

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*375.5

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОГО ЗВЕНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Приведена информационно-логическая и математическая модель совместного функционирования автопоездов с гидроманипулятором и без него. Предложена методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором.

Ключевые слова: лесовозный автопоезд, гидроманипулятор, погрузка, вывозка лесоматериалов, выгрузка, математическая модель.

Введение. В современных условиях лесозаготовок для повышения эффективности вывозки лесоматериалов предлагается оснащать предприятия автопоездами, оборудованными средствами самозагрузки. В зависимости от производственных условий, количественного соотношения транспортных средств и погрузочных механизмов вывозка лесоматериалов с использованием автопоездов с навесными гидроманипуляторами может осуществляться по двум основным организационным формам работы: индивидуальной и звеньевой. В зависимости от количественного состава погрузочно-транспортного звена и соотношения транспортных единиц и погрузочных механизмов изменяется время простоя лесовозных автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов, общее время пребывания на погрузочном и разгрузочном пунктах, их сменная производительность. Поэтому вопросы, связанные с организацией работы автопоездов с гидроманипуляторами в составе погрузочно-транспортного звена, более полным их использованием являются весьма актуальными. Для эффективной работы звена лесовозных автопоездов необходимо проведение исследований и совершенствование технологических процессов погрузки, вывозки и выгрузки лесоматериалов.

Целью работы является построение моделей совместного функционирования лесовозных автопоездов с гидроманипуляторами и без них в различных природных и производственных условиях.

Решаемые задачи: 1) разработка алгоритмов совместной эксплуатации автопоездов с гидроманипуляторами и без них; 2) анализ элементов, входящих в структуру рабочего цикла навесного гидроманипулятора; 3) изучение структуры подготовительно-заключительных работ.

Математическое моделирование. При разработке алгоритма работы автопоезда с гидроманипулятором в сочетании с автопоездами без гидроманипулятора использован метод абстрактного представления моделируемого процесса.

Схема алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе звена представлена на рис. 1. Схема математической модели приведена на рис. 2. Для лучшего восприятия число блоков в ней соответствует числу блоков схемы функционирования.

В схеме математической модели приняты следующие обозначения: t_{nop} – время движения звена автопоездов в порожнем направлении за один рейс, мин.; t_{zp} – то же в грузовом направлении; n_p – число рейсов, совершаемых звеном за смену; l_1, l_2, l_3 – расстояния перемещения груза по дорогам различных категорий, км; t_1^n, t_2^n, t_3^n – время хода 1 км пути по дорогам различных категорий в порожнем направлении, мин/км.; t_1^c, t_2^c, t_3^c – то же в грузовом направлении; t_c, t_c' – продолжительность установки автопоезда под погрузку и разгрузку соответственно, мин.; t_{mp}, t_{mt} – продолжительность приведения гидроманипулятора из транспортного положения в рабочее и обратно, мин.; T_n – продолжительность загрузки автопоезда, мин.; T_{e1}, T_{e2} – продолжительность разгрузки автопоезда с гидроманипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.; t_{u1}^n, t_{u2}^n – продолжительность одного цикла погрузки лесоматериалов на автопоезд с гидроманипулятором и на автопоезд без гидроманипулятора соответственно, мин.; n_u^n, n_u^c – количество циклов, совершаемых гидроманипулятором при загрузке и разгрузке автопоезда; t_{u1}^c, t_{u2}^c – продолжительность одного цикла выгрузки лесоматериалов с автопоезда, оснащенного гидроманипулятором, и с автопоезда без гидроманипулятора соответственно, мин.; t_{cm} – время на смену автопоездов, мин.; $Q_{ш}$ – объём лесоматериалов в штабеле, м³; $t_{шу}$ – продолжительность переезда автопоезда между штабелями, мин.; $L_{ш}$ – расстояние между штабелями, м.; $v_{шу}$ – скорость движения автопоезда между штабелями, м/с; $t_{yв}$ – продолжительность увязки вoза, мин.; T_p – продолжительность рейса, мин.; T – продолжительность рабочей смены, мин.; $t_{nз}$ – подготовительно-заключительное время, мин.; $K_в$ – коэффициент использования рабочего времени; $t_{раб}$ – фактически отработанное время с начала смены, мин.; N_2 – число автопоездов без навесных гидроманипуляторов в звене; $Q_{пол1}, Q_{пол2}$ – полезная рейсовая нагрузка автопоезда с манипулятором и без манипулятора соответственно, м³.

