью		в плотах		в судах	
		объем	%	объем	%	объем	%
1960	125,335	104,768	83,6	18,060	14,4	2,507	2,0
1965	122,895	99,629	81,1	18,350	14,9	4,976	4,0
1970	102,023	78,703	77,2	18,700	18,3	4,62	4,5
1975	91,679	57,889	63,2	28,241	30,8	5,55	6,0
1980	75,258	40,452	53,7	28,89	38,4	5,917	7,9
1985	66,900	31,500	47,1	29,60	44,2	5,800	8,7
1990	49,300	15,300	31,0	27,900	56,6	6,100	12,4
1995	11,019	1,389	12,6	6,763	61,4	2,867	26,0
2000	8,500	0,204	2,4	5,185	61,0	3,111	36,6
2005	8,900	0,0	0,0	5,696	64,0	3,204	36,0
2010	7,600	0,0	0,0	4,940	65,0	2,660	35,0

портом возникла проблема изменения структуры деревоперерабатывающих предприятий, оснащенных рейдами приплава. Противоречие заключается в необходимости прогнозирования водных поставок лесоматериалов на лесопромышленные предприятия России.

Первая попытка обоснования прогноза развития водного транспорта лесоматериалов была предпринята в 2001 г. П.Ф. Войтко и П.М. Мазуркиным [3]. Были составлены статистические модели и таблицы с фактическими (1965–1999 гг.) и расчетными данными динамики развития лесопромышленного комплекса России и водного транспорта леса в частности на ближайшую перспективу до 2035 г.: вывозки древесины по видам франко (автомобильным, железнодорожным, водным); пуска древесины в сплав (молью, в

плотах, в судах); береговой и навигационной сплотки древесины; приплава древесины потребителям; выгрузки лесоматериалов с воды на рейдах приплава. Полученные статистические модели [3] необходимо подвергнуть экспериментальной проверке фактическими данными вывозки древесины предприятиями ЛПК в 2000–2012 гг. [1].

Воспользуемся методикой статистического моделирования [4], которая включает две стадии: 1) выбор типа математической модели (ограничения задаются самими исходными данными); 2) поиск на ПЭВМ значения параметров математической модели. Первая стадия значительно упрощается, если математические модели строить из устойчивых законов распределения или их фрагментов [4]. Процесс конструирования

Динамика вывозки древесины предприятиями ЛПК России

Годы учета	Время t , лет	Факт $Q_{\text{ф}}$, млн м ³	Расчетные значения (1), млн м ³			Составляющие модели (1), млн м ³				
			Q	ε	Δ , %	Q_1	Q_2	a	$p_{0,5}$	Q_3
1965	0	219,9	218,6	1,29	0,59	218,6	0,0	0,0	5,24	-0,0
1970	5	224,5	224,8	-0,27	-0,12	218,3	5,4	28,6		1,1
1975	10	233,8	234,5	-0,73	-0,31	213,7	14,3	60,1		6,5
1980	15	205,7	206,2	-0,50	-0,24	195,5	25,4	58,1		-14,6
1985	20	208,6	208,5	0,11	0,05	154,2	38,3	41,0		16,0
1990	25	304,0	134,3	-	-	94,0	52,9	24,3		-12,7
1995	30	116,0	115,9	0,11	0,09	38,5	69,1	12,9		8,3
2000	35	94,8	91,0	3,76	3,97	8,9	86,8	6,4		-4,7
2001	36	96,3	95,4	0,91	0,94	6,1	90,6	5,5		-1,3
2002	37	97,0	100,1	-3,08	-3,18	4,1	94,3	4,7		1,7
2003	38	105,0	104,1	0,89	0,85	2,6	98,2	4,1		3,3
2004	39	112	107,1	4,84	4,32	1,62	102,1	3,5		3,5
2005	40	113	109,5	3,52	3,11	0,97	106,0	3,0		2,5
2006	41	118	111,6	6,43	5,45	0,55	110,0	2,5		1,0
2007	42	134	114	20,03	14,95	0,30	114,1	2,2		-0,4
2008	43	108	117,1	-9,06	-8,39	0,16	118,2	1,8		-1,3
2009	44	100,7	120,9	-20,25	-20,10	0,08	122,4	1,6		-1,5
2010	45	112,2	125,5	-13,28	-11,83	0,04	126,7	1,3		-1,2
2011	46	120,5	130,4	-9,88	-8,20	0,02	131,0	1,1		-0,6
2012	47	112,9	135,4	-22,47	-19,90	0,01	135,3	1,0		0,1
2015	50	-	149,3	-	-	0,0	148,7	0,6		0,6
2020	55	-	172,0	-	-	0,0	172,2	0,2		-0,2
2025	60	-	197,3	-	-	0,0	197,2	0,1		0,1
2030	65	-	223,6	-	-	0,0	223,6	0,0		-0,0
2035	70	-	251,5	-	-	0,0	251,6	0,0		0,0
2040	75	-	280,9	-	-	0,0	280,9	0,0		-0,0

модели происходит поэтапно, по мере анализа ее адекватности исследуемому процессу. Преимуществом математического моделирования является возможность прогнозирования выявленных тенденций развития водного транспорта лесоматериалов при условии, что в данной отрасли деятельности не будет изменяться научно-техническая политика, а водный транспорт – претерпевать структурных изменений. Для ориентировочных прогнозов принимаем горизонт прогноза с 2003 по 2040 гг., равный основанию прогноза в 37 лет с 1965 по 2002 гг. (табл. 3). Далее приведены статистические модели (1–3) и таблицы с фактическими и расчетными данными вывозки древесины предприятиями ЛПК России (табл. 3) и водного транспорта лесоматериалов в частности (табл. 4, 5).

На основе полученных данных [1, 3] в 2000–2012 гг. уточнен прогноз вывозки дре-

весины лесопромышленными предприятиями (табл. 3), который определяется уравнением:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 218,61 \exp(-24880 \times 10^{-6} t^{3,9563}) + 0,5777 t^{1,3798} \exp(+0,003060 t) + a \cos(\pi t / p_{0,5} + 1,7544), \quad (1)$$

$$a = 1,1655 t^{2,6862} \exp(-0,2243 t), \quad p_{0,5} = 5,2437.$$

где t – время с начала массива исходных данных;

a – амплитуда колебательного возмущения;

$p_{0,5}$ – половина периода волнового изменения.

В табл. 3 приняты следующие условные обозначения: t – время с начала массива исходных данных, лет; $Q_{\text{ф}}$ – фактическое значение показателя объема вывозки древесины, млн м³; Q – расчетное значение показателя, вычисленное по статистической модели, млн м³; ε – остаток, то есть разница между фактическими и расчетными значениями показателя,

Динамика вывозки древесины к пунктам сплава ЛПК России

Годы учета	Время t , лет	Факт Q , млн м ³	Расчетные значения (2), млн м ³			Составляющие модели (2), млн м ³				
			Q	ε	Δ , %	Q_1	Q_2	a	$p_{0,5}$	Q_3
1965	0	108,1	105,3	2,84	2,63	105,3	0,0	0,0	9,29	-0,0
1970	5	99,8	101,2	-1,42	-1,42	102,1	0,9	0,0		-0,0
1975	10	91,0	90,5	0,45	0,49	92,5	1,9	0,3		0,1
1980	15	72,9	72,4	0,51	0,70	77,8	2,8	3,4		2,7
1985	20	64,4	65,0	-0,57	-0,89	60,6	3,7	11,3		-8,1
1990	25	49,3	48,9	0,45	0,91	43,5	4,6	16,4		-10,0
1995	30	11,0	11,6	-0,64	-5,82	28,8	5,6	13,5		11,6
2000	35	8,5	8,2	0,32	3,76	17,5	6,5	7,2		2,9
2001	36	8,5	8,6	-0,11	-1,29	15,7	6,7	6,1		0,5
2002	37	7,9	8,5	-0,62	-7,85	14,1	6,9	5,1		-1,3
2003	38	7,8	7,8	-0,03	-0,38	12,5	7,0	4,2		-2,4
2004	39	9,6	6,6	-6,60	31,30	11,1	7,2	3,5		-2,7
2005	40	8,9	5,0	-5,00	43,78	9,8	7,4	3,0		-2,6
2006	41	7,5	3,2	-3,21	57,16	8,7	7,6	2,5		-2,2
2007	42	13,1	1,4	-1,39	89,36	7,6	7,8	2,2		-1,6
2008	43	10,6	-0,3	0,32	103,02	6,7	8,0	1,8		-1,0
2009	44	6,9	-1,8	1,85	126,79	5,8	8,2	1,6		-0,5
2010	45	7,6	-3,2	3,16	141,53	5,0	8,3	1,3		-0,1
2011	46	7,9	-4,2	4,25	153,75	4,4	8,5	1,1		0,1
2015	50	-	-7,1	-	-	2,4	9,3	0,2		0,2

вычисленный по формуле $\varepsilon = Q_\phi - Q$, млн м³; Δ – относительная погрешность, %, вычисленная по формуле $100\varepsilon/Q_\phi$; Q_1 – первая составляющая статистической модели (1), которая показывает естественную тенденцию динамики значений показателя млн м³; Q_2 – вторая составляющая и последующие Q_3 , которые характеризуют антропогенное (техногенное) влияние различных факторов по годам на изменение значений показателя, млн м³.

Доверительная вероятность статистической модели (1), составленной из биотехнического закона и его фрагментов [5, 6], в отличие от существующих сложных критериев верификации (Фишера и др.), оценивается по максимальной относительной погрешности Δ_{max} , значение которой приведено в табл. 3. Разница $D = 100 - \Delta_{max}$ определяет доверие к выявленной закономерности (1), причем это доверие на порядок требовательнее по сравнению с критерием Фишера χ^2 . Как видно из данных табл. 3 доверие к статистической модели (1) составляет 79,9 %.

Первая составляющая Q_1 формулы (1) является устойчивым законом гибели и по сравнению с формулой (1) [3] не изме-

нилась по характеру. При этом изменились только значения параметров модели закона гибели. Вторая составляющая Q_2 является устойчивым законом показательного роста и характеризует положительное воздействие работников лесопромышленного комплекса на объемы вывозки древесины. Она дополнилась сомножителем в виде закона экспоненциального роста [6], который полностью зависит от персонала ЛПК и усилий его руководящего звена.

Это позволяет сделать некоторые выводы о будущем процесса вывозки лесоматериалов. Примерно с 2012 г. естественная тенденция спада объема вывозки Q_1 вымирает и полностью уступает тенденции «двойного роста» Q_2 . Третья волновая составляющая Q_3 при этом ликвидируется к 2030 г., имея максимум амплитуды 62,6 млн м³ в 1977 г. и максимум негативного вычитания объемов вывозки 61,6 млн м³ в 1978 г. В итоге остается до середины XXI в. опасная тенденция роста объемов вывозки древесины только за счет антропогенного воздействия по второй составляющей Q_2 . Однако и она не позволит к 2040 г. добиться объемов вывозки советских

Динамика доли вывозки древесины к пунктам сплава ЛПК России, %

Годы учета	Время t , лет	Факт P	Расчетные значения (3)			Составляющие модели (3)			
			p	ε	Δ , %	p_1	a	$p_{0,5}$	p_2
1965	0	49,1	48,8	0,27	0,55	48,8	0,0	13,73	0,0
1970	5	44,5	45,1	-0,55	-1,24	45,1	0,0		0,0
1975	10	38,9	38,6	0,28	0,72	38,6	0,5		-0,0
1980	15	35,4	35,4	0,05	0,14	31,5	4,2		-3,9
1985	20	30,9	31,0	-0,05	-0,16	24,6	8,7		-6,4
1990	25	16,2	16,1	0,12	0,74	18,5	7,8		2,4
1995	30	9,5	9,7	-0,22	-2,32	13,5	3,8		3,8
1999	34	9,5	9,2	0,29	3,05	10,3	1,5		1,1
2000	35	9,0	9,0	0,04	0,44	9,6	1,2		0,6
2001	36	8,8	8,6	0,17	1,93	8,9	0,9		0,3
2002	37	8,1	8,2	-0,11	-1,36	8,3	0,7		0,0
2003	38	7,4	7,7	-0,34	-4,59	7,7	0,5		-0,1
2004	39	8,6	7,2	1,33	15,57	7,1	3,5		-0,1
2005	40	7,9	6,7	1,15	14,64	6,6	3,0		-0,1
2006	41	6,4	6,2	0,14	2,18	6,1	2,5		-0,1
2007	42	9,8	5,7	4,05	41,38	5,6	2,2		-0,1
2008	43	9,8	5,3	4,54	46,29	5,2	1,8		-0,1
2009	44	6,9	4,8	2,01	29,32	4,8	1,6		-0,1
2010	45	6,8	4,4	2,33	34,36	4,4	1,3		0,0
2011	46	6,6	4,1	2,48	37,77	4,1	1,1		0,0
2015	50	-	2,9	-	-	2,9	0,0		-0,0
2020	55	-	1,8	-	-	1,8	0,0		0,0
2025	60	-	1,1	-	-	1,1	0,0		0,0
2030	65	-	0,7	-	-	0,7	0,0		-0,0
2035	70	-	0,4	-	-	0,4	0,0		-0,0
2040	75	-	0,2	-	-	0,2	0,0		-0,0

времен. Только с 2025 г. намечается медленный рост объемов вывозки древесины. Это значит, что без кардинальных мероприятий в техническом перевооружении лесопромышленного комплекса России еще долгое время объемы вывозки будут в $219,6/43,7 = 5,03$ раза меньше по сравнению с 1965 г.

Составлен уточненный прогноз вывозки древесины к пунктам сплава (табл. 4), который характеризуется уравнением (2), состоящим из естественной первой Q_1 и двух других Q_2 и Q_3 кризисных составляющих, то есть в виде формулы

$$Q = 105,26 \exp(-0,001020t^{2,1013}) - 0,1854t - 2,2598 \cdot 10^{-10} t^{9,8168} \exp(-0,06264t^{1,4464}) \times \cos(\pi t/9,2908 + 1,8899). \quad (2)$$

Модель (2) имеет достаточно высокую точность до 2003 г. с доверием не ниже 91,22 %. Она указывает на то, что сплав древесины переживает значительный кризис,

причем по всем трем составляющим статистической модели.

Уже с 2008 г. прогноз объема вывозки лесоматериалов к пунктам сплава достигнет в России нулевого значения (табл. 4). Поэтому дальнейшее прогнозирование не имеет практического смысла: необходимы кардинальные изменения в выборе типа математической модели и поиска значений ее параметров для процесса сплава древесины.

Точнее получается модель структуры вывозки древесины к пунктам сплава Q_c в сравнении с вывозкой к железным дорогам и непосредственно к пунктам потребления ($Q_b - Q_c$). Тогда модель динамики доли $P = 100Q_c/Q_b$ (%) вывозки древесины к пунктам сплава характеризуется формулой (табл. 5)

$$P = 48,831 \exp(-0,0066735t^{1,54653}) - 3,5978 \cdot 10^{-9} t^{8,97499} \exp(-0,057340t^{1,50986}) \times \cos(\pi t/13,7265 + 5,5951). \quad (3)$$

Доверие к модели (3) составляет 95,41 % до 2004 г. Первая составляющая P_1 в уравнении (7.21) продолжится почти до 2040 г. (табл. 5), то есть в структуре вывозки лесоматериалов доставка к пунктам сплава останется надолго.

Структура объемов вывозки к железным дорогам и пунктам потребления будет описываться выражением $100-p$, где доля p вычисляется по формуле (3). Волновая кризисная составляющая P_2 (табл. 5) доставки к железным дорогам и пунктам потребления устранилась с 2008 г.

Итерация результатов прогнозирования по прошлым данным функционирования позволяет значительно повысить точность определения путей развития вывозки лесоматериалов к пунктам сплава. При этом периодичность повторных прогнозов должна быть не менее 2–3 года.

Составленные статистические модели (1–3) и таблицы с фактическими и расчетными данными позволяют прогнозировать развитие водных поставок лесоматериалов на рейды приплава на ближайшую перспективу до 2040 г., при условии стабилизации технического оснащения лесосплавных предприятий современным оборудованием и внедрения новых технологий ВТЛ [2, 3, 7, 8] на смену молевому сплаву.

Библиографический список

1. Российский статистический ежегодник, 2012: стат. сб./ Росстат. – М.; 2012. – 725 с.
2. Войтко, П.Ф. Транспорт леса. Совершенствование лесоперевалочных процессов на рейдах приплава: учеб. пособие / П.Ф. Войтко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. – 304 с.
3. Войтко, П.Ф. Пути развития водного транспорта лесоматериалов / П.Ф. Войтко, П.М. Мазуркин // Лесн. пром-сть. – 2004. – № 4. – С. 14–16.
4. Сабанцев, Ю.Н. Статистическое моделирование лесоэкономических данных: научное издание / Ю.Н. Сабанцев, П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 390 с.
5. Мазуркин, П.М. Статистическое моделирование. Эвристико-математический подход: научное издание / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. – 100 с.
6. Мазуркин, П.М. Закономерности устойчивого развития: научное издание / П.М. Мазуркин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 302 с.
7. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: монография / А.А. Митрофанов. – Архангельск: АГТУ, 2007. – 492 с.
8. Митрофанов, А.А. Новые технологии водного транспорта леса на смену молевому лесосплаву / А.А. Митрофанов, М.О. Соколов // Вестник МГУЛ – Лесн. вестник. – 2000. – № 3(12). – С. 47–81.
9. Гайсин, И.Г. Совершенствование выгрузки плоских сплоченных единиц с воды на рейдах приплава/ П.Ф. Войтко, И.Г. Гайсин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 1. – С. 28–32.

FORECAST OF WATER TIMBER DELIVERY TO CONSUMERS

Voitko P.F. (Volga State University of Technology), Mazurkin P.M. (Volga State University of Technology), Gaisin I.G. (Volga State University of Technology)

info@volgatech.net, vojtkopf@marstu.net

Volga State University of Technology, 3 Lenin sq., Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000.

Inquiry data on timber floating for 47 years, mathematical modeling of water timber delivery to consumers forecast for the nearest perspective till 2040, experimental testing of forecast are given.

Keywords: data, mathematical modeling of water timber delivery to consumers forecast, experimental testing of forecast.

References

1. *Rossiyskiy statisticheskiy yezhegodnik, 2012: stat.sb* [Russian Statistical Yearbook, 2012]. Rosstat. Moscow. 2012. 725 p.
2. Voytko, P.F. *Transport lesa. Sovershenstvovaniye lesoperevalochnykh protsessov na reyдах priplava* [Improving processes lesoperevalochnye raids priplava : Textbook. allowance]: ucheb. posobiye. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2006. 304 p.
3. Voytko, P.F., Mazurkin P.M. *Puti razvitiya vodnogo transporta lesomaterialov* [Ways of development of water transport timber]. 2004. № 4. pp. 14-16.
4. Sabantsev, Yu.N., Mazurkin P.M. *Statisticheskoye modelirovaniye lesoekonomicheskikh dannykh* [Statistical modeling of forest economic data : scientific publication]: nauchnoye izdaniye. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2001. 390 p.

