

А. А. Ермалицкий, ассистент, БГТУ

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ ХЛЫСТОВ НАВЕСНЫМИ ГИДРОМАНИПУЛЯТОРАМИ

In article is stated methods of experimental researches of process of a log loading to hydromanipulators, content on timber trucks is explained. On a designed technique passive experiment by means of motion-time study and measurements of parameters of a subject of transactions is lead at approbation of different flow sheets of a timber loading to summer and autumn phase. The purpose of research was the estimation of an overall performance of different timber loading tools, and installation of association between the major factors influencing on their technic-operation indexes. The technique of machining of experimental data and interpretation of outcomes of observations is reduced. The obtained empirical associations have allowed to make mathematical exposition of process of a log loading clamp and manipulator log loaders. The corresponding outcomes presented as a nomogram.

Введение. С применением гидроманипуляторов при погрузке хлыстов возникает ряд особенностей в выполнении рабочих операций. Погрузка длинномерных грузов может осуществляться как с полным вывешиванием предмета труда (т. н. методы «балансировки» и «упора»), так и способами, предусматривающими перемещение хлыстов через стойки автопоезда при опоре вершин на грунт (т. н. методы «вершина – комель» и «рычага»). Планировка и размеры погрузочных пунктов, расположение на них штабелей лесоматериалов, место установки транспортного средства определяются главным образом параметрами предмета труда, конструктивными особенностями гидроманипулятора и технологического оборудования лесовозной техники [1].

Следует отметить, что в последнее время многими лесозаготовительными предприятиями на вывозке древесины используется бригадная форма работы нескольких автопоездов, один из которых оснащен навесным манипулятором и, как показано на рис. 1, 2, 3, производит погрузку лесоматериалов на все поезда бригады. При выполнении этих операций на лесопогрузочном пункте автомобиль с манипулятором устанавливается между штабелем лесоматериалов и неагрегатированным транспортным средством на расстоянии максимального выдвижения аутригеров гидроманипулятора. Комлевая часть штабеля хлыстов, уложенных параллельно дороге, и агрегатный автомобиль должны располагаться в направлении грузового хода с таким расчетом, чтобы створ стоек коника тягача находился вблизи комлевых торцов штабеля. Разбег торцов отдельных хлыстов не должен превышать 1 м при высоте штабеля 2–2,5 м, что обеспечивает полную загрузку автопоезда без промежуточных перебазировак техники в процессе погрузки.

Приемы погрузки хлыстов в данном случае меняются по мере формирования воя и осуществляются различными вышеописанными ме-

тодами. После поочередной загрузки всех автопоездов бригады агрегатированный манипулятором тягач соединяется с прицепом-ропуском, устанавливается у штабеля хлыстов и производит самопогрузку по схемам, приведенным на рис. 1, а, б, в.

Основная часть. На основании проведенного анализа технологии выполнения лесопогрузочных работ различными системами машин выявлены основные задачи экспериментальных исследований по определению абсолютных оптимальных параметров технологического процесса погрузки хлыстов на лесосеке применительно к условиям Республики Беларусь. В связи с необходимостью оценки эффективности использования самогружающихся транспортных средств в качестве специализированного средства погрузки требуется установление зависимости между основными факторами, влияющими на их технико-эксплуатационные показатели.

Как известно, существуют активные (в которых уровни факторов в каждом опыте задаются в соответствии с определенным планом) и пассивные (где роль исследователя сводится к фиксации входных и выходных параметров) эксперименты. Необходимо отметить, что при проведении экспериментальных исследований в условиях лесосеки поддержание природных факторов постоянными на заданных уровнях является задачей практически неосуществимой, поэтому зачастую в производственных условиях ограничиваются пассивными экспериментами [2].

В соответствии с целью настоящих исследований был проведен пассивный эксперимент посредством хронометражных наблюдений и измерения параметров предмета труда при апробировании различных технологических схем погрузки древесины в летний и осенний периоды в зоне производственной деятельности ОАО «Житковичлес», Пховского и Калинковичского лесопунктов ЗАО «Мозырьлес», Микашевичского леспромхоза ОАО «Лунинецлес».