Сменная производительность звена лесовозных автопоездов зависит от числа рейсов n_p , полезных рейсовых нагрузок автопоездов $Q_{пол1}$ и $Q_{пол2}$.

$$P_{cm} = n_p \cdot (Q_{пол1} + N_2 \cdot Q_{пол2}) . \quad (1)$$

Количество рейсов, совершаемых звеном автопоездов,

$$n_p = \frac{(T - t_{nз}) \cdot K_в}{T_p} . \quad (2)$$

Продолжительность рейса определяется по формуле

$$T_p = t_{nop} + t_{zp} + T_1 + T_2 , \quad (3)$$

где T_1 и T_2 – продолжительность пребывания звена автопоездов на погрузочном и разгрузочном пунктах, мин.

Общее время простоя подвижного состава под погрузкой и разгрузкой за один рейс включает в себя следующие элементы: подготовительные работы в пунктах погрузки и разгрузки, выполнение погрузочно-разгрузочных работ, заключительные работы. В состав подготовительных работ входят: установка автопоезда под погрузку у штабеля сортиментов, установка упоров и приведение стрелы гидроманипулятора из транспортного положения в рабочее. Заключительные работы: приведение всех механизмов в транспортное положение, увязка груза.

Время выполнения погрузочно-разгрузочных операций является основным элементом общей продолжительности простоев лесовозных автопоездов.

Исходя из рис. 2, можно записать:

$$T_1 = n_{ш} \cdot (t_c + t_{mp}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2_i} + n_{ш} \cdot t_{mm} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot g_{ш}} + (N_2 - 1) \cdot t_{cm} + T_{n1} + t_{yв}, \quad (4)$$

$$T_2 = t'_c + t_{mp} + T_{\epsilon1} + (N_2 - 1) \cdot t_{cm} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{\epsilon2_i} + t_{mm}, \quad (5)$$

где $n_{ш}$ – число штабелей сортиментов, из которых загружаются автопоезда звена.

Суммарное время движения автопоездов

$$t_{nop} + t_{zp} = (l_1 \cdot t_1^n + l_2 \cdot t_2^n + l_3 \cdot t_3^n) + (l_1 \cdot t_1^2 + l_2 \cdot t_2^2 + l_3 \cdot t_3^2) = l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3, \quad (6)$$

где t_1, t_2, t_3 – время хода 1 км пути в обоих направлениях по дорогам различных категорий, мин.

Выражение (1) для определения сменной производительности погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов с учётом (2) – (6) примет вид

$$P_{см}^{зв} = \frac{(T - t_{nз}) \cdot K_{\epsilon} \cdot (Q_{нол1} + N_2 \cdot Q_{нол2})}{\left(l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3 + n_{ш} \cdot (t_c + t_{mp} + t_{mm}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2_i} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot g_{ш}} + 2 \cdot (N_2 - 1) \cdot t_{cm} + T_{n1} + t_{yв} + t'_c + t_{mp} + T_{\epsilon1} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{\epsilon2_i} + t_{mm} \right)}. \quad (7)$$

Полученная математическая модель позволяет выполнять расчеты при различных параметрах погружаемых лесоматериалов и различных соотношениях автопоездов с гидроманипуляторами и без них, учитывает состав операций, входящих в структуру подготовительно-заключительных работ.