5. Mazurkin, P.M. *Statisticheskoye modelirovaniye. Evristiko-matematicheskij podkhod* [Statistical modeling . Heuristic – mathematical approach : scientific publication]: nauchnoye izdaniye. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2001. 100 p.
6. Mazurkin, P.M. *Zakonovernosti ustoychivogo razvitiya* [Laws of sustainable development : scientific publication]: nauchnoye izdaniye. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002. 302 p.
7. Mitrofanov, A.A. *Lesosplav. Novyye tekhnologii, nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye* [Rafting . New technologies, scientific and technical support: Monograph]: monografiya. Arkhangelsk: AGTU, 2007. 492 p.
8. Mitrofanov A.A., Sokolov M.O. *Novyye tekhnologii vodnogo transporta lesa na smenu molevomu lesosplavu* [New technology water transport timber to replace Moleva Rafting]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2000. № 3(12). pp. 47-81.
9. Gaysin, I.G., Voytko P.F. *Sovershenstvovaniye vygruzki ploskikh splotochnykh yedinit s vody na reyдах priplava* [Improving unloading flat splotochnykh units with water raids priplava]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2013. № 1. pp. 28-32.

РАСЧЕТ СРЕДНИХ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСОВОЗНОГО АВТОТРАНСПОРТА

В.Я. ЛАРИОНОВ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,*
А.А. КАМУСИН, *зав. кафедрой транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*
Д.М. ЛЕВУШКИН, *доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук*

kamusin@mgul.ac.ru, larionov@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

В статье рассмотрены различные методы определения скоростей движения лесовозных автопоездов.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, средняя скорость движения, методы расчета.

Одним из основных показателей работы лесовозных автопоездов является производительность. Существенным фактором, влияющим на повышение производительности автопоезда и улучшение использования подвижного состава, является средняя техническая скорость движения. Поэтому разработка методов определения и оптимизации скоростей движения имеет большое прикладное значение.

В настоящее время разработаны и находят практическое применение различные методы определения скоростей движения. Они отличаются различными предпосылками, трудоемкостью и точностью определения скоростей и времени движения.

К первой группе можно отнести методы, основанные на аналитическом или графическом интегрировании уравнения движения автопоезда [1].

Решая уравнение движения для различных режимов – ускоренного, равномерного и замедленного, – находят скорости и время движения по элементам продольного

профиля дороги. При этом учитывать влияние горизонтальных и вертикальных кривых на режим движения сложно.

Выполнение более точных расчетов вызвало необходимость при решении уравнения движения учитывать многие факторы, влияющие на режим движения. Решение подобного уравнения рассматривается в работе [2]. Предложенный метод позволяет определить скорость движения в любой точке продольного профиля дороги как на прямолинейных его участках, так и на вертикальных и горизонтальных кривых. На основании этого метода разработан ряд ЭВМ-программ для расчета скоростей движения на дорогах общего пользования.

В работе [3] авторы учли специфику движения лесовозных автопоездов. Разработанные ими ЭВМ-программы определения скоростей и времени используются в практических расчетах.

Ко второй группе можно отнести приближенные графо-аналитические методы. Среди них наибольшее распространение

имеет метод равновесных скоростей [1], основанный на следующих допущениях:

– на каждом элементе продольного профиля дороги автопоезд движется с равномерной скоростью;

– при переходе с одного элемента продольного профиля на другой скорость изменяется мгновенно, достигая величины, соответствующей уклону.

По замыслу допущений ясно, что при расчете скоростей указанным методом предполагается в любой момент времени равенство силы тяги и суммарного сопротивления, преодолеваемого движущимся с равномерной скоростью автопоездом.

К третьей группе можно отнести вероятностные методы определения скоростей, получившие развитие в последние годы. Вероятностные методы основаны, как правило, на обработке статистических данных и установлении характера и закономерностей распределения скоростей с последующей экспериментальной проверкой.

Первые две группы методов применяются для определения скоростей движения одиночных автомобилей. Методы третьей группы применимы, в основном, для определения скоростей автомобилей в потоке на дорогах общего пользования с большей интенсивностью движения по сравнению с лесовозными дорогами.

Как отмечалось выше, для решения практических задач представляет интерес определение средней технической скорости движения. Решение многих задач проектирования и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог, организации транспортного процесса, эксплуатации автопарка основывается на знании эксплуатационных характеристик дорог. Одной из важнейших эксплуатационных характеристик является средняя скорость движения автопоездов. Средняя скорость движения может служить основой для решения следующих задач:

1) технико-экономического сравнения вариантов проектируемых дорог или оценки эффективности работы автопарка – определения производительности автопоездов, се-

бестоимости перевозок древесины, затрат времени и труда на перевозки;

2) планирования работы автопарка – составление графиков движения на маршрутах, определение объемов перевозок, увязка технологических операций на лесных складах и т.п.;

3) обоснования эксплуатационных характеристик проектируемых дорог;

4) обоснования мероприятий по реконструкции дорог – смягчения продольных уклонов, увеличения радиусов горизонтальных кривых, улучшения качества покрытия, реконструкция однополосной дороги в двухполосную и т.п.;

5) разработки норм технологического проектирования.

В зависимости от решаемой задачи могут определяться средние технические скорости для одиночных автопоездов, для группы однотипных автопоездов или для автопарка в целом. Поскольку большинство лесозаготовительных предприятий работают на базе однотипных, а многие – на базе одномарочных машин, то определение средних скоростей движения для автопарка в целом приобретает большое значение.

Разработка метода определения и оптимизации средних скоростей движения автомобилей должна основываться на более полном изучении влияния различных факторов на процесс движения автомобиля. Можно выделить две группы факторов: факторы, определяющие дорожные условия и обуславливающие в основном сопротивление движению, и факторы, влияющие на процесс движения и определяемые взаимодействием системы водитель-автомобиль-дорога.

К первой группе факторов относятся тип и покрытие дороги и его состояние. Большую роль играет рельеф местности, определяющий продольные уклоны дороги. Значение сопротивлений движению в зависимости от видов и состояния покрытий известны и приведены во многих работах [2, 3]. Сопротивление движению не может быть охарактеризовано однозначно и изменяется в довольно широких пределах. При

этом диапазон изменения сопротивления велик. Например, коэффициент сопротивления движению для гравийного покрытия составляет 0,03–0,06, то есть диапазон изменения равен 2,0. Сопротивление движению представляет собой сумму сопротивлений и зависит от состояния покрытия (сухое, мокрое), микропрофиля, от деформации дорожной одежды и шин и т.д. Их значения переменны во времени и по длине маршрута. Сопротивление движению зависит от скорости, с увеличением которой сопротивление возрастает.

Существенное влияние на скорость оказывают продольные уклоны. На дорогах общего пользования при проектировании задается одно значение руководящего уклона для обоих направлений движения. На лесовозных же дорогах в силу односторонности грузопотока в грузовом направлении подъемы проектируются значительно более пологими, чем в порожнем направлении. Скорость на подъеме определяется использованием динамических свойств, зависящих от технического состояния автомобиля, рейсовой нагрузки, психофизических свойств водителя и т.п. Скорость на спуске ограничивается условиями безопасности движения. Таким образом, скорость на участках подъем-спуск может оказаться меньше, чем на горизонтальных участках дороги.

Тип и покрытие дороги и продольные уклоны являются основными составляющими суммарного сопротивления движению, которое определяет в основном среднюю техническую скорость автомобиля. Эти факторы в достаточной мере хорошо изучены.

Вторая группа факторов обусловлена особенностями восприятия водителем дорожной обстановки, шириной проезжей части, интенсивностью движения, навыками управления и техническим состоянием автомобиля, погодными условиями и т.д. Благоприятное сочетание этих факторов приводит к увеличению средней скорости автомобилей и наоборот. Вторая группа факторов также не является постоянной во времени и по длине маршрута. Часть этих

факторов изучена достаточно хорошо, другая часть, особенно связанная с психофизическими свойствами водителя, изучена недостаточно и применительно к лесовозным дорогам требует дополнительного исследования.

Из краткого приведенного выше анализа ясно, что скорость автомобиля на каждом участке дороги представляет собой функцию случайных факторов и меняется от элемента к элементу продольного профиля случайным образом. Под воздействием случайных факторов и их комбинаций скорость движения принимает на каждом участке какое-то определенное значение, отличное от значения на других участках. Это значение скорости лежит в интервалах, определенных свойствами системы водитель-дорога-автомобиль, и как-то распределяется в этом интервале. Следовательно, значение скорости можно описать каким-то законом распределения. И как всякая случайная величина скорость будет характеризоваться средним значением. Это среднее значение представляет собой среднюю скорость автомобиля, учитывающую влияние различных случайных факторов. Трудность описания скорости как случайной величины заключается в том, что взаимодействие и взаимообусловленность многообразия факторов мало изучено.

Для упрощения решения задачи приняты следующие допущения:

1) участок маршрута, на котором выполняется условие

$$D_{i+1} \leq \psi \leq D_i \quad (1)$$

преодолевается только на i -й передаче, где D_{i+1} и D_i – динамический фактор на $i+1$ -й и i -й передаче соответственно;

ψ – суммарное сопротивление движению;

2) скорость на i -й передаче меняется в пределах

$$V_{i-1} \leq V \leq V_i \quad (2)$$

при выполнении условия (1),

где V_{i-1} и V_i – максимальные скорости на $i-1$ -й и i -й передачах;

3) переключение с i -й передачи на более высокую или низкую обуславливается суммарным сопротивлением ψ ;

4) переключение на более высокую передачу осуществляется в точке маршрута, где имеет место равенство $D_{i+1} = \psi$. При этом на следующем участке $D_{i+1} > \psi$. Переключение на более низкую передачу осуществляется при $D_i = \psi$, если в последующем $\psi > D_i$;

5) время переключения передач не учитывается.

Величины сопротивлений движению определяют на основании данных о маршрутах. Суммарное сопротивление движению равно

$$\psi = f \pm i_n, \quad (3)$$

где f – коэффициент сопротивления движению,

i_n – продольный уклон.

В случае, если задача решается для группы маршрутов, то нужно найти законы распределения ψ . Это отдельный вопрос и он требует дополнительного исследования.

Обозначим закон распределения величины ψ через

$$f(\psi) = F(\psi). \quad (4)$$

На основании зависимости (4) можно определить участки длиной L_i , преодолеваемые на i -й передаче. Обозначим через k_i относительный путь движения автомобиля на i -й передаче

$$k_i = L_i/L, \text{ тогда } L_i = k_i L,$$

где L – длина маршрута.

Длина участка L_i будет зависеть от вероятности попадания величины суммарного сопротивления ψ в интервалы, ограниченные возможностями i -й передачи (2), и определяется по формуле

$$L_i = l p(D_{i+1} \leq \psi \leq D_i),$$

где $p(D_{i+1} \leq \psi \leq D_i)$ – вероятность попадания величины ψ в интервал от D_{i+1} до D_i .

Отсюда видно, что величина k_i численно равна вероятности $p(D_{i+1} \leq \psi \leq D_i)$. Следовательно, на основании (4) можно определить относительную длину отдельных участков пути k_i по формуле

$$k_i = \int_{D_{i+1}}^{D_i} f(\psi) d\psi. \quad (5)$$

Однако значение длины участка L_i еще не позволяет определить скорость: на этом участке величина скорости может иметь лю-

бое значение согласно условию (2) в пределах от V_{i-1} до V_i . При этом каждое отдельное значение скорости представляется случайной величиной. Как и всякая случайная величина, подчиненная любому закону распределения, скорость может быть охарактеризована средним значением по формуле математического ожидания для непрерывной случайной величины. В этом случае средняя скорость автомобиля на i -й передаче определится по формуле

$$V_{Ci} = \int_{V_{i-1}}^{V_i} f_i(V) dV.$$

С некоторым приближением можно записать

$$V_{Ci} = 1/2(V_i + V_{i-1}) = 1/2(1 + V_{i-1}/V_i)V_i = \delta_i V_i, \quad (6)$$

где $\delta_i = 1/2(1 + V_{i-1}/V_i)$.

Такая форма записи более удобна, так как значения максимальных скоростей на соседних передачах известны.

Рассмотрим движение автомобиля по маршруту длиной L . Каждый участок длиной L_i преодолевается на i -й передаче со средней скоростью V_{Ci} за время t_i . Тогда лимитирующие условия запишутся в виде

$$\sum_{i=1}^n t_i = t = \min \text{ и } \sum_{i=1}^n L_i = L,$$

где t – время движения по всему маршруту.

С другой стороны, для всего маршрута

$$L = \sum_{i=1}^n V_{Ci} \cdot t_i. \quad (7)$$

Средняя скорость автомобиля

$$V_{cp} = \frac{L}{t} = \sum_{i=1}^n V_{Ci} \frac{t_i}{t} = \max. \quad (8)$$

Или, принимая во внимание (6),

$$V_{cp} = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = \max, \quad (9)$$

где $\gamma_i = t_i/t$.

Максимальная скорость V_i на i -й передаче определяется по известной формуле

$$V_i = \eta N_e / f_i Q, \quad (10)$$

где N_e – максимальная мощность двигателя;

f_i – удельная сила тяги на i -й передаче;

η – КПД двигателя и трансмиссии;

Q – полная масса автопоезда.

Запишем удельную мощность двигателя

$$N = N_e / Q. \quad (11)$$

Тогда с учетом (10) и (11) V_{cp} запишется в виде

$$V_{cp} = N \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i \cdot \gamma_i \cdot \eta}{f_i} = \max. \quad (12)$$

В последней формуле осталось выразить γ_i через известные величины. Для этого воспользуемся соотношением

$$t_i = k_i L / \delta_i V_i, \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i = t = L \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\delta_i V_i}$$

Тогда

$$\gamma_i = \frac{k_i}{\delta_i V_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\delta_i V_i}}$$

Подставив значение γ_i в формулу (12), получим окончательную зависимость для определения средней скорости автомобиля

$$V_{cp} = N \sum_{i=1}^n \frac{k_i \cdot \eta}{f_i \cdot V_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\delta_i V_i}}. \quad (14)$$

Время движения минимизируется по формулам (13). Полученная зависимость (14) учитывает воздействие на режим движения факторов первой группы и до некоторой степени – второй группы.

Рассмотренная методика определения средних скоростей движения может использоваться для решения задач, изложенных выше.

Библиографический список

1. Салминен, Э.О. Транспорт леса. Т.1. Сухопутный транспорт: учебник для студ. высш.учеб.заведений / Г.Ф. Грехов, Н.А. Тюрин и др.; под ред. Э.О. Салминена. – М.: Академия, 2009. – 368 с.
2. Бельский А.Е. Расчеты скоростей движения и автомобильных дорогах / А.Е. Бельский. – М.: Транспорт, 1966. – 120 с.
3. Шегельман, И.Р. Моделирование движения лесовозных автопоездов на ПЭВМ / И.Р. Шегельман, В.И. Срыпник, А.В. Пладов, А.Н. Кочанов, В.А. Кузнецов. — Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. – 234 с.

CALCULATION OF AVERAGE SPEEDS OF VEHICLES FOR TRANSPORTATION OF TIMBER

Larionov V. (MSFU), Kamusin A. (MSFU), Levushkin D. (MSFU)

kamusin@mgul.ac.ru, larionov@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow region, Russia

The article describes the various methods discussed certain speed logging trucks.

Key words: logging trucks, average speed, calculation methods.

References

1. Salminen E.O., Grekhov G.F., Tyurin N.A. *in dr. Transport lesa. T.1. Sukhoputnyy transport: uchebnyy dlya stud. vyssh. ucheb.zavedeniy* [Transport timber. V.1. Land transport: a textbook for university students], red. E.O. Salminena. Moscow. Akademiya, 2009. 368 p.
2. Belskiy A.E. *Raschety skorostey dvizheniya i avtomobilnykh dorogakh* [Calculations speeds and roads]. Moscow. Transport, 1966. 120 p.
3. Shegelman I.R., Srypnik V.I., Pladov A.V., Kochanov A.N., Kuznetsov V.A. *Modelirovaniye dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov na PEVM* [Simulation of the motion of logging trucks on the PC]. PetrGU. Petrozavodsk, 2003. 234 p.

УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ПРИЦЕПОВ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

А.А. КАМУСИН, проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,
Н.И. КАЗНАЧЕЕВА, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
В.А. БОРИСОВ, доц. каф. транспорта леса МГУЛ, канд. техн. наук,
Д.В. АКИНИН, доц. каф. колесных и гусеничных машин МГУЛ, канд. техн. наук

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru
ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

При достаточно высоких скоростях движения, характерных для автопоездов, даже очень незначительные возмущения от неровностей поверхности качения или от порывов ветра могут вызвать колебания («виляния») прицепов в плоскости качения. Исследования показывают, что критическая скорость движения автопоезда, после которой возникает неустойчивость движения, может быть увеличена, главным образом, за счет увеличения жесткости системы и в меньшей степени за счет увеличения демпфирующих сопротивлений.

Ключевые слова: теория автомобиля, устойчивость и неустойчивость движение автопоезда, критическая скорость автопоезда.

При достаточно высоких скоростях движения, характерных для автопоездов, даже очень незначительные возмущения от неровностей поверхности качения или от порывов ветра могут вызвать колебания («виляния») прицепов в плоскости качения. Эти колебания, называемые часто автоколебаниями, носят «самовозбуждающийся» характер и отличаются от вынужденных колебаний тем, что при отсутствии колебаний отсутствует и возбуждение.

Но для самовозбуждения необходим источник энергии, за счет которого эти колебания поддерживаются, и, кроме того, самовозбуждающаяся система должна обладать способностью отбирать определенную часть энергии от источника. Последнее зависит от таких дина-

мических характеристик колебательной системы, как собственные частоты, формы колебаний и коэффициенты затухания. Напомним, что собственные частоты системы в свою очередь зависят от ее массы и жесткости.

Поступление энергии, возбуждающей автоколебания прицепов, буксируемых автомобилями, обеспечивается кинетической энергией движущегося автопоезда, то есть в этом случае на систему не действуют никакие периодические внешние возмущения, источником колебаний является движущийся прицеп.

Исследования показывают, что критическая скорость движения автопоезда, после которой возникает неустойчивость движения, может быть увеличена, главным образом, за счет увеличения жесткости системы и в меньшей степени за счет увеличения демпфирующих сопротивлений.

Применительно к рассматриваемой системе такими средствами являются увеличение поперечной жесткости сцепного устройства, соединяющего дышло прицепа с буксирным крюком тягача, и увеличение демпфирующего сопротивления в присоединительных шарнирах сцепного устройства.