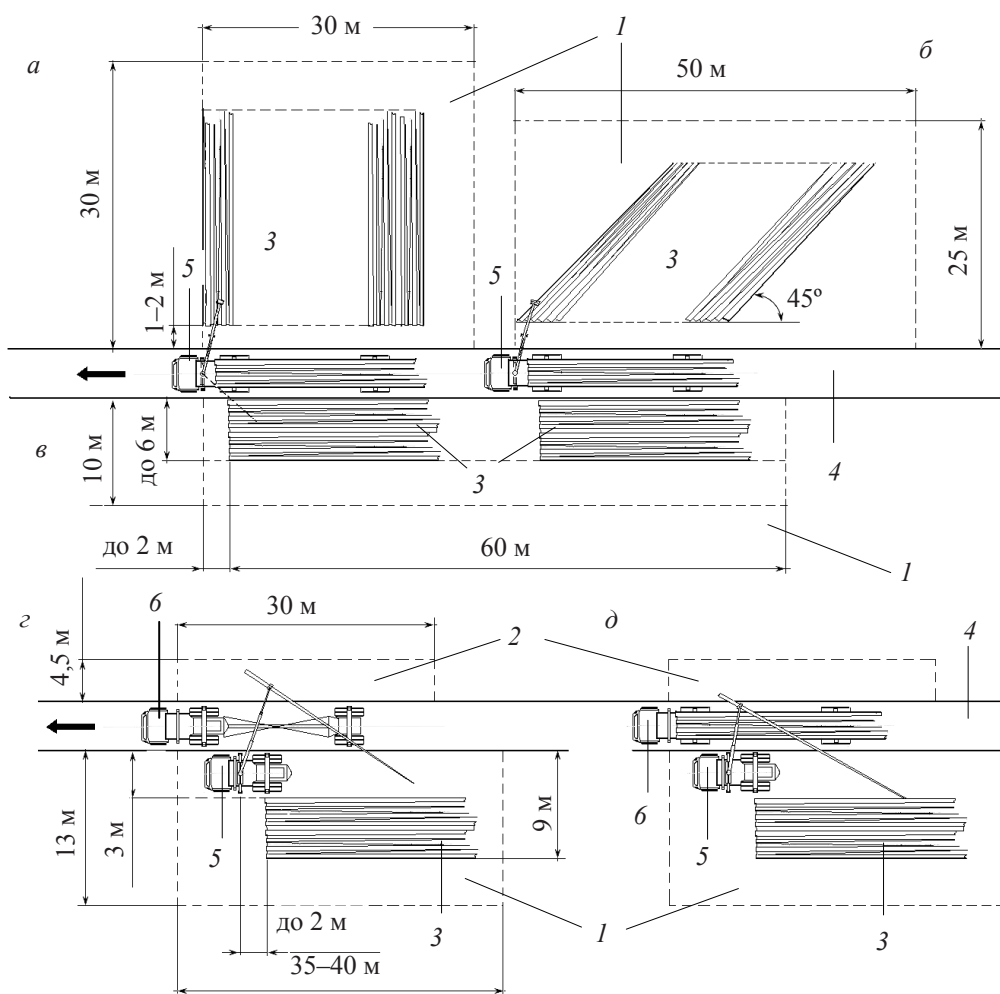


Рис. 1. Схемы погрузки хлыстов самозагружающимися лесовозными автомобилями:
а, б, в – «на себя» при расположении штабеля перпендикулярно, под углом
и параллельно лесовозному уссу соответственно; *г, д* – на неагрегатированный лесовозный автопоезд;
1 – погрузочный пункт; *2* – свободное пространство; *3* – штабель хлыстов;
4 – лесовозный ус; *5* – самозагружающийся автомобиль; *6* – автопоезд без навесного гидроманипулятора

Выбором мест проведения исследований послужило наличие определенных производственных условий: осуществление хлыстовой технологии заготовки древесины в лесных массивах с различными таксационными показателями; наличие лесопогрузочной техники с временем эксплуатации, равным примерно половине срока полного износа под управлением опытных операторов (стаж работы 7–10 лет).

Объектами исследований являлись:

- гусеничный челюстной лесопогрузчик перекидного типа ПЛ-1В;

- гидроманипуляторные лесопогрузчики (ПЛ-70-02, ЛВ-185-10, Loglift F 130 S80, Liv L 24.81), установленные на лесовозных автомобилях Урал-375, Маз-5434, КраЗ-255Л.