При моделировании совместной работы лесовозных автопоездов пребывание их непосредственно под загрузкой или разгрузкой рассматривается как процесс формирования или разобшения пачки лесоматериалов за несколько рабочих циклов, совершаемых гидроманипулятором (рис. 2). То есть продолжительность простоя автопоезда непосредственно под погрузкой T_n или разгрузкой T_{ϵ} , без учёта дополнительного времени, затрачиваемого на перемещение автопоезда при смене рабочих позиций, определяется выражениями

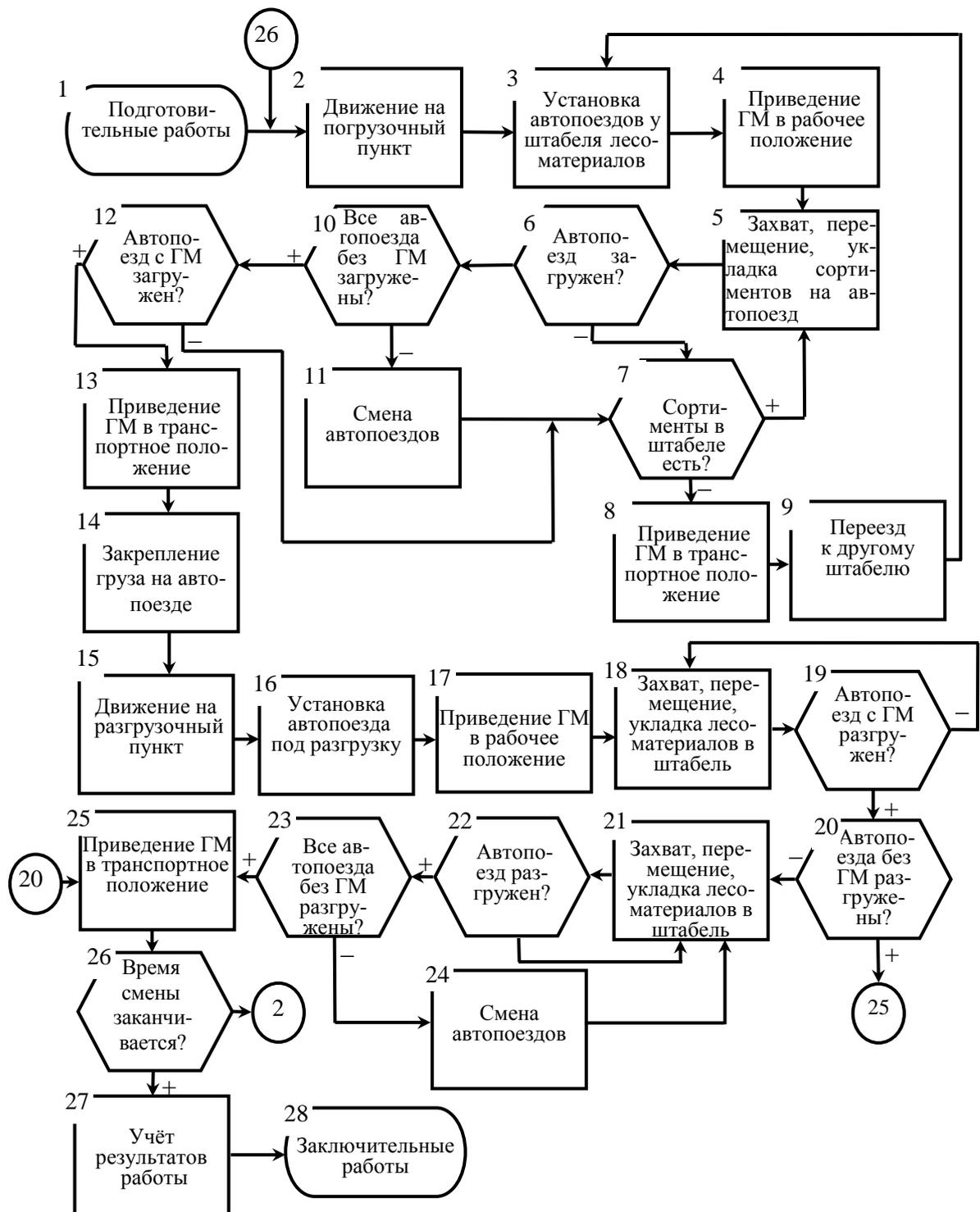


Рис. 1. Схема функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе звена