Для автоколебаний характерно также постоянное стремление к росту амплитуды и если оно не будет ограничено, виляние прицепа может стать весьма интенсивным и создать аварийную ситуацию.

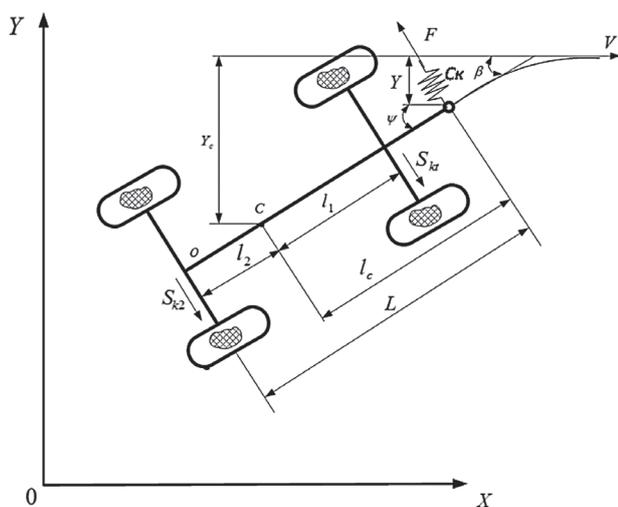


Рисунок. Модель бокового увода прицепа

Если в процессе роста амплитуды поперечных колебаний влияние факторов, приведших к их самовозбуждению, снижается (например, при уменьшении скорости движения) и в конце концов падает до нуля, то это будет означать, что достигнуто равенство значений энергии, потребляемой и рассеиваемой системой за один цикл колебаний, и движение становится устойчивым.

На рисунке приведена схема, которая может быть положена в основу исследования устойчивости движения прицепа. На этой схеме: точка K соответствует сцепной петле дышла прицепа, точка C – его центр масс; момент упругой связи в присоединительном шарнире тягача

$$M_c = c_0(\psi - \beta) + \beta_0(\psi - \beta),$$

где c_0 и β_0 – соответственно круговая жесткость и демпфирующее сопротивление в шарнире;

S_{k1} и S_{k2} – поперечные силы взаимодействия передних и задних колес прицепа с поверхностью качения;

F – сила упругости при поперечной деформации сцепного устройства,

$$F = C_k Y$$

C_k – поперечная жесткость сцепного устройства в точке K .

Математическая модель, описывающая движение прицепа в плоскости качения, может быть составлена из уравнений поступательного движения в поперечной плоскости и вращательных движений относительно вертикальной оси, проходящей через точку C . Будем при этом считать углы ψ и β малыми и принимать, что

$$S_{k1} + S_{k2} = -(k_{s1}k_{s2})\beta - \frac{k_{s1}l_1 - k_{s2}l_2}{v}\psi.$$

Составим уравнения движения

$$\Sigma Y = 0; m(y + l_c\psi) = (S_{k1} + S_{k2}) - F; \quad (1)$$

или

$$y + \frac{k_{s1} + k_{s2}}{m}\beta + \frac{k_{s1}l_1 - k_{s2}l_2}{mv}\psi + \frac{c_k}{m}y = 0,$$

где m – масса прицепа;

$C_k m$ – квадрат собственной частоты поперечных колебаний системы.

$$\Sigma M_c = 0; -S_{k1}l_1 + S_{k2}l_2 + Fl_0 - M_c = J_c\psi$$

или

$$\psi + \left(k_{s1}\beta - \frac{k_{s1}l_1}{v}\psi\right)\frac{l_1}{J_c} - \left(k_{s2}\beta + \frac{k_{s2}l_2}{v}\psi\right)\frac{l_2}{J_c} + c_0(\psi - \beta) + \beta_0(\psi - \beta) = 0 \quad (2)$$

где J_c – момент инерции системы относительно вертикальной оси проходящей через центр масс прицепа.

Для оценки устойчивости или неустойчивости рассматриваемой системы нужно построить характеристическое уравнение системы, составленной из дифференциальных уравнений движения (1) и (2). Характеристическое уравнение этой системы в общем виде запишется так.

$$a_4\lambda^4 + a_3\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_1\lambda + a_0 = 0.$$

Два условия, обеспечивающие устойчивость движения системы, состоят в том, чтобы все коэффициенты этого уравнения были положительны и чтобы при $a_4 = l$ выполнялось неравенство

$$a_1 a_2 a_3 > a_1^2 + a_3^2 a_0.$$

Проблема устойчивости движения лесовозных автопоездов – тягачей и прицепов – связана с упругими свойствами шин, обладающих способностью не только радиальной, но и боковой деформации под действием дорожных возмущений.

Исследование и оценка устойчивости или неустойчивости движения базируется на исследовании решений линейных дифференциальных уравнений или качественном анализе нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих движение системы, и критериях, принимаемых в качестве оценок устойчивости и неустойчивости движения.

Библиографический список

1. Камусин, А.А. Лесовозные автопоезда: учеб. пособие / А.А. Камусин, А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашева. – М.: МГУЛ, 2012. – 268 с.
2. Курьянов, В.К. Лесотранспорт как система водитель – автомобиль – дорога – среда: учеб. пособие / В.К. Курьянов, А.В. Скрыпников, В.А. Борисов. – М.: МГУЛ, 2010. – 370 с.
3. Васильев, А.В. Строительство и реконструкция автомобильных дорог: справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т.1 / А.В. Васильев, Б.С. Марышев, В.В. Силкин и др.; под ред. А.П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2005. – 646 с.: ил.
4. Камусин, А.А. Определение парка лесовозных машин с гидроманипуляторным оборудованием и выбор наиболее эффективного парка машин / А.А. Камусин, В.А. Борисов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1999. – № 4(9). – С. 90–92.
5. Борисов, В.А. Исследование движения лесовозных автопоездов на горизонтальных кривых / В.А. Бо-

- рисов. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 73–80.
6. Борисов, В.А. Учет параметров движения и анализ устойчивости лесовозных автопоездов при торможении / В.А. Борисов. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 2(65). – С. 80–86.
 7. Резникова, Н.Е. Анализ методов расчета уширения проезжей части / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-информационный издательский центр, 2009., ISSN 2072-0831. – № 1. – С. 45–57.
 8. Резникова, Н.Е. Изменения величины зазора безопасности при движении автопоездов на кривых и прямых горизонтальных участках / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-информационный издательский центр, 2009. – ISSN 2072-0831. – № 2. – С. 5–12.
 9. Резникова, Н.Е. Особенности расчета скорости с применением ЭВМ при проектировании трассы дороги / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-информационный издательский центр, 2009. – ISSN 2072-0831. – № 2. – С. 13–19.
 10. Резникова, Н.Е. Применение ЭВМ для анализа основных режимов движения лесовозных автопоездов / Н.Е. Резникова, В.А. Борисов // В мире научных открытий. – Красноярск: Научно-информационный издательский центр. – 2009. – ISSN 2072-0831. – № 2. – С. 20–26.

STABILITY OF MOTION TRAILERS HAULING TRUCKS

Kamusin A.A. (MSFU), Kaznacheeva N.I. (MSFU), Borisov V.A. (MSFU), Akinin D.V. (MSFU)

kamusin@mgul.ac.ru, vborisov@mgul.ac.ru

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

At high speeds, typical for road trains, even very minor disturbance from surface roughness rolling or from the gusts of wind can cause fluctuations («wobbling») of trailers in the plane of rolling. Studies show that the critical speed of movement of road train, after which there is instability of the motion, can be increased, mainly due to increase rigidity of the system and to a lesser extent, increased damping resistors.

Keywords: theory car, stability and instability of movement of the trains up to critical velocity of the vehicle.

References

1. Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Kondrasheva Ye.V. *Lesovoznyye avtopoyezda: ucheb. posobiye* [Timber-carrying trains : Proc . allowance]. Moscow. MSFU, 2012. 268 p.
2. Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel – avtomobil – doroga – sreda* [Lesotransport as a system driver – vehicle – road – Wednesday : Textbook. allowance]: ucheb. posobiye. Moscow. MGUL, 2010. 370 p.
3. Vasilyev A.V., Maryshev B.S., Silkin V.V. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya avtomobilnykh dorog: spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED)* [Construction and reconstruction of roads : reference encyclopedia Roadman (EDS)]. T.1. Moscow. Informavtodor, 2005. 646 p.: il.
4. Kamusin A.A., Borisov V.A. *Opredeleyeniye parka lesovoznykh mashin s gidromanipulyatornym oborudovaniyem i vybor naiboleye effektivnogo parka mashin* [Definition of forest park machines gidromanipulyatornym equipment and selection of the most efficient fleet]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 1999. № 4(9). pp. 90-92.
5. Borisov V.A. *Issledovaniye dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov na gorizontalnykh krivykh* [Motion Study of logging trucks on horizontal curves]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2009. № 2(65). pp. 73-80.
6. Borisov V.A. *Uchet parametrov dvizheniya i analiz ustoychivosti lesovoznykh avtopoyezdov pri tormozhenii* [Accounting motion parameters and stability analysis of logging trucks during braking]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2009. № 2(65). pp. 80-86.
7. Reznikova N.E., Borisov V.A. *Analiz metodov rascheta ushireniya proyezhey chasti* [Analysis of calculation methods of broadening the roadway]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk. Nauchno-informatsionnyy izdatelskiy tsentr, 2009. ISSN 2072-0831. № 1. pp. 45-57.
8. Reznikova N.E., Borisov V.A. *Izmeneniya velichiny zazora bezopasnosti pri dvizhenii avtopoyezdov na krivykh i pryamykh gorizontalnykh uchastkakh* [Changes in the gap safety when driving trucks on curves and straight horizontal sections]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk. Nauchno-informatsionnyy izdatelskiy tsentr, 2009. ISSN 2072-0831. № 2.–pp. 5-12.
9. Reznikova N.E., Borisov V.A. *Osobennosti rascheta skorosti s primeneniye EVM pri proyektirovani trassy dorogi* [Features velocity calculation using computers when designing road route]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk. Nauchno-informatsionnyy izdatelskiy tsentr, 2009. ISSN 2072-0831. № 2. pp. 13-19.
10. Reznikova N.E., Borisov V.A. *Primeneniye EVM dlya analiza osnovnykh rezhimov dvizheniya lesovoznykh avtopoyezdov* [The use of computers for the analysis of the main modes of motion of logging trucks]. V mire nauchnykh otkrytiy. Krasnoyarsk. Nauchno-informatsionnyy izdatelskiy tsentr, 2009. ISSN 2072-0831. № 2. pp. 20-26.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО СНАБЖЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ ДРЕВЕСНЫМ ТОПЛИВОМ С СОЗДАНИЕМ МИНИМАЛЬНО НЕОБХОДИМЫХ ЗАПАСОВ

А.С. ФЕДОРЕНЧИК, проф. каф. лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского ГТУ, канд. техн. наук,

Е.А. ЛЕОНОВ, ст. преподаватель каф. лесных машин и технологии лесозаготовок учреждения образования Белорусского ГТУ, канд. техн. наук

fedor@bstu.unibel.by, debager13@rambler.ru

УО «Белорусский государственный технологический университет»
220006, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а

Для устойчивого обеспечения энергообъектов древесным топливом предложены концепция гибких лесоэнергетических терминалов и математическая модель их функционирования. Установлены оптимальные величины запасов топлива на терминалах для условий Беларуси.

Ключевые слова: лесоэнергетический терминал, модель функционирования, параметры, запас древесного топлива, потери биомассы.

Исторически сложилось так, что Беларусь зависит от импорта энергоресурсов. Устойчивое ее жизнеобеспечение может быть достигнуто, прежде всего, путем диверсификации производства энергии, источников носителей с максимальным привлечением местных возможностей, а также снижением удельного энергопотребления за счет берегающих мероприятий [1]. В настоящее время реализуется ряд программ по удовлетворению потребностей в тепловой и электрической энергии за счет потребления местных топливных ресурсов. Это является основным движущим фактором развития сектора производства энергии из древесного топлива в нашей стране, так как предусматривается, что использование древесной биомассы будет играть важную роль в выполнении национальных плановых заданий и позволит довести долю собственных энергоресурсов в балансе котельно-печного топлива до 32 % в 2020 г. [2].

В 2011 г. в Беларуси в различных министерствах и ведомствах, а также на частных предприятиях на древесном топливе работало более 3000 котлов мощностью от 0,012 до 20 МВт, а также 11 мини-ТЭЦ с установленной электрической мощностью от 1,2 до 4,23 МВт и тепловой мощностью от 6,5 до 16,4 МВт. Ввод в действие Вилейской мини-ТЭЦ (16,0 тыс. т у. т. или 60 тыс. плотных м³), котельной «Осиповичи» (10,2 тыс. т у. т. или 38,7 тыс. пл. м³), Белорусской ГРЭС (8,25 тыс. т у. т. или 22,2

тыс. пл. м³), мини-ТЭЦ ОАО «Мостовдрев» (10 тыс. т у. т. или 38 тыс. пл. м³), Пинской ТЭЦ (23,1 тыс. т у. т. или 88 тыс. пл. м³), Пружанской мини-ТЭЦ (22,0 тыс. т у. т. или 83,4 тыс. пл. м³), Петриковской мини-ТЭЦ (7,0 тыс. т у. т. или 26,3 тыс. пл. м³), котельной «Россоны» (8,0 тыс. т у. т. или 30,3 тыс. пл. м³) и других объектов, работающих на биотопливе, требует решения задачи гарантированного обеспечения их сырьем. Учитывая, что примерно с 2005 г. начала реализовываться новая стратегия, предусматривающая установку энергоагрегатов с автоматизированной загрузкой древесной щепы, на нее появился спрос. С этой целью в системе предприятий Минлесхоза созданы мощности по производству топливной щепы в 47 лесхозах с объемом производства около 800 тыс. пл. м³ в год. В 2015 г. производственные мощности будут увеличены до 500 тыс. т условного топлива или около 2 млн плотных м³.

В качестве сырья для производства топливной щепы к 2020 г. планируется использовать до 7 млн м³ дров, 0,5 млн м³ отходов лесозаготовок, около 1,5 млн м³ отходов деревообработки. К 2015 г. в республике должны быть построены и введены в эксплуатацию 161 энергоисточник на местных видах топлива с установленной электрической мощностью 39,5–47,5 МВт и тепловой мощностью 1025,7 МВт [2].

Для обеспечения выполнения показателей, заложенных в целевых программах, у

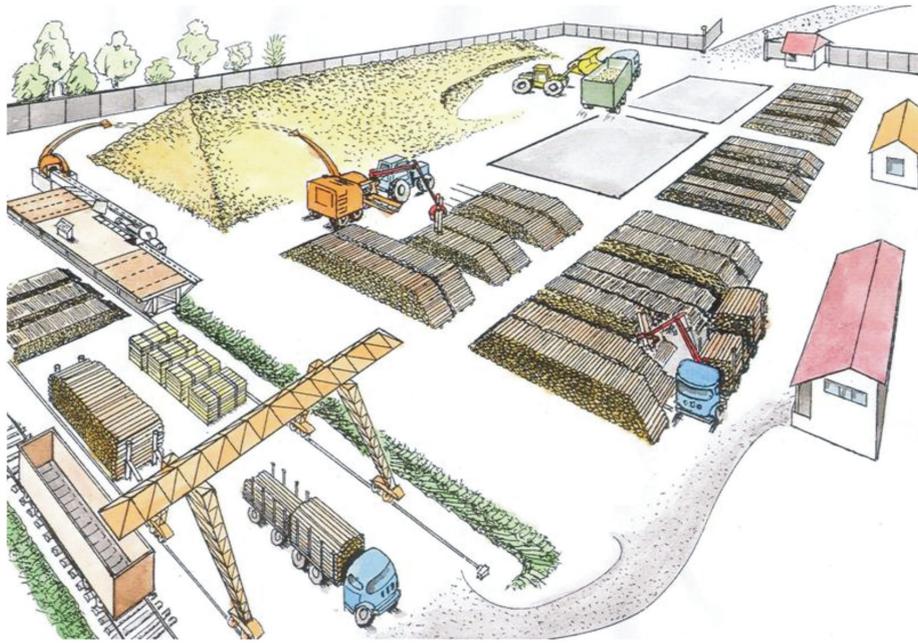


Рис. 1. Технологическая схема функционирования ЛЭТ: 1 – автодорога; 2 – штабели дровяного долготья, предназначенные для переработки; 3 – штабель деловых круглых лесоматериалов; 4 – подштабельные места для привозного сырья на переработку в топливную щепу; 5 – бурт топливной щепы; 6 – консольно-козловой кран; 7 – приемная площадка для дровяного толстомера; 8 – разделочный станок; 9 – древокольный станок; 10 – транспортер для подачи дров; 11 – железнодорожный вагон для отгрузки лесоматериалов; 12 – автосортиментовоз; 13 – транспортер для подачи дров и дровяного долготья в стационарную рубильную машину; 14 – приемная площадка для измельчаемого дровяного долготья; 15 – стационарная рубильная машина; 16 – мобильная рубильная машина; 17 – автощеповоз; 18 – колесный ковшовый погрузчик; 19 – лесоперерабатывающий цех

потребителей должны аккумулироваться потоки древесного сырья из различных источников: лесосечные отходы, образующиеся при заготовке деловой древесины; тонкомерная древесина и порубочные остатки от рубок ухода за лесом; древесная биомасса, получаемая в результате сведения древесно-кустарниковой растительности при проведении мелиоративных, строительно-дорожных и других видов работ. Принципиальное отличие работы мини-ТЭЦ как потребителей древесного энергетического сырья, заключается в сезонной аритмии. Помимо этого, поступающее из различных источников сырье имеет широкий диапазон размерно-качественных характеристик [3].

Обеспечение устойчивого снабжения мини-ТЭЦ энергосырьем путем разрешения технологических и организационных противоречий требует инновационного подхода к решению задачи создания его запасов. Поэтому в работе предлагается инновационная концепция технологически гибкого лесоэнергетического терминала (ЛЭТ). Именно ЛЭТ

по организационной структуре и технологии наилучшим образом отвечает требованию переработки древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик, возможности его хранения и подготовки к использованию в соответствии с запросами мини-ТЭЦ.