В качестве первичных данных, регистрируемых непосредственно при наблюдениях, были выбраны:

- затраты времени на выполнение эксплуатационного цикла работы, $t_{ц}$, с;
- параметры (диаметр, длина) и количество лесоматериалов, $n_{хл}$ в захвате;

- продолжительность перерывов (простоев) различного характера $t_{пр}$, с;

Показателями эксплуатационно-технологической оценки являлись:

- объем погружаемой пачки лесоматериалов, $V_{п}$, m^3 ;

- время погрузки $1 m^3$, t_1 , с;

- сменная, $П_{см}$, и часовая, $П_{ч}$, производительность, m^3 ;

- средний объем лесоматериала в захвате, $V_{ср}$, m^3 ;

- среднее количество циклов погрузки, приходящееся на $1 m^3$.

Замеры осуществлялись при работе машин в режимах:

- погрузки хлыстов (ПЛ-1В);

- погрузки и самопогрузки хлыстов (ПЛ-70-02, ЛВ-185-10, Loglift F 130 S80, Liv L 24.81).

Объем погружаемой пачки определялся путем суммирования объемов хлыстов в захвате лесопогрузчика, найденных с помощью существующей справочной информации по резуль-

татам замера их длины и диаметра. Ввиду невозможности растаскивания уложенной в штабеля древесины диаметр хлыстов измерялся в их комлевом срезе. Для снижения соответствующей ошибки при определении объемов хлыстов по диаметрам на высоте 1,3 м от их основания до $\pm 3\%$ использовалась методика Н. П. Анучина [3, с. 17]. Все обрабатываемые погрузчиками хлысты в количестве не менее 50 шт. разграничивались по группам закомелистости на закомелистые, средней закомелистости и незакомелистые. По таблице 5 [3] для каждого комлевого диаметра хвойных и лиственных пород устанавливался диаметр «на высоте груди». Соответственно этим диаметрам и обмеру длин 20–30 хлыстов с однородных в таксационном отношении участков разрабатываемых участков устанавливался разряд таблиц для определения объемов хлыстов.

При осуществлении погрузки хлыстов гусеничным перекидным лесопогрузчиком штабель лесоматериалов располагался на удалении 20 м от лесовозного автопоезда, что соответствует среднему пути перемещения ПЛ-1В в грузовом и порожнем направлениях.

Обработка полученных эмпирических данных осуществлялась методами математической статистики, корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализов в соответствии с принятой классической процедурой.

Начальным этапом обработки экспериментальных данных являлось тестирование всех полученных выборок на наличие грубых наблюдений (т. н. промахов) с использованием t -критерия Стьюдента по методике [2]. Сомнительный результат y_i временно исключался из выборки, а по оставшимся данным рассчитывались среднее арифметическое \bar{y} и оценка дисперсии σ^2 . Далее вычислялась величина

$$t_{\text{расч}} = |y_i - \bar{y}| / \sigma. \quad (1)$$

Из таблиц распределения Стьюдента по уровню значимости $q = 0,05 = 5\%$ и числу степеней свободы f , связанному с дисперсией σ^2 , находилось табличное значение $t_{\text{табл}}$. Если $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то подозреваемый результат считался промахом и исключался из выборки. После проведения необходимого количества подобных итераций определялись среднее квадратическое отклонение σ и коэффициент вариации v .

Достаточность объемов выборок и надежность результатов наблюдений оценивались значением показателя точности опыта $\xi = v / \sqrt{n}$, которое во всех случаях не превысило допустимых опытным делом 5% .

Одной из логических предпосылок применения корреляционного и регрессионного анализа является достаточная уверенность в том, что наблюдаемое распределение соответствует нормальному закону. Для проверки гипотезы

нормальности использован критерий согласия χ^2 (критерий Пирсона), оценивающий расхождение между наблюдаемыми и ожидаемыми частотами при объеме выборки $n > 50$. Если $\chi^2 = 0$, то наблюдаемые и теоретические предсказанные значения частот совпадают, если $\chi^2 > 0$, необходимо сравнить расчетные значения с табличными значениями. Гипотеза о соответствии закона распределения с теоретическим принималась, если $\chi^2_{\text{расч}} < \chi^2_{\text{табл}}$. Проверка выполнена при уровне значимости $q = 0,05$ и соответствующих степенях свободы.

Определение основных статистических характеристик и идентификация закона распределения осуществлялись с использованием программного обеспечения для графического и статистического анализа Statistika V6.