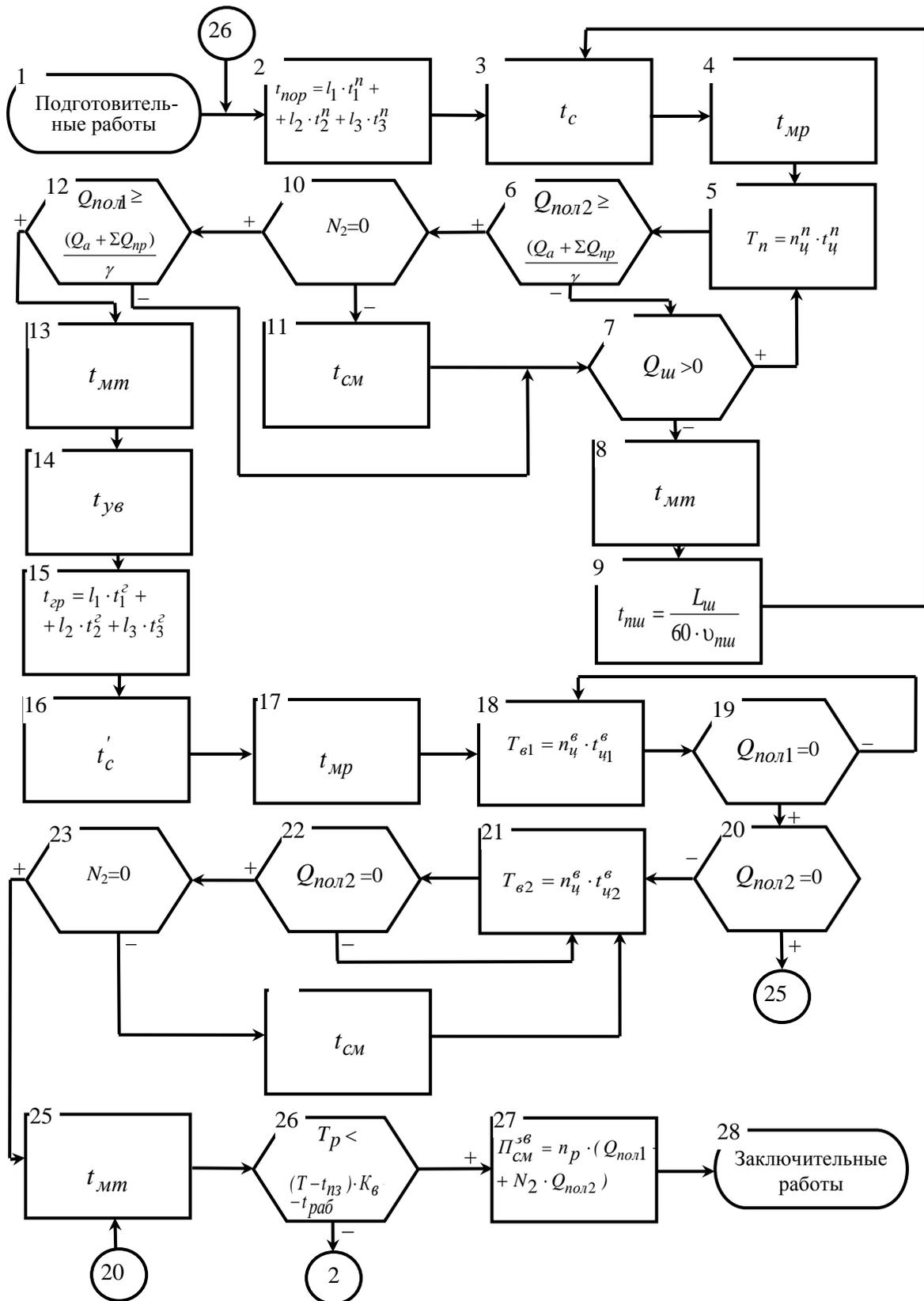


Рис. 2. Схема математической модели работы автопоезда с гидроманипулятором в составе звена

$$T_n = \sum_{i=1}^{n_{\text{ц}}} t_{\text{ц}i}^n, \quad (8)$$

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{ц}}} t_{\text{ц}i}^{\text{в}}. \quad (9)$$

При этом пачки груза на транспортной единице различаются числом сортиментов, из которых они сформированы. В зависимости от того, с крупными или мелкими лесоматериалами осуществляется работа оператора, число сортиментов, захватываемых манипулятором за рабочий цикл, также различно.