Под ЛЭТ будем понимать временное или постоянное техническое сооружение, предназначенное для складирования, измельчения древесной биомассы и бесперебойного снабжения энергообъектов древесным топливом. Отличительными особенностями ЛЭТ от складов являются:

- применение мобильной системы специализированных машин;
- гибкий технологический процесс измельчения сырья, допускающий изменение мест и зон работы машин, хранения сырья и древесного топлива;
- переработка древесного сырья в широком диапазоне размерно-качественных характеристик;

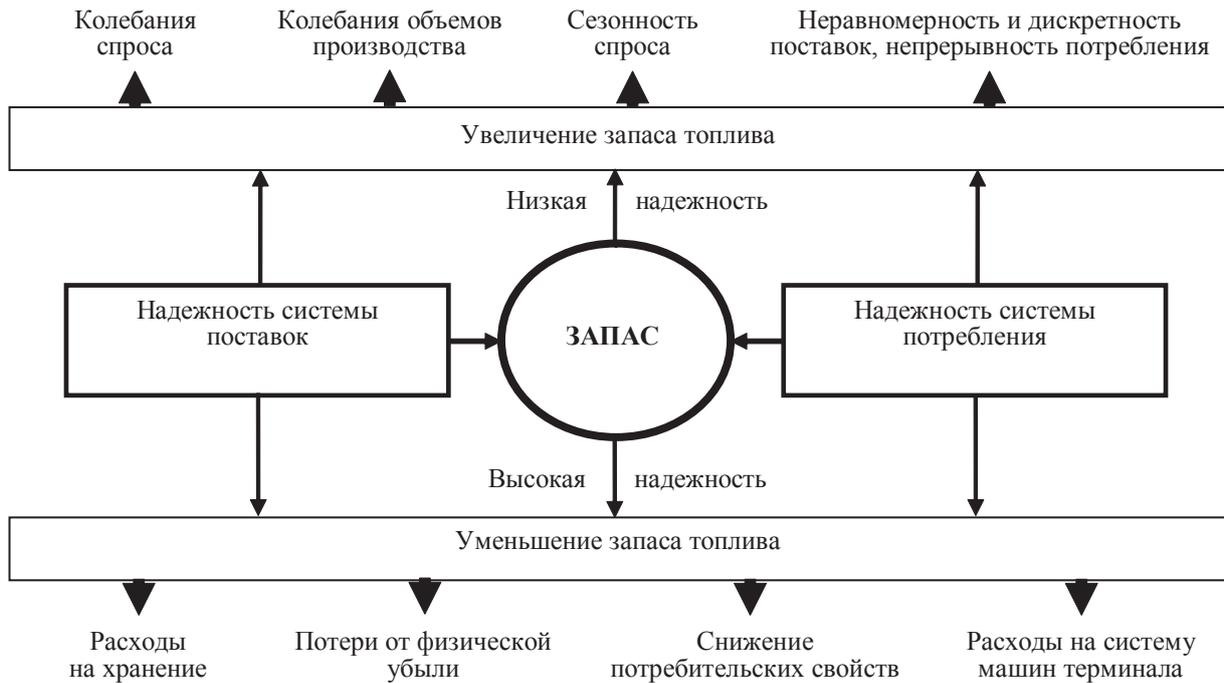


Рис. 2. Схема взаимосвязи функционирования систем поставок, потребления и запасов древесного топлива на ЛЭТ

– возможность выбора и изменения места расположения ЛЭТ в транспортно-технологической схеме освоения ресурсов сырья в зависимости от конкретных производственных условий;

– возможность разделения ЛЭТ на несколько составных частей;

– возможность функциональной и территориальной интеграции с другими структурными образованиями (лесными складами, биржами сырья, деревообрабатывающими производствами, энергообъектами и др.).

Пример ЛЭТ, интегрированного с лесным складом ГОЛХУ «Вилейский опытный лесхоз», представлен на рис. 1. Необходимость строительства ЛЭТ возникла тогда, когда на лесхоз была возложена задача обеспечения топливной щепой Вилейскую мини-ТЭЦ. Техническая реализуемость концепции ЛЭТ обеспечена применением мобильной системы машин [3]: сортиментовозов производства РУП МАЗ; рубильных машин выпускаемых РУП МТЗ, ОАО «Амкодор»; фронтальных погрузчиков ОАО «Амкрдор»; автощеповозов РУП МАЗ.

В целях минимизации запасов древесного топлива и снижения затрат на функционирование ЛЭТ важно исследовать проблему использования внутренних зако-

номерностей между взаимосвязанными частями системы (питающей и потребляющей), рис. 2. Необходимость надежного обеспечения спроса потребителей в комплексе с экономическими последствиями вытекает также из физических соображений, так как увеличенные запасы приводят к огромным потерям и временному исключению из оборота материальных ценностей, с одной стороны, а недопоставка по вине заготовителя – к перебоям в выработке энергии со всеми вытекающими (особенно в зимний период) последствиями.

С целью оптимизации параметров ЛЭТ была разработана универсальная математическая модель его функционирования с учетом вероятностно-статистических характеристик поставки и потребления древесного топлива в течение года [4]. Критерием эффективности являлась целевая функция, заключающаяся в минимизации удельных эксплуатационных затрат по содержанию ЛЭТ, учитывающая затраты на строительство площадки терминала, потери (снижения качества) древесного сырья при открытом кучевом хранении и дополнительные затраты, вызванные ограниченностью емкости ЛЭТ

$$\text{ЭЗ}_{об}^{уд} = \left[\begin{array}{l} (\text{ЭЗ}_{пл}^{\text{мес}} + 0,01 \cdot X_{\text{пот}} \cdot Ц_T^{уд} \times \\ \times k_{\text{обн}}) \cdot W_{\text{отн}} + \left(\frac{\text{ЭЗ}_{\text{тр}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{тр}}^{\text{см}}} + \text{ЭЗ}_{\text{пр.тр}}^{\text{мес}} \right) \times \\ \times P_{\text{пер}} + \left(\frac{\text{ЭЗ}_{\text{рм}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{рм}}^{\text{см}}} + \frac{\text{ЭЗ}_{\text{пм}}^{\text{см}}}{\Pi_{\text{пм}}^{\text{см}}} + \text{ЭЗ}_{\text{пр.рм}}^{\text{мес}} + \right. \\ \left. + \text{ЭЗ}_{\text{пр.пм}}^{\text{мес}} \right) \cdot (P_{\text{пер}} + P_{\text{отс}}) \end{array} \right] \rightarrow \min,$$

где $\text{ЭЗ}_{пл}^{\text{мес}}$ – среднемесячные удельные эксплуатационные затраты (в денежных условиях единицах) по содержанию доли площади ЛЭТ, необходимой для размещения на ней 1 плотного кубического метра топливной древесины (с учетом типа покрытия площадки и применяемого оборудования), у.е./пл. м³;

$X_{\text{пот}}$ – величина среднемесячных потерь древесного вещества при открытом хранении, %; $Ц_T^{уд}$ – цена 1 пл. м³ древесного топлива с учетом влажности и зольности, у. е./пл. м³;

$k_{\text{обн}}$ – коэффициент обновления запаса древесного топлива на терминале ($k_{\text{обн}} = 0,25-0,5$);

$W_{\text{отн}}$ – относительная вместимость ЛЭТ (является безразмерной величиной и выражает возможность размещения топлива в количестве среднемесячных объемов производства), мес.;

$\text{ЭЗ}_{\text{тр}}^{\text{см}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{рм}}^{\text{см}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{пм}}^{\text{см}}$ – соответственно эксплуатационные затраты содержания 1 маш.-смены автотранспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков, обслуживающих ЛЭТ, в том числе с зарплатой обслуживающих их рабочих, у.е.;

$\Pi_{\text{тр}}^{\text{см}}$, $\Pi_{\text{рм}}^{\text{см}}$, $\Pi_{\text{пм}}^{\text{см}}$ – соответственно сменные производительности автотранспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков, м³;

$\text{ЭЗ}_{\text{пр.тр}}^{\text{мес}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{пр.рм}}^{\text{мес}}$, $\text{ЭЗ}_{\text{пр.пм}}^{\text{мес}}$ – соответственно среднемесячные эксплуатационные затраты от простоя транспортных средств, рубильных машин и ковшовых погрузчиков за год из-за ограниченности вместимости ЛЭТ или отсутствия сырья на нем, у.е.;

$P_{\text{отс}}$ и $P_{\text{пер}}$ – соответственно вероятности отсутствия сырья на ЛЭТ и его пополнения.

Статистический анализ эмпирических данных, полученных в условиях производственной деятельности лесхозов Витебского, Минского и Брестского ГПЛХО, показал, что динамика месячных объемов поставки древесного топлива в течение года подчиняется закону нормального распределения, а аналогичная величина объемов сжигания древесного топлива по месяцам в течение года описывается синусоидальной зависимостью. Потери древесного вещества различных видов древесной биомассы (топливная щепка, опилки, кора, неизмельченные отходы лесозаготовок и пр.) при длительном хранении на открытом воздухе описывались логистической функцией [5]. Установлено, что процессы, приводящие к потерям биомассы при хранении, проходят в 3 стадии. На первой стадии, продолжительностью 5–6 месяцев, топливо хранится стабильно, потеря массы не превышает 1 %. На второй стадии происходит рост потерь с различной степенью интенсивности. На третьей стадии нарастание потерь, как правило, существенно замедляется.

Из рассмотренных видов древесного топлива кора наиболее подвержена процессам деструкции. Динамика потерь древесного вещества в наружных и внутренних слоях различных видов щепы и опилок совпадают. Потери древесного вещества биомассы в среднем составляют 0,8–1,5 % в месяц.

На основании установленных законов динамики поставки и потребления древесного топлива в течение года по месяцам на ЛЭТ, экспериментально определенных величин потерь древесного вещества различных видов топлива, с учетом целевой функции и многообразия природно-производственных условий было выполнено имитационное моделирование функционирования ЛЭТ на ЭВМ.

Результаты проведенных исследований позволили установить:

– вероятности перепополнения ЛЭТ древесным топливом и отсутствия его на складе резко снижаются с ростом относительной вместимости ЛЭТ до 3,5–4,5 среднемесячных объемов поступления на него сырья, при которой практически обеспечивается устойчивая и эффективная работа энергообъекта;

– минимальное значение целевой функции удельных эксплуатационных затрат также достигается при наличии межсезонного запаса не менее 3,5 среднемесячных объемов производства независимо от типа покрытия ЛЭТ (асфальтобетонное, цементобетонное, гравийное);

– для мини-ТЭЦ, расположенных на юге Беларуси, оптимальная относительная вместимость ЛЭТ меньше на 15–20 %, чем для котельных отраслевых или региональных предприятий севера республики;

– применение отечественной системы машин, обслуживающей ЛЭТ при его оптимальной вместимости, по сравнению с зарубежной позволяет в среднем снизить удельные эксплуатационные затраты по всему комплексу работ на 10 %.

Для повышения эффективности выработки единицы энергии котельными или мини-ТЭЦ необходимо в целях уменьшения потерь древесного вещества и лучшего подсушивания межсезонный запас топлива формировать преимущественно из неизмельченной древесины; топливную щепу на складе хранить только в качестве страховых или не-

снижаемых запасов, которые периодически необходимо обновлять; минимизировать сроки хранения и обеспечивать первоочередное сжигание древесной коры.

Библиографический список

1. Ледницкий, А.В. Прогноз ресурсов древесного топлива в Республике Беларусь / А. В. Ледницкий, А. С. Федоренчик // Труды БГТУ. Сер. VII. Экономика и управление. – 2004. – Вып. XII. – С. 194–197.
2. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 гг.: утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.05.2011, № 586. – Минск, 2011. – 36 с.
3. Федоренчик, А.С. Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А.С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск : БГТУ, 2010. – 446 с.
4. Федоренчик, А.С. Лесоэнергетические терминалы: оптимизация параметров / А.С. Федоренчик, Е.А. Леонов // Лесное и охотничье хозяйство. – 2012. – № 9. – С. 10–15.
5. Кулак, М.И. Прогнозирование хранения запасов топлива в условиях лесоэнергетических терминалов / М.И. Кулак, А.С. Федоренчик, Е.А. Леонов // Наука и инновации. – 2012. – № 7(113). – С. 69–72.

ENSURING A SUSTAINABLE SUPPLY OF POWER FACILITIES WITH THE CREATION FUELWOOD MINIMUM REQUIRED RESERVES

Fedoronchik A.S. (BGTU), Liavonau Y.A. (BGTU)

fedor@bstu.unibel.by, debager13@rambler.ru

Belarusian State Technological University, 13a, Sverdlova str.
220006, Minsk, Belarus

To ensure sustainable wood fuel supply of the energy facilities the concept of flexible woodfuel terminals and a mathematical model of their operation are proposed. The optimal value of fuel stocks on terminals for the conditions of Belarus are defined.

Keywords: woodfuel terminal, operating model, parameters, stock of woodfuel, biomass loss.

References

1. Lednitskiy A.V., Fedorenchik A.S. *Prognoz resursov drevesnogo topliva v Respublike Belarus* [Forecast woodfuel resources in the Republic of Belarus]. Trudy BGTU. Ser. VII. Ekonomika i upravleniye. 2004. Issue. XII. pp. 194–197.
2. *Natsionalnaya programma razvitiya mestnykh i vozobnovlyayemykh energoistochnikov na 2011-2015 gody: utv. postanovleniyem Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 10.05.2011* [National program of local and renewable energy in 2011-2015: approved. Resolution of the Council of Ministers of 10.05.2011, № 586], № 586. Minsk, 2011. 36 p.
3. Fedorenchik A.S., Lednitskiy A.V. *Energeticheskoye ispolzovaniye nizkokachestvennoy drevesiny i drevesnykh otkhodov* [Energy use of low-quality wood and wood waste]. Minsk. BGTU, 2010. 446 p.
4. Fedorenchik A.S., Leonov Ye.A. *Lesoenergeticheskiye terminaly: optimizatsiya parametrov* [Lesoenergeticheskie terminals: parameter optimization]. Lesnoye i okhotnichye khozyaystvo. 2012. № 9. pp. 10–15.
5. Kulak M.I., Fedorenchik A.S., Leonov Ye.A. *Prognozirovaniye khraneniya zapasov topliva v usloviyakh lesoenergeticheskikh terminalov* [Forecasting fuel stockpiles under lesenergeticheskikh terminals]. Nauka i innovatsii. 2012. № 7(113). pp. 69–72.

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОДОЛЬНОГО РАСКРОЯ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

К.П. РУКОМОЙНИКОВ, доц. каф. ТОЛП Поволжского ГТУ, канд. техн. наук,
В.С. СТРЕЛЬЧУК, магистрант каф. ТОЛП Поволжского ГТУ,
П.Н. ВИНОГРАДОВ, соискатель каф. ТОЛП Поволжского ГТУ

rukomojnikovkp@volgatech.net

ФГБОУ ВПО Поволжский государственный технологический университет, кафедра ТОЛП
424000, Респ. Марий Эл, г. Йошкар-ола, пл. Ленина, д. 3.

Предложен способ осуществления продольной распиловки лесоматериалов с полным учетом объема лесоматериала, позволяющий повысить выход готовой продукции. Математическая модель предусматривает деление сортимента на три сегмента. Первый выпиливается с максимальным учетом сбега лесоматериала. А два других делением основной части сортимента вдоль его продольной оси. Полученные результаты могут быть использованы лесопромышленными предприятиями.

Ключевые слова: продольная распиловка, сортименты, пиломатериалы, математическая модель, информационно-логическая модель

Статистические показатели переработки древесины свидетельствуют, что она сопровождается огромными потерями. До 50 % всей перерабатываемой древесины составляют отходы. Важную роль в повышении выхода высококачественных пиломатериалов играет оптимизация процесса раскроя пиловочных бревен.

Исследованиями способа продольной распиловки занимались многие исследователи [1–5]. В научных исследованиях Уласовца В.Г. проведен анализ раскроя боковой зоны пиловочника на пиломатериалы [6], проанализирован объемный выход необрезных [7] и обрезных [8, 9] пиломатериалов в зависимости от способа распиловки бревен. Рассмотрены варианты распиловки лесоматериалов параллельно их продольной оси и параллельно образующей (по сбегу) с использованием круглопильных и ленточнопильных станков. Сделаны выводы об уменьшении или увеличении объемного выхода обрезных пиломатериалов при продольной распиловке по первому способу раскроя при различных соотношениях длины и сбега лесоматериалов и даны рекомендации предприятиям, вырабатывающим длинномерные обрезные пиломатериалы, вести распиловку лесоматериалов параллельно образующей.

Способ, положенный в основу предлагаемой модели, предусматривает возможность последовательного отделения от сортимента

горбыля и нескольких подгорбыльных досок с последующим разворотом полученного сегмента и его распиловки перпендикулярно полученной пласти. Продольная распиловка основной части сортимента может осуществляться вертикально установленными рамными пилами, либо с учетом способа [10], отличающегося тем, что после распиловки сортимента вдоль оси вертикально установленной пилой полученные сегменты разворачивают вокруг горизонтальной оси, укладывают пластинами на подающий транспортер и подают на дальнейшую распиловку к горизонтально установленным ленточным пилам с возможностью одновременной распиловки сегментов, полученных из одного сортимента, каждой из горизонтально установленных пил.

Таким образом, анализируемый способ сочетает в себе способы продольной распиловки как параллельно продольной оси лесоматериалов, так и параллельно их образующей.

Имитационно-логическая модель раскроя представлена на рис. 1.

При этом на этапе ввода исходных данных в предложенную модель анализируются минимальные размеры пиломатериалов по требованиям заказчика, либо условиям дальнейшего технологического процесса работы предприятия.

Математическая модель работы алгоритма представлена на рис. 2.