Результаты обработки экспериментальных данных дают основание утверждать, что распределение $t_{\text{ц}}$ и $V_{\text{п}}$ при работе всех исследуемых машин и механизмов в различных режимах хорошо согласуется с нормальным.

Поскольку зависимая $t_{\text{ц}}$ и независимая $V_{\text{п}}$ переменные в эксперименте являются случайными величинами, в соответствии с теорией статистических вычислений требуется установление степени стохастической связности между этими параметрами посредством корреляционного анализа. Предварительный анализ поля корреляции указывает на нелинейный характер связи фактора x и отклика y . Достоверность этого суждения для каждой серии наблюдений оценивалась величиной

$$t_p = \hat{\rho}_{y/x} \cdot \sqrt{n-2} / (1 - \hat{\rho}_{y/x}^2) \quad (2)$$

по методике [2, с. 172].

Здесь $\hat{\rho}_{y/x}^2$ – выборочное значение корреляционного отношения, рассчитанное по формуле

$$\hat{\rho}_{y/x}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k m_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 / \sigma_y^2, \quad (3)$$

где m_i и \bar{y}_i – частота (m_1, \dots, m_k) и частное среднее ($\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_k$) переменной y i -той группы (интервала) значений объясняющей переменной x ; σ_y^2 – общая дисперсия, характеризующая разброс наблюдаемых значений выходной величины около среднего.

Во всех случаях t_p оказалась больше, чем 100 $q\%$ -ная ($q = 0,05$) точка распределения Стьюдента с $n - 2$ степенями свободы, что свидетельствует о значимости корреляционного отношения и коррелированности величин x и y .

Дальнейшая обработка опытных данных была направлена на получение регрессионных зависимостей, характеризующих влияние основных факторов на технико-эксплуатационные показатели объектов исследования.

Степень соответствия регрессии эмпирическим данным оценивалась коэффициентом де-

терминации, который указывает, какая часть общего рассеивания значений выходной величины обусловлена изменчивостью факторов, рассчитанным по формуле [4]

$$R^2 = \sigma_{\hat{y}}^2 / \sigma_y^2, \quad (4)$$

где $\sigma_{\hat{y}}^2$ – дисперсия, обусловленная регрессией, представляет часть рассеивания зависимой переменной, вызванную влиянием факторов; \hat{y} – значение выходной величины, предсказанное уравнением регрессии.

$$\sigma_{\hat{y}}^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / (n-1) \quad (5)$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 / (n-1). \quad (6)$$

Значимость коэффициента R^2 оценивалась по статистике

$$F_0 = R^2 \cdot (n-2) / (1-R^2), \quad (7)$$

имеющей F -распределение Фишера с $f_1 = k$ и $f_2 = n - 2$ степенями свободы, где k – число факторов, n – число наблюдений. Если $F_0^{\text{расч}} > F^{\text{табл}}$, то R^2 значим при выбранной доверительной вероятности. Для проведенных серий наблюдений процентные точки F -распределения при уровне значимости ($q = 0,05$) составили $F^{\text{табл}} \leq 4,0$. Расчетные значения F -критерия не превысили данный показатель.

Задачей исследования процесса погрузки хлыстов являлось установление удельных затрат времени на выполнение рассматриваемых операций выбранными лесопогрузчиками с целью проведения их сравнительного технико-эксплуатационного анализа. В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии в натуральных обозначениях факторов. Проведенная оценка значимости коэффициентов детерминации R^2 свидетельствует о высокой аппроксимации регрессионных зависимостей времени погрузки 1 м^3 (t_1) и объема пачки ($V_{\text{п}}$) функциями вида $y = ax^b$.