Для определения продолжительности погрузочно-разгрузочных работ необходимо: 1) знать характеристики предмета труда (диаметр, длину, средний объем одного сортимента); 2) определить число сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора за один рабочий цикл; 3) определить число рабочих циклов, совершаемых манипулятором при загрузке или разгрузке автопоезда.

Схема алгоритма расчёта приведена на рис. 3.

Число рабочих циклов, совершаемых манипулятором, определяется полезной рейсовой нагрузкой автопоезда и числом сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора за один рабочий цикл.

На первом этапе по средним таксационным параметрам сортиментов: среднему диаметру, объему осуществляется моделирование числа сортиментов, захватываемых грейфером гидроманипулятора за один рабочий цикл.

Далее по смоделированным значениям и исходным данным определяется объем пачки груза, погруженной за рабочий цикл Q_i

$$Q_i = n_{ci} \cdot V_c, \quad (10)$$

где n_{ci} – количество сортиментов в i -ой пачке груза;
 V_c – средний объем сортимента, м³.

При решении задачи учитываются ограничения:

- объем захватываемой группы сортиментов не превышает грузоподъемности манипулятора при заданном вылете стрелы

$$Q_i \leq Q_{\text{зм}}, \quad (11)$$

где $Q_{\text{зм}}$ – грузоподъемность манипулятора на заданном вылете стрелы, м³;

- объем сформированной пачки груза не должен превышать полезную рейсовую нагрузку автопоезда

$$\sum_{i=1}^{n_{\text{ц}}} Q_i \leq Q_{\text{пол}}. \quad (12)$$

Для определения продолжительности рабочего цикла навесного гидроманипулятора используются зависимости, полученные экспериментальным путём при проведении наблюдений за работой автопоездов с гидроманипуляторами на действующих лесозаготовительных предприятиях Республики Марий Эл [1, 2],

$$t_{\text{ц}} = f(n_{ci}, h_{\text{ш}}, l_n), \quad (13)$$

где $h_{\text{ш}}$ – высота штабеля лесоматериалов, м;

l_n – расстояние перемещения груза в горизонтальной плоскости, м.

Продолжительность загрузки и разгрузки автопоезда является результатом сложения значений времени всех рабочих циклов манипулятора, в течение которых формируется или разобщается пачка груза.