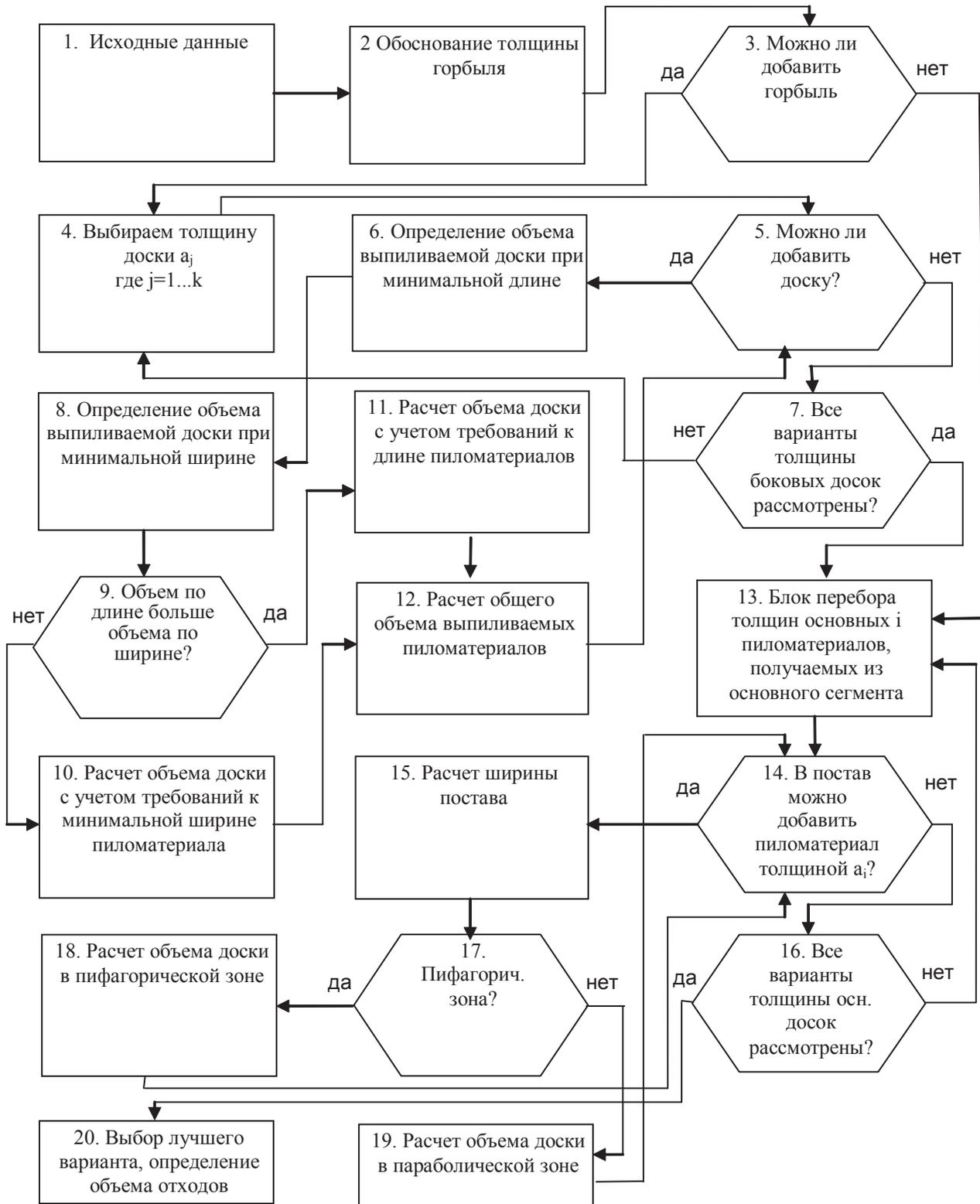


Рис. 1. Информационно-логическая модель

Показатели, приведенные на блок-схеме означают: a_j – толщина j пиломатериала в первом (дополнительном параболическом) сегменте, m ; k – количество типоразмеров пиломатериалов, выпиленных из бокового сег-

мента, с градацией по ширине; n – количество типоразмеров пиломатериалов, выпиленных из основного сегмента, с градацией по толщине a_i толщина i пиломатериала в основном сегменте, m ; b_i – ширина i пиломатериала в основном

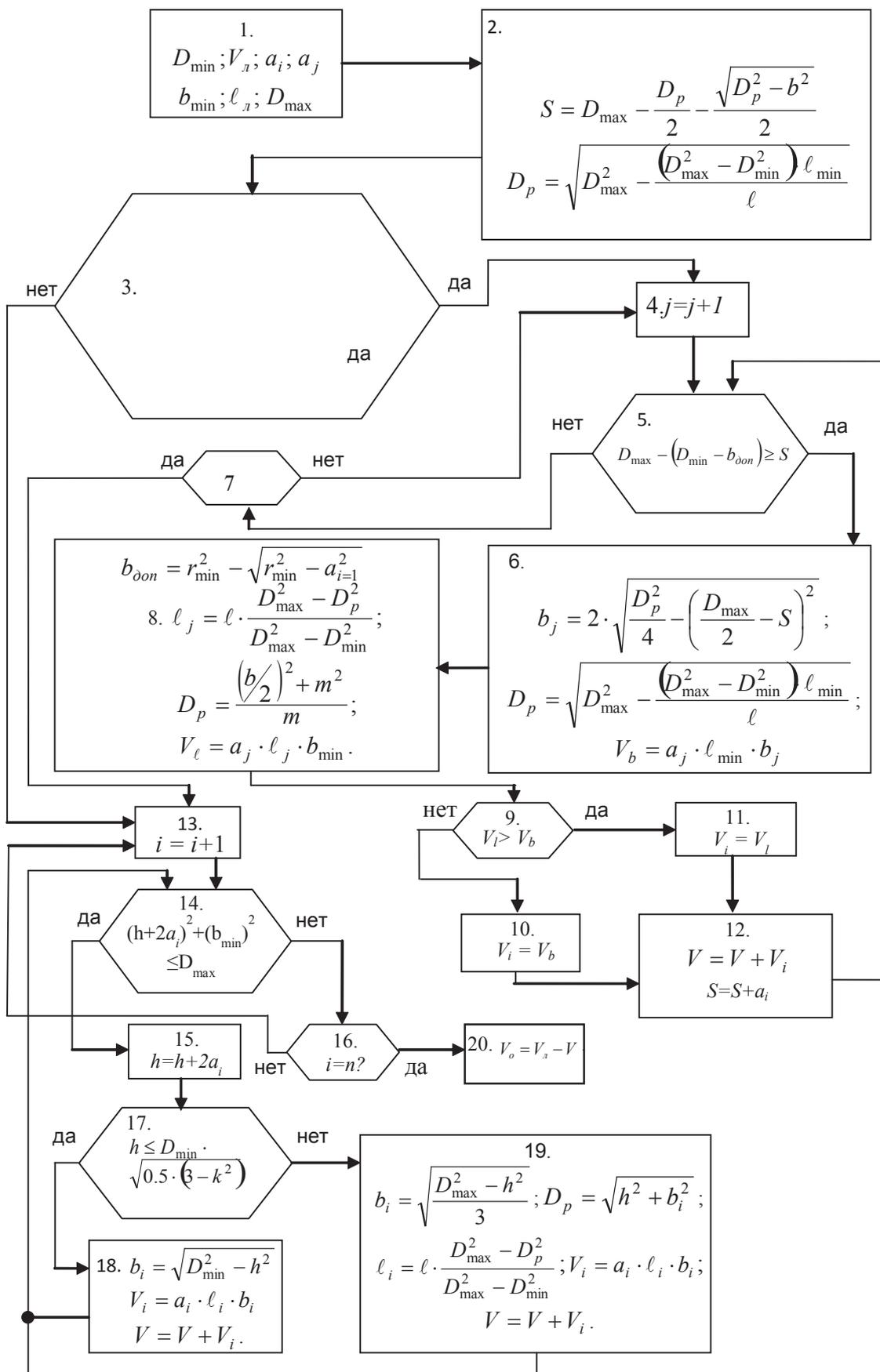


Рис. 2. Математическая модель

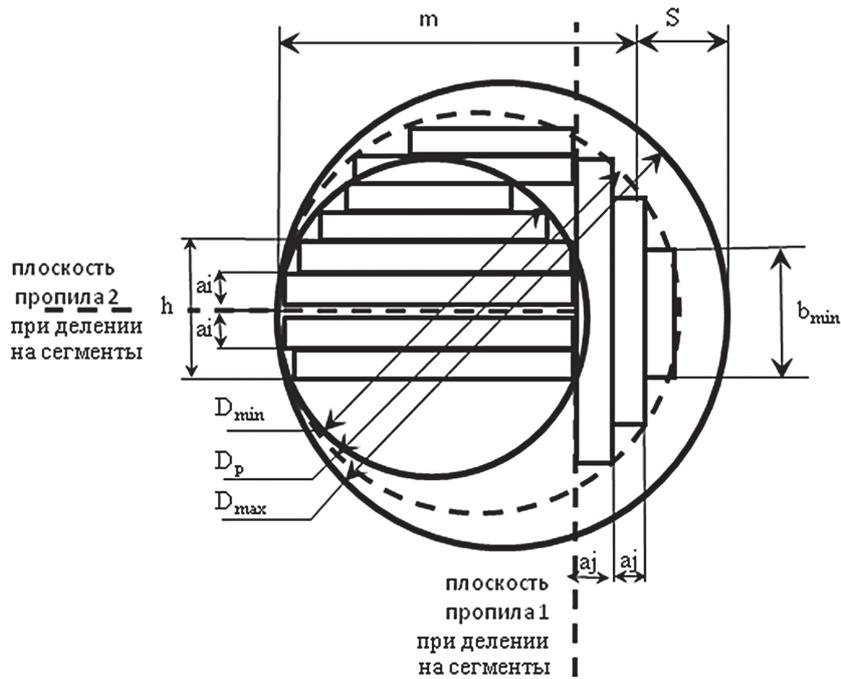


Рис. 3. Расчетная схема раскря сортифта с последующим получением обрзных пиломатериалов

сегменте, m ; l_i – длина i доски в основном сегменте, m ; b_j – ширина j доски в дополнительном сегменте, m ; l_j – длина j доски в дополнительном сегменте, m ; b_{\min} и l_{\min} минимально допустимая ширина и длина пиломатериалов согласно требованиям заказчика или к характеристикам сырья в соответствии с дальнейшим технологическим процессом работы предприятия, m ; h_i – толщина постова в основном сегменте, m ; D_{\min} – диаметр вершинной части, m ; D_{\max} – диаметр комлевой части, m ; D_p – расчетный диаметр, m ; S – общая толщина отпиленных досок в дополнительном сегменте; m ; t – толщина лесоматериала, оставшаяся после последнего пропила, m ; $D_{\text{доп}}$ – ширина последней доски, отпиливаемой из дополнительного сегмента, m ; x – толщина кромки центральных пиломатериалов, получаемых из центральной части сортифта при распиловке основных сегментов, m ; l – длина бревна, m ; V_0 – объем отходов, m^3 ; V_1 – общий объем лесоматериала, m^3 .

Расчетная схема для реализации предложенного алгоритма приведена на рис.3. Указание на схеме плоскостей пропилов относится к возможному использованию алгоритма при работе вышеописанного оборудования. Плоскость 2 может не учитываться в случае использования технологии продольной распиловки основного сегмента с приме-

нением лесопильных рам. Плоскость пропила 1 соответствует плоскости укладки сегмента при его развороте с учетом дальнейшего использования рамных пил, а плоскость пропила 2 символизирует плоскости, на которые укладывают полученные сегменты при их последующей распиловке многопильной ленточнопильной установкой с горизонтальным расположением ленточных пил.

На первом этапе расчета осуществляется обоснование толщины горбыля, а дальнейший анализ направлен на обоснование возможности получения одной или нескольких подгорбыльных досок. При этом путем последовательного перебора различных толщин досок a_j , расположенных в порядке убывания толщины, исследуются возможности получения разных пиломатериалов и повышения выхода готовой продукции.

При возможности эффективной распиловки боковой части лесоматериала, на втором этапе раскря, его разворачивают, укладывая на плсть полученный основной сегмент.

После разворота сегмента первоначальный анализ основан на его распиловке с получением досок толщиной $a_{j=1}$, соответствующей самым толстым доскам согласно требованиям заказчика, а в последующем при постепенном раскря лесоматериала осуществляется пере-

ход к анализу досок с меньшими размерными характеристиками по толщине.

Результатом работы алгоритма является выбор варианта раскроя лесоматериала с обоснованием объемов полученной готовой продукции и отходов производства.

Таким образом, полученная математическая модель позволяет выполнить расчеты с использованием новой схемы раскроя лесоматериала. Результаты данного анализа могут быть использованы на лесопромышленных предприятиях, заинтересованных в увеличении объема и улучшении качества продукции.

Библиографический список

1. Пат. 2413608 Российская Федерация, МПК В 27 В 1 00. Способ раскроя круглых лесоматериалов / Е.С. Шарпов, Т.В. Бычкова, Е.В. Микрюкова, А.Р. Хисамеева – 2009142394/21; заявл. 17.11.2009; опубл. 10.03. 2011.
2. Рукомойников, К.П. Способ продольной распиловки сортиментов и станок для его осуществления / К.П. Рукомойников, П.Н. Виноградов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 6. – С. 55–58.
3. Иванкин, И.И. Программа для расчета поставок и выходов пилопродукции / И.И. Иванкин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2004. – № 3. – С. 72–76.
4. Старкова, А.В. Раскрой параболической зоны бревна на заготовки / А.В. Старкова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2004. – № 5. – С. 83–89.
5. Титков, Г.Г. Краткое руководство по составлению и расчету поставок / Г.Г. Титков – М.; Л., 1955. – 50 с.
6. Уласовец, В.Г. Теоретическое обоснование раскроя боковой зоны пиловочника на пиломатериалы: дисс. ... д-ра техн. наук / В.Г. Уласовец – Екатеринбург, 2005. – 325 с.
7. Уласовец, В.Г. Сравнение объемов необрезных досок при различных способах распиловки бревен / В.Г. Уласовец // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2005. – № 5. – С. 69–73.
8. Уласовец, В.Г. Раскрой боковых брусьев на обрезные пиломатериалы / В.Г. Уласовец // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2006. – № 1. – С. 66–69.
9. Уласовец, В.Г. Расчет оптимальных размеров пиломатериалов, получаемых при раскрое бревен параллельно образующей / В.Г. Уласовец // Деревообработка. пром-сть. – 2005. – № 3. – С. 7–10.
10. Пат. 2270089 Российская Федерация, МПК В 27 В 5/00, В 27 В 7/02. Способ продольной распиловки сортиментов и станок для его осуществления / Рукомойников К.П., Иванов Г.Н., Сушенцов К.П.; заявитель и патентообладатель МарГТУ 2004116602/03; заявл. 31.05.2004; опубл. 20.02.2006.

SUBSTANTIATION OF MATHEMATICAL MODEL OF LONGITUDINAL TIMBER SAWING

Rukomojnikov K.P. (Volga State University of Technology), Strelchuk V.S. (Volga State University of Technology), Vinogradov P.N. (Volga State University of Technology)

rukomojnikovkp@volgatech.net

Volga State University of Technology, 3 Lenin sq.,
Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, Russian Federation, 424000

There is proposed a way to develop longitudinal sawing with the most complete view of the volume of timber that allows to increase the yield of finished products. Mathematical model provides a division of sorts to three segments. First is sawed with maximum consideration of the stem taper. The two others appear by division of the main part along the longitudinal axis. The obtained results can be used by forestry companies.

Keywords: length cutting, assortments, sawn timber, mathematical model, information-logical model

References

1. Sharapov Ye.S., Bychkova T.V., Mikryukova Ye.V., Khisameyeva A.R. *Pat. 2413608 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B 27 B 1 00. Sposob raskroya kruglykh lesomaterialov* [Pat. 2413608 Russian Federation, IPC B 27 B 1 00. Cutting method roundwood]. 2009142394/21, publ. 10.03. 2011.
2. Rukomojnikov K.P., Vinogradov P.N. *Sposob prodolnoy raspilovki sortimentov i stanok dlya yego osushchestvleniya* [Method ripping assortments and machine for its implementation]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2008. – № 6. – pp. 55-58.
3. *Ivankin I.I. Programma dlya rascheta postavov i vykhodov piloproduksii* [Program for calculating the output of sawn timber and put]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2004. № 3. pp. 72-76.
4. Starkova, A.V. *Raskroy parabolicheskoy zony bревna na zagotovki* [Sawing logs parabolicheskoy zone on the workpiece]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2004. № 5. pp. 83-89.

5. Titkov G.G. *Kratkoye rukovodstvo po sostavleniyu i raschetu postavov* [Quick Guide to the compilation and calculation put]. Moscow, Leningrad. 1955. 50 p.
6. Ulasovets V.G. *Teoreticheskoye obosnovaniye raskroya bokovoy zony pilovochnika na pilomaterialy* [Theoretical substantiation of cutting the side area of sawlogs for lumber : diss . Dr. ... tehn. Sciences]. Diss. ... d-ra tekhn. nauk. Yekaterinburg, 2005. 325 p.
7. Ulasovets, V.G. *Sravneniye obyemov neobreznykh dosok pri razlichnykh sposobakh raspilovki breven* [Comparing the edging boards at various ways of cutting logs]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2005. № 5. pp. 69-73.
8. Ulasovets V.G. *Raskroy bokovykh brusyev na obreznyye pilomaterialy* [Cutting side rails on unsurfaced lumber]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*. 2006. № 1. pp. 766-69.
9. Ulasovets V.G. *Raschet optimalnykh razmerov pilomaterialov, poluchayemykh pri raskroye breven parallelno obrazuyushchey* [Calculation of the optimal size of lumber produced when cutting logs parallel generator]. *Derevoobrab. prom-st*. 2005. № 3. pp. 7-10.
10. Rukomoynikov K.P., Ivanov G.N., Sushentsov K.P. *Pat. 2270089 Rossiyskaya Federatsiya, MPK B27B5/00, B27B7/02. Sposob prodolnoy raspilovki sortimentov i stanok dlya yego osushchestvleniya* [Pat . 2270089 Russian Federation, IPC B27B5/00, B27B7/02. Method ripping assortments and machine for its implementation]. Publ. 20.02.2006.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОРТОВОГО СОСТАВА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ И ВЫХОДА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

В.В. ЧАМЕЕВ, доц. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства УГЛТУ, канд. техн. наук,

Г.Л. ВАСИЛЬЕВ, аспирант УГЛТУ

lesoingener@yandex.ru

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37.

Целью статьи является анализ изучения разработанных компонент-программ «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ» для получения сведений по сортовому составу сырья и выходу готовой продукции из него. На основе исследования была составлена математическая модель. Реализация приведенной математической модели позволила получить сортовой состав круглых лесоматериалов и сортовой состав выхода готовой продукции в процентах. Результаты исследования пригодны для использования технологами на действующих лесопромышленных предприятиях.

Ключевые слова: алгоритм, математическая модель, пилопродукция, сырьё.

При проектировании технологических процессов лесобработывающих цехов лесопромышленных предприятий нужны сведения по сортовому составу сырья и выходу готовой продукции из него. Для определения посортного выхода пиломатериалов в ЦНИИМОД разработаны Руководящие технико-экономические материалы по нормированию расхода сырья и материалов в производстве пиломатериалов (1983 г.), принятые в настоящее время в качестве российских нормативов. Однако нормативы разработаны для пиловочного сырья по ГОСТ 9463-72 и ГОСТ 9462-71. С 1990 г. действуют стандарты на круглые лесоматериалы по ГОСТ 9463-88 и ГОСТ 9462-88. Для разрешения сложивших-

ся противоречий при определении посортного выхода пиломатериалов на кафедре ГОЛП УГЛТУ разработаны компонент программы (кп) «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ», входящие в комплекс-программу (КП) «ЦЕХ» («ZESH»).