Полученные эмпирические зависимости позволили составить математическое описание процесса погрузки хлыстов и сортиментов челюстными и манипуляторными лесопогрузчиками в следующей форме:

$$\begin{cases} \Pi_{\text{см}} = (T - t_{\text{п-3}}) \cdot \alpha_1 \cdot Q_{\text{л}} / (t_1 \cdot Q_{\text{л}} + t_2 + t_3), \\ \Pi_{\text{ч}} = 3600 \cdot \alpha_1 / t_1, \\ t_1 = a \cdot V_{\text{п}}^b, \\ V_{\text{сп}} = V_{\text{п}} / n_{\text{хл}}, \end{cases} \quad (8)$$

где T – продолжительность смены, с ($T = 25200$ с); $t_{\text{п-3}}$ – время на выполнение подготовительно-

заключительных операций, с ($t_{\text{п-3}} = 2400$ с); ϕ_1 – коэффициент использования рабочего времени смены, учитывающий отдых оператора, переезды погрузочного механизма с одной погрузочной площадки на другую, устранение технических неисправностей, ожидание порожнего подвижного состава и др.; $Q_{\text{л}}$ – грузоподъемность единицы лесовозного транспорта, м^3 ; t_2 – время подготовки подвижного состава к погрузке, с: $t_2 = 120-240$ с; t_3 – время оправки и крепления воя после погрузки, с (при погрузке хлыстов $t_3 = 180-240$ с, при погрузке сортиментов $t_3 = 120-180$ с); a, b – соответствующие коэффициенты регрессии.

На основании реализации математической модели (8) построены графические зависимости, представленные в виде номограммы на рис. 2, которые отражают связь природных и технологических факторов, а также их влияние на расчетные значения откликов.

В первом квадранте номограммы штриховкой показаны границы грузоподъемной возможности рассматриваемых средств погрузки в зависимости от среднего объема хлыста в захвате при соответствующем количестве лесоматериалов в перемещаемой пачке. Для всех марок манипуляторов, за исключением ПЛ-70-02, максимальный объем пачки достигается при $n_{\text{хл}} = 2$.

Анализ эффективности работы бортовых манипуляторов по удельному показателю t_1 (второй квадрант номограммы) показал, что при определенных параметрах предмета труда ($V_{\text{сп}} \leq 1,75 \text{ м}^3$) сопоставимую гусеничному лесопогрузчику ПЛ-1В эффективность имеют гидроманипуляторы с грузовым моментом $130 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Несмотря на достаточно большой грузовой момент ($240 \text{ кН}\cdot\text{м}$), время погрузки 1 м^3 лесопогрузчика Liv L 24.81 оказалось меньше, чем у ЛВ-185-10 с грузовым моментом $90 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Достоинством первого может являться возможность использования при погрузке пачек большого объема ($3,7 \text{ м}^3$).

При использовании в качестве специализированного лесопогрузчика агрегатных автомобилей предельные значения сменной производительности соответственно составят: ПЛ-70-02 – 110 м^3 , ЛВ-185-10 – 205 м^3 , Loglift F 130 S80 – 334 м^3 , Liv L 24.81 – 247 м^3 .

Исследованиями также установлено, что в сравнении с загрузкой бригадных лесовозных автопоездов без манипулятора коэффициент использования грузоподъемности при самопогрузке хлыстовоза в среднем на 19% выше.

Сравнительная эффективность погрузочного оборудования при самозагрузке автопоезда оценивалась только удельным показателем t_1 , т. к. часовая или сменная его производительность не имеет смысла [5, с. 91].