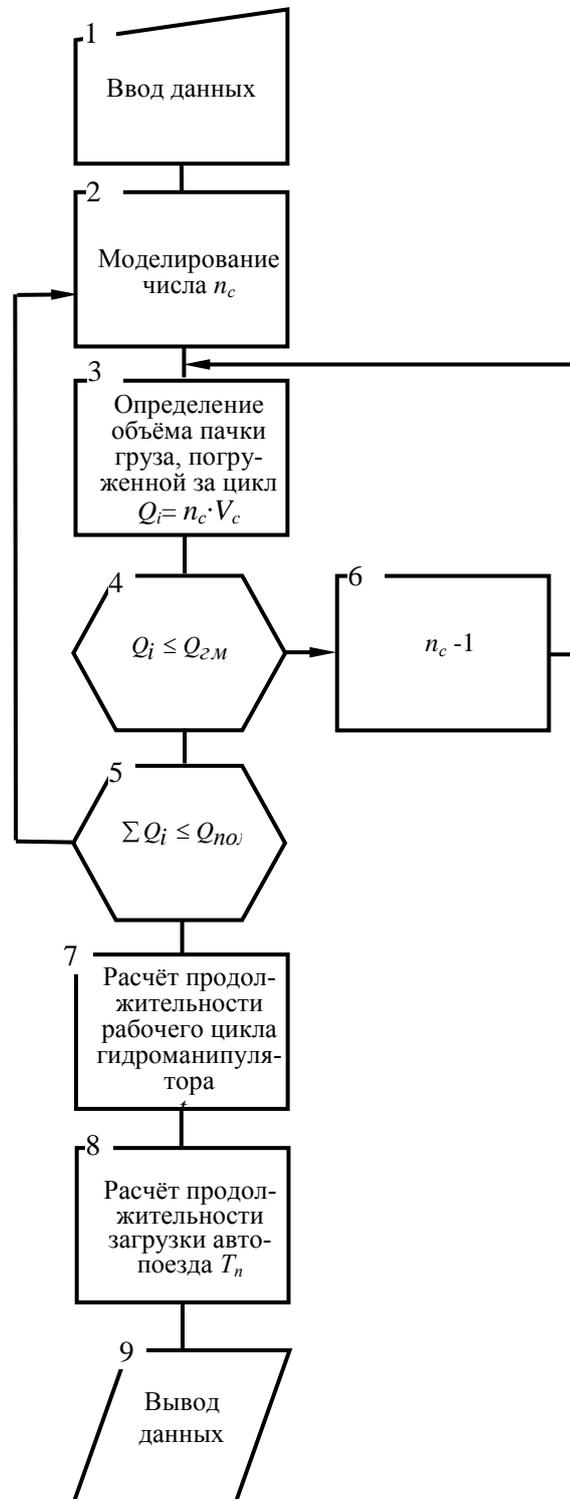


Рис. 3. Схема алгоритма расчёта продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором

В основу моделирования числа сортиментов, захватываемых грейфером манипулятора, положен математический аппарат метода Монте-Карло [3]. Применение данного метода требует знания закона распределения моделируемой случайной величины, для установления которого проведены экспериментальные наблюдения за 2218 циклами погрузки и выгрузки. По результатам обработки опытных данных получена таблица статистического распределения дискретной случайной величины, которая используется при моделировании числа сортиментов, захватываемых грейфером гидроманипулятора за один рабочий цикл [4].

Интерпретация результатов. В соответствии с методикой разработаны алгоритм и программа расчёта продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором в среде программирования Delphi 7 [5]. Результаты расчета на ЭВМ в зависимости от расстояний перемещения груза, диаметра сортиментов, полезной рейсовой нагрузки автопоезда отражены на графиках, характеризующих влияние указанных факторов на величину продолжительности погрузочно-разгрузочных работ.

На рис. 4 и 5 представлены графики зависимостей продолжительности загрузки и разгрузки автопоезда от расстояния перемещения груза.

Рассматривались две составляющие: расстояние перемещения груза в горизонтальной плоскости l_n (рис. 4.) и расстояние перемещения груза в вертикальной плоскости, определяемое высотой штабеля лесоматериалов (рис. 5). В качестве исходной схемы автопоезда принята Урал-43202 + ТМЗ-802 + СФ-65С с полезной рейсовой нагрузкой $Q_{пол1} = 11,2 \text{ м}^3$. Для построения графиков диапазоны изменения факторов l_n и $h_{ш}$ приняты по грузовысотной характеристике гидроманипулятора.