Применительно к круглым лесоматериалам из сосны сортность определяется в двух вариантах: а – в кп «СЫРЬЕ» по ГОСТ 9463-88 на основе математических моделей сырья и ограничений на пороки, приведенные в ГОСТ 9463-88; б – в кп «ПРОДУКЦИЯ» по ГОСТ 9463-72 на базе тех же математических моделей сырья, но с учетом ограничений на пороки по ГОСТ 9462-72. Такой подход позволяет применять в расчетах нормативы ЦНИИМОД посортных выходов пиломатериалов.

Содержание сосновых бревен с пороками и их размерная характеристика

Регрессионные уравнения	Коэффициенты уравнений определены при
$P_{\Gamma} = -0,0007d_i^2 - 0,0264 d_i + 0,3452$	$14 \leq d_i \leq 40$ см
$P_{\Gamma C} = -0,00005d_i^2 - 0,0058d_i + 0,0063$	$15 \leq d_i \leq 35$ см
$\bar{d}_{\Gamma/d} = 0,559$	$d_i \leq 25$ см
$\bar{d}_{\Gamma/d} = 0,581$	$d_i \leq 26$ см
$\sigma_{d_{\Gamma/d}} = 0,196$	$d_i \leq 25$ см
$\sigma_{d_{\Gamma/d}} = 0,228$	$d_i \leq 26$ см
$l_{\Gamma H} = 40 d_{\Gamma H}^2 + 10d_{\Gamma H}$	$d_i \leq 18$ см
$l_{\Gamma H} = 500 d_{\Gamma H}^2 + 395d_{\Gamma H} - 49$	$0,18 < d_{\Gamma H} < 0,26$ м
$\sigma_{l_{\Gamma H}} = 0,008953 l_{\Gamma H}^2 + 0,1616l_{\Gamma H} + 0,03786$, м	$0,6 \leq l_{\Gamma H} \leq 6,5$ м
$P_C = 0,0008d_i^2 + 0,0610d_i + 1,2852$	$12 \leq d_i \leq 40$ см
$\bar{n}_{C1} = 4,34$ шт/м; $\sigma_n = 1,87$ шт/м	
$\bar{d}_C = 0,0134d_i^2 + 0,7591d_i + 28,0123$, мм	$12 \leq d_i \leq 31$ см
$\sigma_{d_C} = -0,0116 d_i^2 + 0,9887d_i + 3,2270$, м	
$P_K = -0,0002d_i^2 + 0,0013d_i + 0,0978$	$12 \leq d_i \leq 31$ см
$\bar{K} = 3,500\%$; $\sigma_K = 2,388\%$	$d_i \leq 25$ см
$\bar{K} = 3,545\%$; $\sigma_K = 2,362\%$	$d_i \leq 26$ см

Основными размерными параметрами в математической модели сырья взяты сбеж, толщина и длина круглых лесоматериалов.

Основными сортообразующими пороками в математической модели сырья приняты гниль, сучки и кривизна. I-й сортообразующий порок в математической модели представлен случайной величиной X с типом вероятностного распределения P_x , средним значением \bar{x} , средним квадратическим отклонением СКО σ_x , вероятностью его появления P_{II} с указанием зависимостей P_x , \bar{x} , σ_x и P_{II} от доминирующих факторов.

Ниже представлена математическая модель сортообразующих пороков для сосновых бревен. Параметры модели соответствуют сырью лесопромышленных предприятий Уральского региона. Для составления математической модели были использованы литературные источники и данные кафедры ТОЛП УГЛУТУ. Основные параметры модели сведены в табл. 1.

Наличие гнили в бревнах характеризуется следующими параметрами: встречаемость бревен с гнилью P_{Γ} , в т.ч. со сквозной $P_{\Gamma C}$ (вероятность встречи бревна с гнилью с выходом на один торец $P_{\Gamma O} = P_{\Gamma} - P_{\Gamma C}$), степень поражения гнилью торцов бревен в долях их толщины $d_{\Gamma/d}$

(среднее значение $\bar{d}_{\Gamma/d}$, стандарт $\sigma_{d_{\Gamma/d}}$ закон вероятностного теоретического распределения), протяженностью напенной и стволовой гнили (среднее $\bar{l}_{\Gamma H}$ и $\bar{l}_{\Gamma C}$, СКО $\sigma_{l_{\Gamma H}}^H$ и $\sigma_{l_{\Gamma C}}^C$).

Встречаемость бревен с гнилью P_{Γ} и $P_{\Gamma C}$ возрастает с увеличением d_p , что не противоречит биологическим свойствам древесины к загниванию. Уравнения зависимостей $\bar{d}_{\Gamma/d} = f(d_i)$ и $\sigma_{d_{\Gamma/d}} = f(d_i)$ следует считать приближенным из-за недостаточного объема исходного статистического материала. Для практических целей использованы значения $\bar{d}_{\Gamma/d}$ и $\sigma_{d_{\Gamma/d}}$ для сырья из средней группы по толщине ($d_i \leq 25$ см) и толстомерного сырья ($d_i \geq 26$ см). Случайная величина $d_{\Gamma/d}$ не противоречит нормальному распределению. Некоторые выборки, с худшей сходимостью, одновременно описываются и законом Эрланга.

Протяженность напенной гнили в сосновых бревнах зависит от степени пораженности ею торца. Чем сильнее развита напенная гниль, тем выше она поднимается по стволу. По геометрической форме центральные гнили округлого сечения наиболее близки к параболоиду с образующей в виде параболы. Для бревен комлевой вырезки длина напенной гнили зависит от диаметра гнили на торце бревен d_{Γ} . Для бревен из вершинной

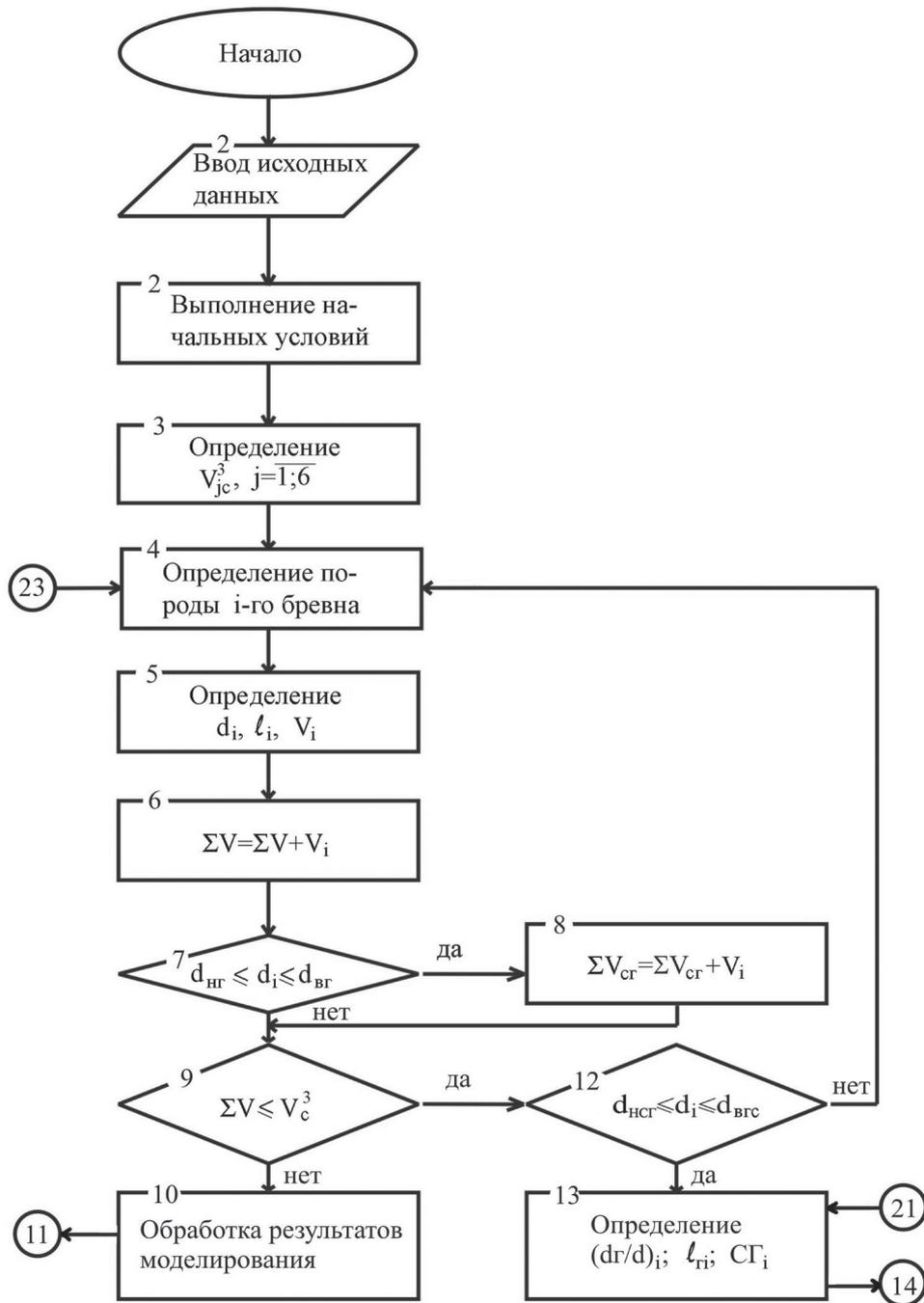


Рис. 1. Принципиальная схема компонент-программ «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ»

и срединной частей хлыстов распределение длины ствольной гнили $l_{ГС}$ установить невозможно. Для дальнейших расчетов принимается по равномерному закону.

Характеристика сучков в круглых лесоматериалах включает статистические описания: встречаемость бревен с сучками P_c , число сучков на единицу длины бревна n_{c1} и толщину сучков d_c . Доля бревен с сучками уменьшается с увеличением d_i и существует

статистическая связь $P_c = f(d_i)$. Число сучков на 1 м длины сосновых бревен описывается нормальным распределением. Анализ значений \bar{n}_{c1} и СКО σ_n , для разных групп сырья по толщине позволяет в модели принять их независимыми от ступеней толщины сырья. Принятые значения \bar{n}_{c1} и СКО σ_n приведены в табл. 1. Средняя толщина сучка \bar{d}_c и стандарт σ_{ac} находятся в статистической зависимости от d_i . Эмпирические распределения сучков по

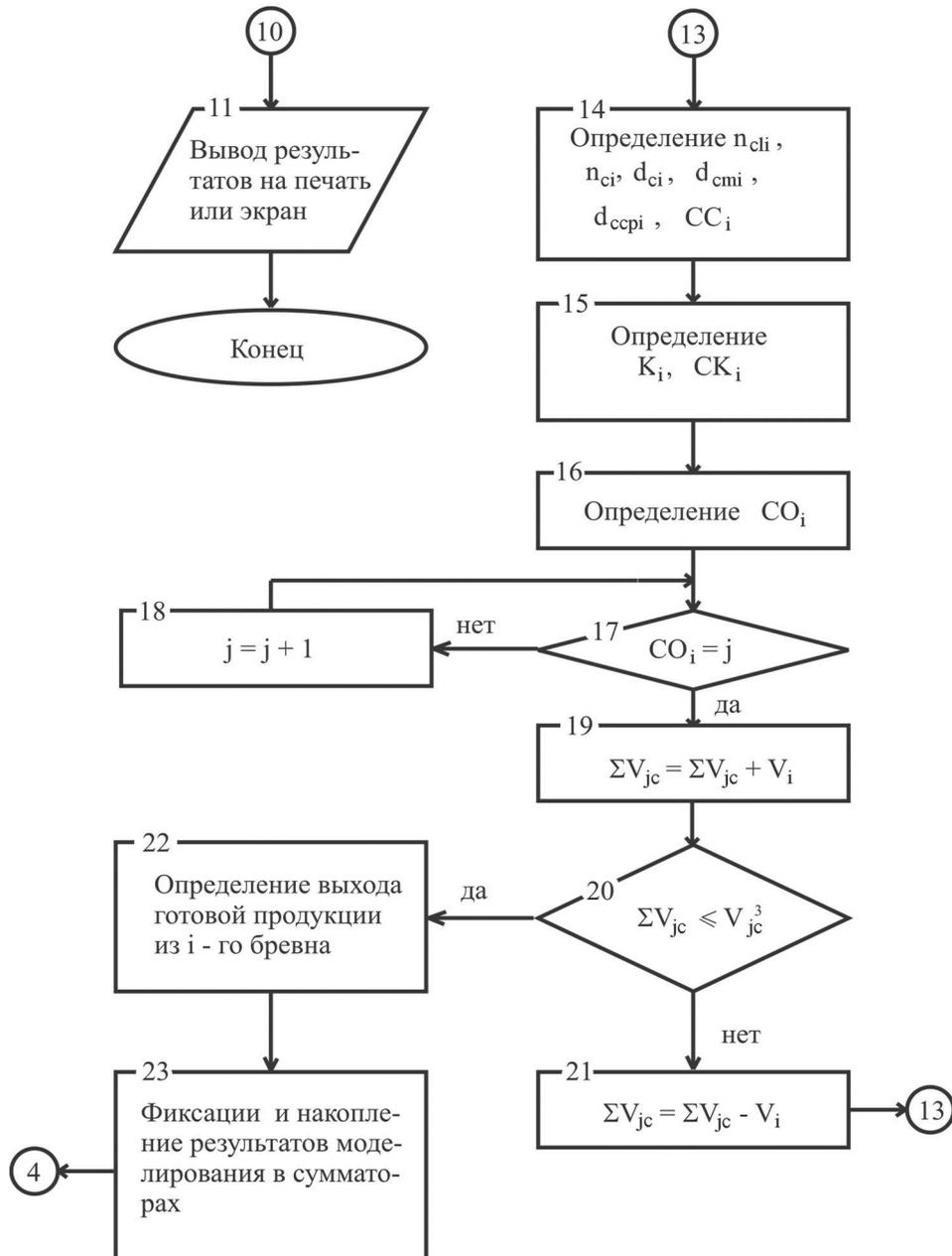


Рис. 2. Принципиальная схема компонент-программ «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ» (продолжение)

толщине не противоречат логарифмическому нормальному распределению.

Кривизна K , как случайная величина, подчиняется вероятностному закону со средним значением \bar{K} и стандартом σ_K , характеризуется встречаемостью бревен с кривизной P_K . У сосны сравнительно небольшое число бревен с кривизной. С увеличением d_i значение P_K снижается. Эмпирические распределения кривизны K асимметричны и одинаково хорошо описываются как логнормальным законом, так и законом Эрланга. Связь статистик \bar{K} и σ_K с толщиной сырья d_i очень про-

блематична. Для практического пользования принимается модель кривизны, приведенная в табл. 1.

Математическая модель круглых лесоматериалов реализована в кп «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ».

Принципиальная схема моделирующего алгоритма компонент программ «СЫРЬЕ» и «ПРОДУКЦИЯ» приведена на рис. 1 и 2. Основное принципиальное отличие программы «ПРОДУКЦИЯ» от программы «СЫРЬЕ» заключается в наличии блока 22 (рис. 2) по определению выхода готовой продукции.

В моделирующем алгоритме (рис. 1, 2) введены следующие группы блоков:

- задания входных данных для решения задачи;
- генерации параметров сырья;
- определения выхода готовой продукции (для программы «ПРОДУКЦИЯ»);
- накопления, обработки результатов моделирования и выдачи выходных данных на печать.

Основные входные данные – объем моделирования сырья, толщина и длина сырья (среднее, СКО, минимальное и максимальное значения случайной величины, тип вероятностного распределения); породный состав; группа качества сырья (И, Гр, 0), ограничения по сортности сырья в целом и по основным сортообразующим порокам; толщина выпиливаемых заготовок для тарного потока и вид пиломатериалов (обрезные или необрезные) для лесопильного.

После ввода выходных данных (блок 1) выполняются начальные условия, обнуляются сумматоры для накопления информации (блок 2) и определяются заданные объемы моделирования сырья по сортам V_{jc}^3 (блок 3), где $j = 1 \dots 6$ (1 – 1 сорт, ..., 4 – 4 сорт, 5 – сырье для технологической переработки, 6 – дрова). В программе «СЫРЬЕ» 4 сорт равен нулю. Суммарный объем сырья всех сортов $\sum V_{jc}^3 = V_c^3$, где V_c^3 – заданный объем моделирования сырья. V_{jc}^3 принимает значения от 0 до V_c^3 .

Моделирующий алгоритм определяет и фиксирует размерно-качественные параметры бревен, выход готовой продукции из них в программе «ПРОДУКЦИЯ» через интервал V_i в диапазоне $0 \dots V_c^3$, где V_i – объем i -го бревна. В блоках 4, 5 генерируется порода i -го бревна, его толщина d_i , длина l_i и объем V_i . Результаты моделирования сырья по объему суммируются в блоках 6 (по общему объему смоделированного сырья) и 8 (по объему бревен, попавших в заданный диапазон толщин $d_{нг} \dots d_{вр}$). При достижении V_c^3 алгоритм управление передает на блоки 10, 11 для фиксации результатов моделирования, обработки и выдачи их на печать.

В группах 13–16 определяются параметры основных сортообразующих пороков

и сорт бревна: степень поражения торца i -го бревна гнилью (d_r/d_i), протяженность гнили $l_{Гр}$, сорт бревна по гнили $СГ_i$; число сучков на 1 м длины бревна $n_{C_{Гр}}$, общее число сучков на бревне n_{C_r} , диаметры сучков на бревне d_{ci} , средний и максимальный диаметр сучка $d_{сспi}$, $d_{смi}$, сорт бревна по сучкам $СС_i$, процент кривизны K_r , сорт бревна по кривизне $СК_i$. В блоке 16 определяется общий сорт i -го бревна $СО_i$. В блоках 17, 18, 19 проводится проверка на заданные объемы моделирования по сортам и фиксация этих объемов. В программе «СЫРЬЕ» сортность определяется по ГОСТ 9462-88 и ГОСТ 9463-88, а в программе «ПРОДУКЦИЯ» по ГОСТ 9462-71 и ГОСТ 9463-72. Определение сорта сырья по «старым» гостам связано с существующей до сих пор привязкой нормативов выхода готовой продукции к этим стандартам.

Выходная информация выдается в виде таблиц, содержащих данные по сортовому составу сырья, в т.ч. по гнили, сучкам и кривизне; совокупности пороков в сырье; вероятностей встречи пороков; средние значения и СКО величин – d_r/d , n_c , d_{cm} , $d_{ссп}$, K ; для программы «ПРОДУКЦИЯ» объемные показатели выхода готовой продукции.