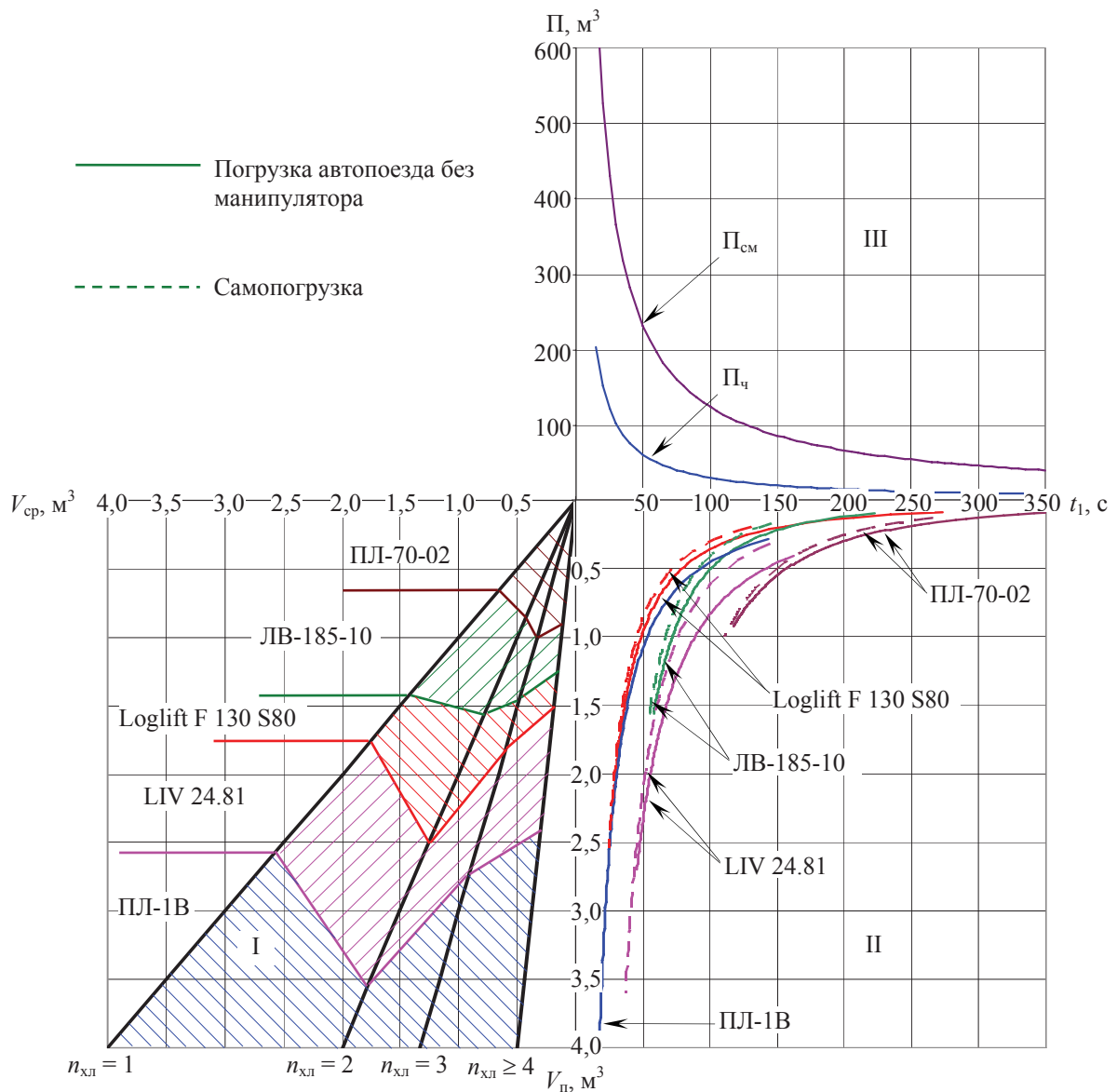


Рис. 2. Номограмма эффективности использования лесопогрузочных средств

Выводы. Результаты экспериментальных исследований процесса погрузки хлыстов позволяют сделать предположение о нецелесообразности агрегатирования лесовозной техники навесными гидроманипуляторами с грузовым моментом более 130 кН·м ввиду неэффективного использования их мощности. Данными средствами погрузки необходимо оснащать гусеничные и колесные базовые тракторы с созданием специализированных гидропогрузчиков. Полученное математическое описание процесса погрузки может служить основой для исследования проблем рационального сочетания параметров базовой машины и манипулятора.

Разработанная методика оценки технико-эксплуатационной эффективности манипуляторных лесопогрузчиков с достаточной точностью может быть использована для практических целей при осуществлении как хлыстовой, так и сортиментной заготовки древесины.

Литература

1. Брик, М. И. Опыт применения самогружающихся автопоездов / М. И. Брик // Лесоэксплуатация и лесосплав: отеч. произв. опыт. – М.: Экспресс-информация / ВНИПИЭИлеспром, 1988. – Вып. 19. – 32 с.
2. Пижурин, А. А. Современные методы исследований технологических процессов в деревообработке / А. А. Пижурин. – М.: Лесная пром-сть, 1972. – 248 с.
3. Анучин, Н. П. Определение объемов хлыстов и сортиментов / Н. П. Анучин. – 3-е изд., доп. – М.: Лесная пром-сть, 1985. – 184 с.
4. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ: в 2 кн.: пер. с англ. / Н. Дрейпер, Г. Смит. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 1986. – Кн. 1. – 366 с.
5. Орлов, С. Ф. Лесосечные работы без ручного труда / С. Ф. Орлов, В. Г. Кочегаров. – М.: Лесная пром-сть, 1973. – 160 с.