Реализация приведенной математической модели на ЭВМ в кп «СЫРЬЕ» позволила получить сортовой состав круглых лесоматериалов из сосны по ГОСТ 9463-88 для выработки пиломатериалов и заготовок общего назначения по ГОСТ 8686-86. При имитационном моделировании потока бревен для рамной распиловки со средней длиной 6 м в диапазоне средних толщин (диаметров) сырья $d_{cp} = 16 \dots 30$ см с шагом 2 см пиловочные бревна первого сорта занимают в общем объеме сырья:

$$1C = 12,6176 + 0,0001568d_{cp}, \%$$

Соответственно бревна 2-го и 3-го сортов, %

$$2C = 0,02513d_{cp}^2 - 2,8667d_{cp} + 106,0657;$$

$$3C = -0,04448d_{cp}^2 + 3,5290d_{cp} - 5,0255.$$

Анализ приведенных уравнений регрессий показывает, что с увеличением средней толщины сырья на 1 см круглые лесоматериалы повышенной сортности (1 и 2 сорт) по ГОСТ 9463-88 уменьшаются на 1,3 %.

Посортный выход сосновых пиломатериалов (ГОСТ 8486-86) для условий Урала при распиловке пиловочного сырья (ГОСТ 9463-88)

Регрессионные уравнения	Коэффициенты уравнений определены при пилении:
с брусковой из несортированного сырья на обрезные пиломатериалы	
$1C = \frac{1}{0,105 + 64331,551e^{-d_{cp}}}$	$d_{cp} = 16 \dots 30 \text{ см}$
$2C = 0,0130d_{cp}^2 - 0,793d_{cp} + 17,946$	
$3C = 0,00952d_{cp}^2 - 0,540d_{cp} + 31,267$	
$4C = -0,0119d_{cp}^2 + 1,0524d_{cp} - 2,932$	
$0B = 0,0241d_{cp}^2 - 0,979d_{cp} + 68,512$	
с брусковой при различных отклонениях диаметра сырья $\pm\Delta d$, см от поставного $d_{п} = d_{cp} = 20 \text{ см}$	
$1C = -0,0109d^2 - 0,0108d + 10,0486$	$\Delta d = \pm 1, \pm 2, \pm 4, \pm 6, \pm 8 \text{ см}$
$2C = -0,0157d^2 + 0,0203d + 8,0138$	
$3C = -0,00702d^2 - 0,197d + 25,518$	
$4C = -0,0152d^2 + 0,00543d + 12,126$	
$0B = -0,00710d^2 - 0,467d + 60,334$	
с брусковой из сортировочно-размерных групп сырья d_{cr} с дробностью сортировки $\Delta d = 2 \text{ см}$ при $d_{cp} = 20 \text{ см}$	
$1C = -0,00160d_{cr}^2 + 0,0561d_{cr} + 9,345$	$d_{cp} = 14 \dots 34 \text{ см}$
$2C = -0,00117d_{cr}^2 + 0,460d_{cr} + 3,563$	
$3C = \frac{1}{0,0400 + 665,136e^{-d_{cr}}}$	
$4C = 0,00744d_{cr}^2 - 0,191d_{cr} + 12,932$	
$0B = \frac{1}{0,0168 + 418,229e^{-d_{cr}}}$	
вразвал из несортированного сырья на необрезные пиломатериалы	
$1C = \frac{1}{0,0808 - 40323,996e^{-d_{cp}}}$	$d_{cp} = 16 \dots 30 \text{ см}$
$2C = 0,0134d_{cp}^2 - 0,874d_{cp} + 21,520$	
$3C = -0,000452d_{cp}^2 - 0,113d_{cp} + 34,213$	
$4C = -0,0238d_{cp}^2 + 1,743d_{cp} - 7,866$	
$0B = -0,00150d_{cp}^2 + 0,259d_{cp} + 70,708$	
вразвал из 4-х размерно-сортировочных групп сырья с дробностью сортировки $\Delta d = 6 \text{ см}$ при $d_{cp} = 20 \text{ см}$	
$1C = -0,000695d_{cr}^2 - 0,023d_{cr} + 13,230$	$d_{cr} = 16, 22, 28, 34 \text{ см}$
$2C = -0,00486d_{cr}^2 + 0,0347d_{cr} + 11,0136$	
$3C = -0,00903d_{cr}^2 + 0,266d_{cr} + 29,763$	
$4C = -0,00903160d_{cr}^2 - 0,0130d_{cr} + 12,602$	
$0B = -0,00764d_{cr}^2 + 0,327d_{cr} + 70,470$	

Для определения выхода готовой продукции из сырья используются данные сортового состава сырья по ГОСТ 9463-72, полученные по кп «ПРОДУКЦИЯ», %

$$1C = 12,6176 + 0,0001568d_{cp};$$

$$2C = 1322,6388/(7,6550 + d_{cp});$$

$$3C = -0,01725d_{cp}^2 + 1,3432d_{cp} + 3,7799.$$

$$4C = -0,03115d_{cp}^2 + 2,0865d_{cp} - 14,9660.$$

Сопоставление полученных результатов моделирования сортового состава сырья со сведениями в различных источниках поз-

волят сделать вывод, что математические модели параметров сырья адекватны.

Достижение адекватности математических моделей параметров сырья позволяет, используя нормативы посортных выходов пиломатериалов, заложенных в кп «ПРОДУКЦИЯ», определить по ней выход готовой продукции в зависимости от способа раскроя круглых лесоматериалов несортированного и сортированного на размерные группы сырья.

Результаты исследований приведены в табл. 2. При распиловке сырья с брусочкой выход пиломатериалов повышенной сортности (1 и 2 сорт) с увеличением среднего диаметра пиловочных бревен с 16 до 30 см уменьшается на 2,2 %. Общий выход пиломатериалов (ОВ) колеблется от 59,3 до 60,7 %. Выход пиломатериалов повышенной сортности при распиловке вразвал при тех же условиях (с увеличением $d_{ср}$ от 16 до 30 см) увеличивается на 3,6 %, а общий выход пиломатериалов ОВ – на 2,6 %. Для анализа регрессионных уравнений, полученных по кп «ПРОДУКЦИЯ» и приведенных в табл. 2, сопоставления посортных выходов пиломатериалов при различных условиях раскрытия сырья создана программа «ВЫХОД П.М.», входящая в КП «ЦЕХ».

Результаты по сортовому составу сырья и выходу готовой продукции из него можно использовать технологом по лесопилению в технологических расчетах, а также при имитационном моделировании технологического процесса лесоперерабатывающего цеха

по кп «ПОТОК» комплекс программы «ЦЕХ» в виде входной информации.

Библиографический список

1. Чамеев, В.В. Задачи проектирования и управления производственными процессами лесопромышленных предприятий: методика указания для студентов старших курсов специальности 260106 и рекомендации для аспирантов первого года обучения / В.В. Чамеев, В.В. Обвинцев, Б.Е. Меншиков, В.А. Азаренок. – Екатеринбург: УГЛТА, 1997. – 53 с.
2. Чамеев, В.В. Сортовой состав круглых лесоматериалов и выход пиломатериалов и заготовок общего назначения / В.В. Чамеев, В.Е. Гаева, П.Е. Харисов // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент 21 века: сб. науч. тр. Международного евразийского симпозиума. – Екатеринбург: УГЛТУ. – 2006. – С. 23–27.
3. Кривоногова, А.Н. Имитационное моделирование размерно-качественных параметров круглых лесоматериалов и выхода пилопродукции в лесоперерабатывающих цехах лесопромышленного предприятия / А.Н. Кривоногова, В.В. Чамеев, Б.Е. Меншиков // Т.1. Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сборник статей студентов и молодых ученых. – Красноярск: СибГТУ, 2009. – 316 с. – ISBN 5-8173-0300-4.

MATHEMATICAL MODEL AND ALGORITHM FOR DETERMINING THE VARIETAL COMPOSITION OF ROUND TIMBER AND FINISHED PRODUCTS OUTPUT

Chameev V.V. (USFEU), Vasil'ev G.L. (USFEU)

lesoingener@yandex.ru

Ural State Forest Engineering University (USFEU) Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The aim of the article is the analysis of the study developed by the component programs of the «RAW materials» and «PRODUCTS» for information on high-quality composition of raw materials and output of finished products from it. On the basis of the study was compiled mathematical model. Implementation of the mathematical model allowed to obtain the composition of roundwood and the composition of the output of finished products in percentage. Results of research are available for use technologists on existing wood industries.

Key words: algorithm, mathematical model, timber product, raw materials.

References

1. Chameyev V.V., Obvintsev V.V., Menshikov B.E., Azarenok V.A. *Zadachi proyektirovaniya i upravleniya proizvodstvennyimi protsessami lesopromyshlennykh predpriyatiy* [Design problem and process control timber companies: Methodology guidelines for senior students majoring 260106 and recommendations for first year graduate students]. UGLTA. Yekaterinburg, 1997. 53 p.
2. Chameyev V.V., Gayeva V.E., Kharisov P.E. *Sortovoy sostav kruglykh lesomaterialov i vykhod pilomaterialov i zagoto-vok obshchego naznacheniya* [Varietal Composition roundwood and wood yield and procurement of general purpose]. Woodworking: technology, equipment, management of the 21st century: Sat scientific. tr. International Eurasian Symposium. UGLTU. Yekaterinburg, 2006. pp. 23-27.
3. Krivonogova, A.N., Chameyev V.V., Menshikov B.E. *Imitatsionnoye modelirovaniye razmerno-kachestvennykh parametrov kruglykh lesomaterialov i vykhoda piloproductsii v lesopererabatyvayushchikh tsekhakh lesopromyshlennogo predpriyatiya* [Simulation modeling dimension of qualitative parameters of round timber and sawn timber output in woodworking shops timber enterprise]. B. 1. Young scientists in solving actual problems of science: a collection of articles for students and young scientists / SibGTU. Krasnoyarsk, 2009. 316 p. ISBN 5-8173-0300-4.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛИЗИНГОВОГО ПОДХОДА К ПРИОБРЕТЕНИЮ НОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Г.П. БУТКО, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленного производства УГЛТУ, советник ректора по инновационному развитию Уральского государственного экономического университета, д-р экон. наук*

gpbutko@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»
620100, Свердловская область, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37.

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности проекта-лизинга предприятия и выбора методик ее оценки. Предложено комплексное использование различных методов, наиболее значимым является метод показатель ценности. Исследование проводится на примере макетного предприятия.

Ключевые слова: лизинг предприятия, стратегическое планирование, приобретение нового оборудования, кредит, долгосрочные стратегии развития

Сегодня в промышленности стратегическое планирование становится скорее правилом, чем исключением. Многие исследования указывают на сильную положительную корреляцию между планированием и успехом организации.

В силу особенностей лесного комплекса стратегическое планирование отраслей ЛПК сопряжено с различными проблемами методологического характера, что резко усиливается в условиях трансформационной экономики. Тесная зависимость от качества сырья, породного состава (прежде всего природно-климатических факторов). Весьма существенное влияние оказывает непостоянство конкурентной рыночной среды, а также сложность планирования на длительный период как на мезоуровне, так и на микроуровне (отдельного хозяйствующего субъекта). Поэтому появляется значимость в формировании долгосрочной стратегии развития, обеспечивающей стабильность и эффективность развития в долгосрочном перспективе. Последнее возможно за счет достоверного точных методов приобретения нового оборудования [1–3, 5].

Долгосрочные цели приобретения нового оборудования могут быть решены на основе альтернативы, что выгоднее – лизинг или кредит – либо приобретение оборудования за счет собственных средств. Обычно решение данных вопросов имеют весьма широкие рамки. Организация формулирует их в первую очередь. Затем вырабатываются средне- и краткосрочные цели для обеспечения долго-

срочных целей. Обычно чем ближе горизонт планирования цели, тем уже ее рамки.

Чтобы привлечь кредит по минимальной ставке и с минимальной комиссией при прочих равных издержках оформления оборудования в залог, нужно быть заемщиком с безупречной кредитной историей и иметь длительные хорошие отношения с банком, что, в общем-то, представляется нереальным. Целесообразно предположить, что организация способна получить кредит под 15 % с учетом всех прочих затрат. В реальной действительности такой вариант маловероятен, и его целесообразно использовать для анализа и сравнения возможностей кредита и лизинга как альтернативы. Выплаты по кредитам банки, как правило, предлагают производить в форме аннуитета или равномерно убывающих платежей с учетом начислений на остаток долга. С целью расчета аннуитетных платежей в банковском секторе используется формула

$$A = \frac{K \times p\%}{1 + (1 + p\%)^{-n}}, \quad (1)$$

где, A – объем полученных средств,

K – объем заемных средств,

$p\%$ – ставка капитализации,

n – годы [4].

В результате размер аннуитетного платежа составит 179 000 руб. и общие выплаты за 3 года выглядят в виде равнозначных платежей в объеме 56 25 млн руб..

Альтернативный вариант с ежемесячной выплатой равной части основного долга, начисленных процентов и начислением

Стоимость приобретения оборудования при различных формах финансирования

	Собственные средства, тыс. руб.	Лизинг, тыс. руб.	Кредит (убывающ.), тыс. руб.	Кредит (аннуитет), тыс. руб.
Предварительная оплата	1 900 000,00	1 900 000,00	1 900 000,00	1 900 000,00
Платежи дополнительные	4 500 000,00	7 140 000,00	5 580 640,63	5 656 341,60
Сумма выплат	6 400 000,00	9 040 000,00	7 523 140,63	7 598 841,6
В % от минимального	100	141,25	117,55	118,73

Распределение расходов на приобретение оборудования по годам

Год	Собственные средства, тыс. руб.	Лизинг, тыс. руб.	Кредит (убывающие пл.), тыс. руб.	Кредит (аннуитетные пл.), тыс. руб.
0	1 900 000,00	1 900 000,00	1 900 000,00	1 900 000,00
1	4 500 000,00	2 321 941,68	2 086 838,54	1 885 591,20
2	0	2 321 941,68	1 860 213,54	1 885 591,20
3	0	2 496 941,68	1 633 588,54	1 885 591,20

процентов на остаток долга. Размер платежа за каждый отрезок времени рассчитывается вслед. В результате исследования установлен размер кредита в объеме 4 500 млн руб., период равен одному месяцу и общее число периодов 36, ставка капитализации принята в 15 % годовых или 1,25 % в течение каждого месяца, в долевом измерении 0,0125 [4].

$$C_{t+1} = K \times \left(p\% + \frac{1}{n} \right) \times \left(1 - \frac{t}{n} \right), \quad (2)$$

где C_{t+1} – величина платежа за время t ($0 \leq t \leq n-1$),

K – объем заемных средств,
 $p\%$ – ставка капитализации,
 n – годы [4].

По аналогии сумма кредита составит 4 500,00 руб., искомое время – один месяц и общий период 36, ставка капитализации 15 % годовых или 1,25 % в течение каждого месяца, в долевом измерении 0,0125.

На основании расчетов составим график платежей в течение 3 лет и определим выплаты как общий объем. По графику платежей, построенному по данной схеме, расчеты подтвердили, что искомая сумма платежей составит 5 520 000 руб. Данный результат меньше чем при схеме аннуитет-платежей. Для каждой организации необходим индивидуальный выбор наиболее удобной и рациональной схемы экономической оценки лизинга. Такая постановка вполне очевидна и обусловлена теорией

временной стоимости денег, так как наиболее крупные платежи целесообразнее осуществить в будущем с учетом дисконта. Будет ниже их дисконтированная стоимость. Для сравнения стоимости приобретения выберем результаты, полученные при расчетах по схеме равномерно убывающих платежей, руководствуясь принципом снижения затрат, а не гипотезами теории временной стоимости денег. В соответствии с принятым алгоритмом, учитываем выплаты по кредиту и предоплату. На основании выполненного анализа проведем сопоставление целесообразности приобретения оборудования за счет собственных средств либо использования лизинговой схемы приобретения автомата по раскрою большеформатной фанеры. Полученные конкретные результаты по фирме «ФАНКОМ» представлены в табл. 1.

Как видно из расчетов, с одной стороны, лизинг, безусловно, выглядит наиболее дорогостоящим методом приобретения оборудования, возможно, меньшие платежи сделали бы его более привлекательным, однако то же можно сказать и относительно кредита, где возможны более низкие ставки. В то же время, разница между кредитом и лизингом значительна (с позиции затрат относительно различных форм приобретения оборудования).

На следующем этапе рассмотрим, как распределяются данные расходы во времени. Для удобства введем допущение, что предопла-

Основные технико-экономические показатели после проведения мероприятий

Показатели	До введения нового оборудования	После введения нового оборудования	Изменение
1. Выручка от реализации, тыс. руб.	131171,4	136427,4	5256
2. Чистая прибыль, тыс. руб.	3805,8	6739,8	2934
3. Рентабельность общая, %	2,9	4,9	2
4. Стоимость основных производственных фондов, тыс. руб.	11102,8	17577,8	6475
5. Среднесписочное количество работников, чел.	160	174	14

Источник: собственная разработка

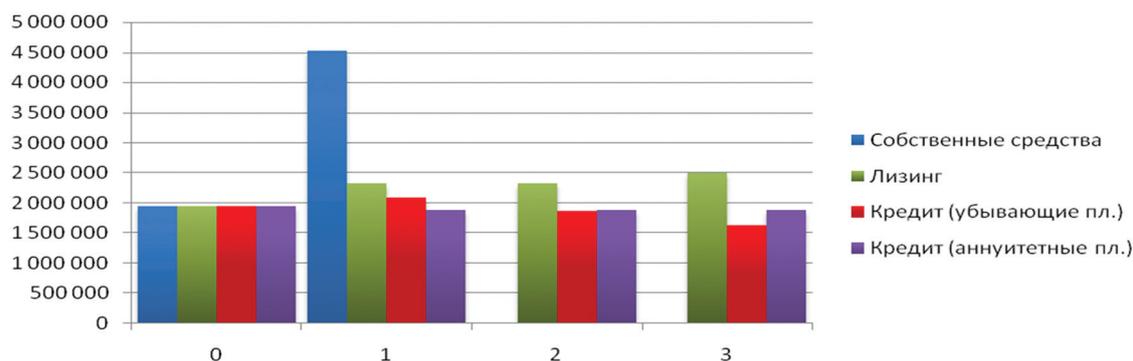


Рисунок. Распределение расходов на приобретение нового лесозаготовительного оборудования по годам

та выполняется в 0-й год, 1-й год начинается с поставкой оборудования и началом выплат 70 % стоимости приобретаемого оборудования. Данные по распределению выплат представим в виде гистограммы и расчетной таблицы.

Однако в приведенных расчетах никак не проявляются те особенности лизинга, которые могут сделать его более выгодным, чем кредит и собственные средства. Для выявления эффекта от этих преимуществ следует изучить финансовые потоки, генерируемые в результате использования различных форм финансирования.

При реализации данного проекта предприятие обновит основные фонды, и на конец исследуемого периода их стоимость увеличится на 774,5 тыс. руб. При выполнении расчетов и прогнозирования расходной и доходной части данного проекта предлагаемые мероприятия могут оказать серьезное влияние на основные технико-экономические показатели в целом по предприятию. Так, в связи с расширением предпринимательской деятельности на конец исследуемого периода предприятие увеличит выручку от реализации на 5 256 тыс. руб., что значительно выше выручки от реализации на начало соответс-

твующего периода. В то же время балансовая прибыль также увеличится на 2 934 тыс. руб.

И, как один из основных показателей эффективности реализации данного проекта, показатель общей рентабельности также имеет тенденцию к росту. Кроме того, с приобретением нового оборудования на условиях лизинга (увеличением количества основных средств предприятия) появятся новые рабочие места.

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и Перечня критических технологий Российской Федерации». Собрание законодательства РФ. 2011. № 28.
2. Бутко, Г.П. Комплексный экономический анализ / Г.П. Бутко. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2013. – 183 с.
3. Горемыкин, В.А. Планирование предпринимательской деятельности предприятия / В.А. Горемыкин, А.Ю. Богомолов. – М.: Инфра-М, 2013. – 582 с.
4. Кожекин, Г.Я. Организация производства / Г.Я. Кожекин, Л.М. Синицина. – 3-е изд. – Минск: ИП Экоперспектива, 2009. – 334 с.
5. Меньшикова, М.А. Инновационный метод и инструменты управления на лесопромышленных предприятиях / М.А. Меньшикова // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2012. – Т. 88. – № 5 – С. 150–153.

ENSURING THE COMPETITIVENESS OF THE FOREST COMPLEX

Butko G.P. (USFEU)

gpbuto@mail.ru

Ural State Forest Engineering University (USFEU), Sibirsky tract, 37, Ekaterinburg, Russia, 620100

The article examines the competitiveness of the enterprise and the choice of methods to assess it. Proposed comprehensive use of various techniques, the most significant is the principal component analysis. Research is conducted on the example of mock venture.

Keywords: leasing company, strategic planning, purchasing new equipment, credit, long-term development strategy

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 7 ijulja 2011 g. № 899 «Ob utverzhdenii prioritetnyh napravlenij razvitija nauki, tehnologij i tehniki v Rossijskoj Federacii i Perechnja kriticheskikh tehnologij Rossijskoj Federacii» // *Sobranie zakonodatel'stva RF. 2011. № 28.* [Presidential Decree of July 7, 2011 № 899 «On approval of the priority directions of science and technology development in the Russian Federation and the List of Critical Technologies of the Russian Federation.» Collection of Laws of the Russian Federation. 2011. № 28.].
2. Butko G.P. *Kompleksnyj jekonomicheskij analiz* [Comprehensive economic analysis of]. Uch. s grifom. Ekaterinburg. UGLTU. 2013. 183 p.
3. Goremykin V.A., Bogomolov A.Ju. *Planirovanie predprinimatel'skoj dejatel'nosti predpriyatija* [Planning a business enterprise]. Moscow. Infra-M, 2013. 582 p.
4. Kozhekin G.Ja., Sinicina L.M. *Organizacija proizvodstva* [Organization of production]. Minsk. IP Jekoperspektiva, 2009. 334 p.
5. Men'shikova M.A. *Innovacionnyj metod i instrumenty upravlenija na lesopromyshlennyh predpriyatijah* [Innovative management methods and tools for woodworking enterprises]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoj Vestnik. 2012. t. 88, № 5. pp. 150-153.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК УУКМ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ
ТРЕНИЯ МАШИН МАНИПУЛЯТОРНОГО ТИПА

В.Ю. ПРОХОРОВ, доц. каф. технологии машиностроения и ремонта МГУЛ, канд. техн. наук,
А.В. ЛАПТЕВ, зав. лабораторией каф. технологии и оборудования лесопромышленного про-
изводства МГУЛ

prohorovv@yandex.ru; laptev@mgul.ac.ru

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

Приведены результаты исследования УУКМ применительно к подшипникам скольжения манипуляторов навесного оборудования технологических машин с разными структурами армирования; определение удельной поверхности образцов и распределения пор по размерам; исследование изменения коэффициента трения при различных нагрузках.

Ключевые слова: углерод-углеродные композиционные материалы, навесное оборудование, подшипники скольжения, коэффициент трения, пористость материала.

В лесной промышленности большое рас-
пространение получили машины мани-
пуляторного типа [1]. Их высокая произво-
дительность обеспечивается оснащением
базовых машин технологическим оборудо-
ванием, включающим дополнительные ки-
нематические элементы различного функци-
онального назначения. Однако усложнение

конструкции машин снижает их надежность,
которая в значительной степени зависит от
износостойкости узлов трения. Одной из се-
рьезных причин, вызывающих интенсивный
износ шарнирных сопряжений и влияющих
на долговечность других узлов лесных ма-
шин, нередко является нарушение техниче-
ских условия на эксплуатацию (в частности,

Параметры поверхности образцов 1 и 2

Образец	Площадь удельной поверхности, м ² /г	Объем пор, см ³ /г	Размер пор, Å
1	4,389	$7,097 \cdot 10^{-4}$	9,237
2	2,890	$3,842 \cdot 10^{-4}$	9,237

Параметры трения образца № 1

Нагрузка, Н	$f_{нач.}$	$f_{min.}$	$f_{max.}$	$f_{ср.}$	Глубина износа $Pd_{нач.}$, мкм	Глубина износа $Pd_{кон.}$, мкм	ΔPd , мкм
1	0,291	0,256	0,291	0,263	-673,4670	-686,5558	13,0888
2	0,305	0,301	0,310	0,305	-685,1312	-691,7877	6,6565
3	0,258	0,249	0,265	0,256	-693,7864	-694,9644	1,178
4	0,239	0,235	0,240	0,237	-697,2358	-699,7878	2,552
5	0,0114	0,001	0,011	0,002	-1250,9414	-1251,2979	0,3565

соблюдения периодичности смазочных работ), что приводит к трению без смазки, задирам и схватыванию поверхностей.

Проблема повышения надежности узлов трения машин актуальна, сложна и неоднозначна, требует всестороннего научно-практического исследования. В настоящее время существует несколько принципиальных подходов к решению задачи повышения надежности подшипников скольжения. Основным направлением в борьбе с износом в машиностроении является увеличение твердости трущихся сопрягаемых поверхностей деталей путем термической и химико-термической обработки: цементации, азотирования, хромирования, цианирования, поверхностной закалки. Перспективным направлением увеличения ресурса узлов трения является использование нанотехнологий и наноматериалов [2].

Проводимые исследования на кафедре технологии машиностроения и ремонта МГУЛ совместно с ОАО «Композит» показали возможность применения самосмазывающихся УУКМ (углерод-углеродные композиционные материалы) [3].

Цель данной статьи – представить результаты трибологических исследований УУКМ с разными структурами армирования; определение удельной поверхности образцов и распределения пор по размерам; исследование изменения коэффициента трения при различных нагрузках. Исследования проводились в Наноцентре (Центр по нанотех-

нологиям и наноматериалам коллективного пользования Россельхозакадемии) ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии (Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка Россельхозакадемии).

Объектом исследований были образцы, представляющие собой пористый УУКМ с различной структурой армирования. Образец № 1 был изготовлен из углеродной ткани Урал ТМ-4/22 способом намотки с последующей многократной пропиткой каменноугольным пеком волокнистого каркаса с последующей карбонизацией. Плотность материала – 1,65 кг/м³. Образец № 2 изготовлен из стержней углеродной нити УКН-5000 с последующим осаждением углерода из газовой фазы между волокнами каркаса. Плотность материала – 1,7 кг/м³ [4].

Определение удельной поверхности образцов и распределения пор по размерам проводилось на анализаторе удельной поверхности «AUTOSORB-1». Назначение анализатора – определение удельной поверхности материалов с величиной удельной поверхности более 0,1 м²/г, а также анализ распределения пор по размерам от 4,6 до 500 нм. Принцип действия анализатора основан на явлении адсорбции молекул адсорбата (азота) активной поверхностью контрольного образца из газовой фазой над ним, в результате которой наблюдается изменение давления в ячейке с образцом. При дальнейшем добав-

лении газа и восстановлении давления поверхность продолжает покрываться молекулами адсорбата и при полном заполнении пор его молекулами наступает состояние равновесия. На основании данных по изменению давления в измерительной ячейке можно рассчитать площадь активной поверхности образца методов В.Е.Т. (Brunauer, Emmet, Teller) и средний радиус пор по методу D.J.H. (Darret, Joyneg. Halenda). Результаты исследований представлены в табл. 1.

Исследование изменения коэффициента трения при различных нагрузках проводили на трибометре TRB-S-DE (CSM, Швейцария). Исследуемый образец крепится в специальной чаше, которая приводится во вращение. К образцу прикладывается нагрузка с помощью индентора, который остается неподвижным.

Всего было проведено 5 испытаний образца № 1 с нагрузками 1Н, 2Н, 3Н, 4Н, 5Н. Исследования проводились при постоянной скорости движения (10 см/с), длина пути составляла 50 м. В табл. 2 представлены параметры трения образца № 1.

Согласно результатам исследования, с ростом нагрузки коэффициент трения снижается.

В настоящее время проводятся исследования по насыщению этих материалов медью для снижения коэффициента трения и создания эффекта «безызносности».

Библиографический список

1. Лаптев, А.В. Параметры рабочей позиции многооперационной машины манипуляторного типа / А.В.Лаптев // Вестник МГУЛ–Лесной Вестник, 2013. – № 1(93). – С. 85–91.
2. Прохоров, В.Ю. Новые материалы и покрытия для узлов трения навесного оборудования / В.Ю. Прохоров, В.В. Быков, Л.В. Окладников // Сб. науч. тр. «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика», ВГЛТА, 2014. – № 2. – Ч. 2 (7–2). – С. 21–27.
3. Прохоров, В.Ю. Повышение износостойкости шарнирных сопряжений манипуляторов лесозаготовительных машин / В.Ю. Прохоров // Тр. международного симпозиума, 2011. – Т. 2. Надежность и качество. – С. 198–199.
4. Прохоров, В.Ю. Пути реализации эффекта безызносности шарнирных сопряжений / В.Ю. Прохоров // Тр. международного симпозиума, 2013. – Т.1. Надежность и качество. – С. 43–46.

RESEARCH RESULTS OF THE TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF THE CCCM FOR HEAVY-DUTY FRICTION UNITS OF MACHINES MANIPULATIVE TYPE

Prohoroff V.J. (MSFU), Laptev A.V. (MSFU)

prohorovv@yandex.ru; laptev@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya st., 1, 141005, Mytischy, Moscow region, Russia

Privedeny the results of the research the CCCM applied to the bearings manipulators of the hinged equipment of technological machines with different structures reinforcement; definition of specific surface samples and distribution pore size; the study of the change of the friction coefficient at different loads.

Key words: carbon-carbon composite materials, attachments, bearings, the friction coefficient, porosity of the material.

References

1. Laptev AV. Parametry rabochej pozicii mnogooperacionnoj mashiny manipuljatornogo tipa [Parameters working position multistage machine manipulator type]. Moscow state forest university bulletin – Lesnoj vestnik, 2013. № 1 (93), pp. 85-91.
2. Prokhorov V.Y., Bykov V.V., Okladnikov L.V. Novye materialy i pokrytija dlja uzlov trenija navesnogo oborudovanija [New materials and coatings for friction units attachments]. Collection of scientific papers «Recent research trends of the XXI century : theory and practice». VGLTA, 2014. Number 2 part 2 (7-2), pp. 21-27.
3. Prokhorov V.Y. Povyshenie iznosostojkosti sharnirnyh soprjazhenij manipuljatorov lesozagotovitel'nyh mashin [Wear resistance articulated manipulators mates harvesting machines]. Proceedings of the International Symposium 2011. V. 2. Reliability and quality. pp. 198-199.
4. Prokhorov V.Y. Puti realizacii jeffekta bezyznosnosti sharnirnyh soprjazhenij [Ways to implement the effect bezyznosnosti hinge mates]. Proceedings of the International Symposium, 2013. V. 1. Reliability and quality. pp. 43-46.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Обливин Александр Николаевич, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН и МАНВШ, Заслуженный деятель науки и техники РФ, Президент МГУЛ, профессор кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств Московского государственного университета леса
e-mail: prezident@mgul.ac.ru

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Никишов Владимир Дмитриевич, кандидат технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса
e-mail: nikishov.08@mgul.ac.ru

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Артамонов Дмитрий Владимирович, профессор, доктор технических наук, кафедра «Автономные информационные и управляющие системы» Пензенского государственного университета, вице - президент Пензенского научного центра Академии информатики и информатизации отделения Международной академии информатизации, член - корреспондент Академии информатизации образования, директор Межотраслевого регионального центра повышения квалификации Пензенского государственного университета.

e-mail: aius@pnzgu.ru

Бемманн Альбрехт, профессор, доктор технических наук, Дрезденский дендрологический университет, директор Института профессуры для стран Восточной Европы, Германия; Albrecht Bemann, Dr. Dr. h.c., Professor
e-mail: albrecht.bemann(at)forst.tu-dresden.de

Залесов Сергей Вениаминович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой лесоводства Уральского государственного лесотехнического университета

e-mail: zalesov@usfeu.ru

Запруднов Вячеслав Ильич, профессор, доктор технических наук, проректор по научной работе, заведующий кафедрой геодезии и строительного дела Московского государственного университета леса

e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

Исаев Александр Сергеевич, академик Российской академии наук, Председатель Научного совета по лесу РАН, член Совета «Совет РАН по космосу», Президент-сопредседатель Международного института леса, иностранный член Болгарской академии наук

e-mail: isaev@cepl.rssi.ru

Карелайнен Тимо, профессор университета Восточной Финляндии г. ЙОЭНСУУ, лесной НИИ «Метла», Финляндия; Karjalainen, Timo D.Sc. (Agr. & For.), Professor

e-mail: timo.karjalainen@metla.fi

Кожухов Николай Иванович, профессор, академик РАН, доктор экономических наук, заведующий кафедрой Мировой экономики Московского государственного университета леса

e-mail: kozhukov@mgul.ac.ru

Комаров Евгений Геннадиевич, профессор, доктор технических наук, проректор по экономической и финансовой деятельности, заведующий кафедрой информационно-измерительных систем Московского государственного университета леса

e-mail: komarov@mgul.ac.ru

Корольков Анатолий Владимирович, профессор, доктор физ.-мат. наук, декан факультета электроники и системотехники, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования Московского государственного университета леса

e-mail: koroikov@mgul.ac.ru

Кох Нильс Элерс, профессор, доктор агрономии в области лесной политики, Президент IUFRO, Генеральный директор Центра лесного и ландшафтного планирования университета г. Копенгаген, Дания

e-mail: nek@life.ku.dk

Кротт Макс, профессор, специализация Лесная политика, Георг-Аугуст-Университет, Геттинген

e-mail: mkrott@gwdg.de

Леонтьев Александр Иванович, академик РАН, профессор, доктор техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

e-mail: leontiev@power.bmstu.ru

Липаткин Владимир Александрович, профессор, кандидат биологических наук, декан факультета лесного хозяйства, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Московского государственного университета леса

e-mail: lipatkin@mgul.ac.ru

Майорова Елена Ивановна, профессор, доктор юридических наук, кандидат сельскохозяйственных наук, декан гуманитарного факультета, заведующий кафедрой права Московского государственного университета леса

e-mail: mayorova@mgul.ac.ru

Мартынюк Александр Александрович, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат биологических наук, директор ФБУ ВНИИЛМ, советник Российской академии естественных наук, Заслуженный лесовод РФ
e-mail: info@vniilm.ru

Моисеев Николай Александрович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный лесовод РФ, иностранный член (академик) Шведской королевской академии сельского и лесного хозяйства, Финской академии наук и письменности, Итальянской лесной академии, почетный доктор Дрезденского технического университета Санкт-Петербургской ГЛТА, член Совета по развитию лесного комплекса при Правительстве РФ, член научно-экспертного совета при председателе Совета Федерации, член научно-технического Совета Рослесхоза, заведующий кафедрой экономики и управления Московского государственного университета леса
e-mail: moiseev@mgul.ac.ru

Редькин Анатолий Константинович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Московского государственного университета леса
e-mail: redkin@mgul.ac.ru

Рыкунин Станислав Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии деревоперерабатывающих производств Московского государственного университета леса
e-mail: rikunin@mgul.ac.ru

Рубцов Михаил Владимирович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАСХН, заслуженный лесовод Российской Федерации, Председатель секции «Лесоводство» Научного совета по проблемам леса РАН, член президиума Российского общества лесоводов, руководитель лаборатории лесоводства и биологической продуктивности Института лесоведения РАН
e-mail: root@ilan.ras.ru

Семенов Юрий Павлович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники, теплотехники и энергоснабжения предприятий лесного комплекса Московского государственного университета леса
e-mail: semenov@mgul.ac.ru

Стрекалов Александр Федорович, Первый вице-президент РКК «Энергия», Генеральный директор ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия», действительный член Российской Академии космонавтики им. Циолковского, кандидат технических наук
e-mail: mail@rscc.ru, post@rscc.ru, boris.harlov@rscc.ru

Теодоронский Владимир Сергеевич, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, академик РАЕН, член Союза архитекторов России, член правления Московского объединения ландшафтных архитекторов (МОЛА), профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства Московского государственного университета леса
e-mail: teodoronskiy@mgul.ac.ru

Тулузаков Дмитрий Владимирович, доцент, кандидат технических наук, проректор по учебной работе, заведующий кафедрой технической механики Московского государственного университета леса
e-mail: tuluzakov@mgul.ac.ru

Уголев Борис Наумович, профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, академик ИАВС, почетный член РАЕН, профессор кафедры древесиноведения Московского государственного университета леса
e-mail: ugolev@mgul.ac.ru

Федоренчик Александр Семенович, кандидат технических наук, член-корреспондент Международной академии технического образования, академик Белорусской инженерной академии, член учебно-методического совета России по специальности «Лесоинженерное дело», член научно-технического совета Министерства лесного хозяйства, член двух учебно-методических объединений высших учебных заведений Республики Беларусь: по химико-технологическому образованию и образованию в области лесного хозяйства и природопользования, член президиума: Научно-методического совета при Министерстве образования; Республиканского товарищества дружбы «Беларусь - Финляндия»; председатель учебно-методического совета БГТУ профессор кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок Белорусского государственного технологического университета
e-mail: root@bstu.unibel.by

Цветков Вячеслав Ефимович, профессор, доктор технических наук, академик РАЕН, заведующий кафедрой технологии древесных плит и пластиков Московского государственного университета леса
e-mail: tsvetkov@mgul.ac.ru

Чубинский Анатолий Николаевич, профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии лесопиления и сушки древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова
e-mail: tlds@inbox.ru

Шимкович Дмитрий Григорьевич, профессор, доктор технических наук, заведующий отделом ООО «Кудесник»
e-mail: shimkovich@mgul.ac.ru