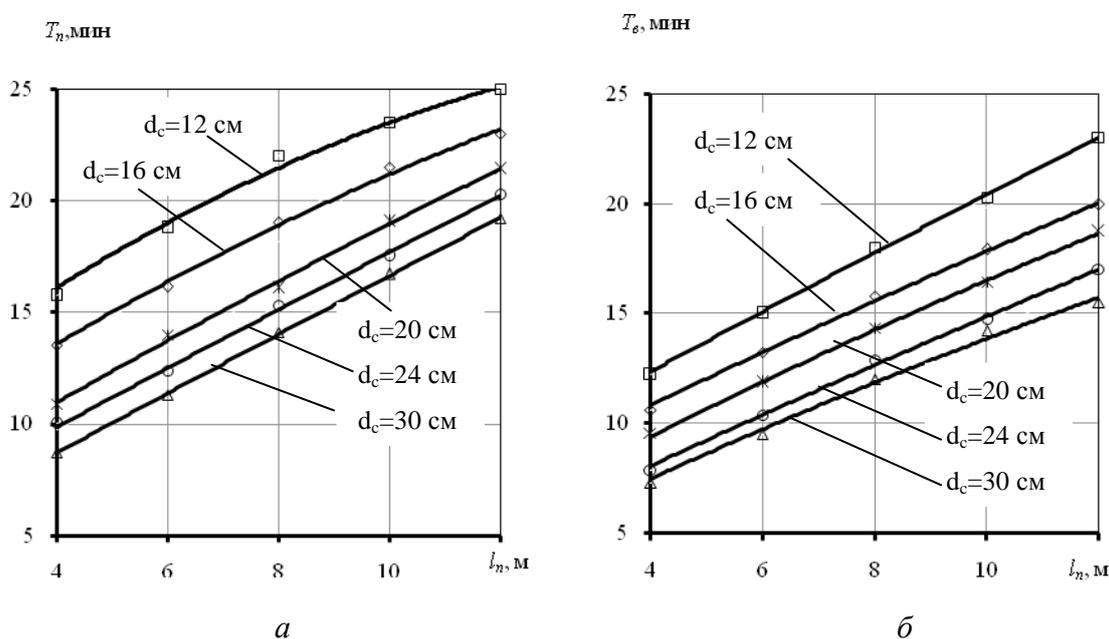


Рис. 4. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от расстояния перемещения груза l_n : а – погрузка; б – выгрузка

Согласно данным рис. 4 и 5, наиболее значимой является горизонтальная составляющая перемещения груза. С увеличением горизонтальной составляющей расстояния перемещения груза на 1 м при погрузке сортиментов продолжительность работ увеличивается в среднем на 11,5 %, при выгрузке – на 11,4 %.

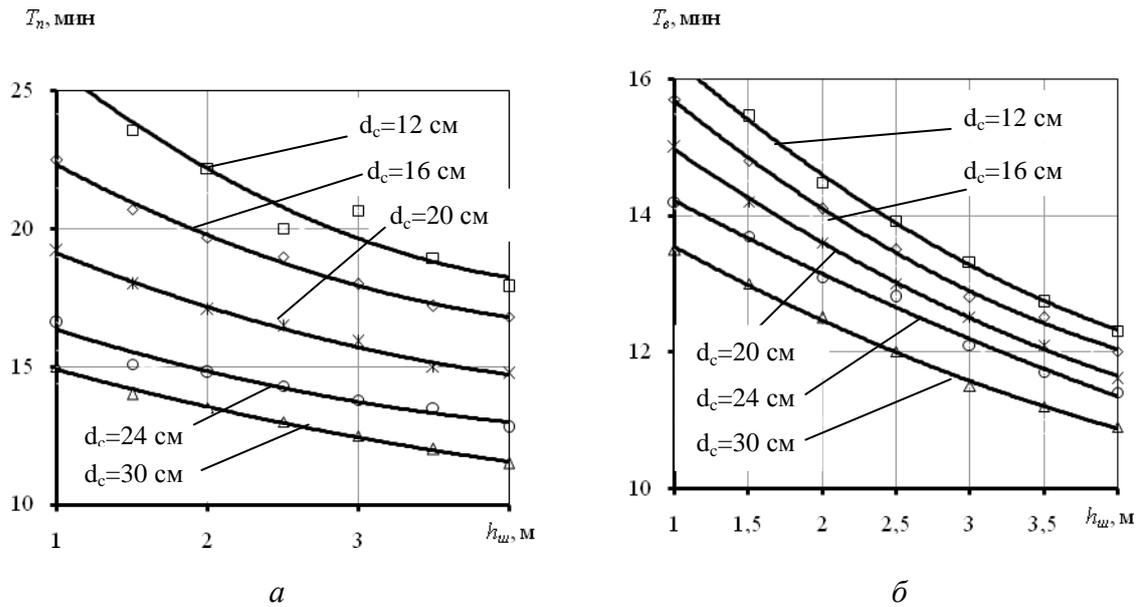


Рис. 5. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от высоты штабеля лесоматериалов: а – погрузка; б – выгрузка

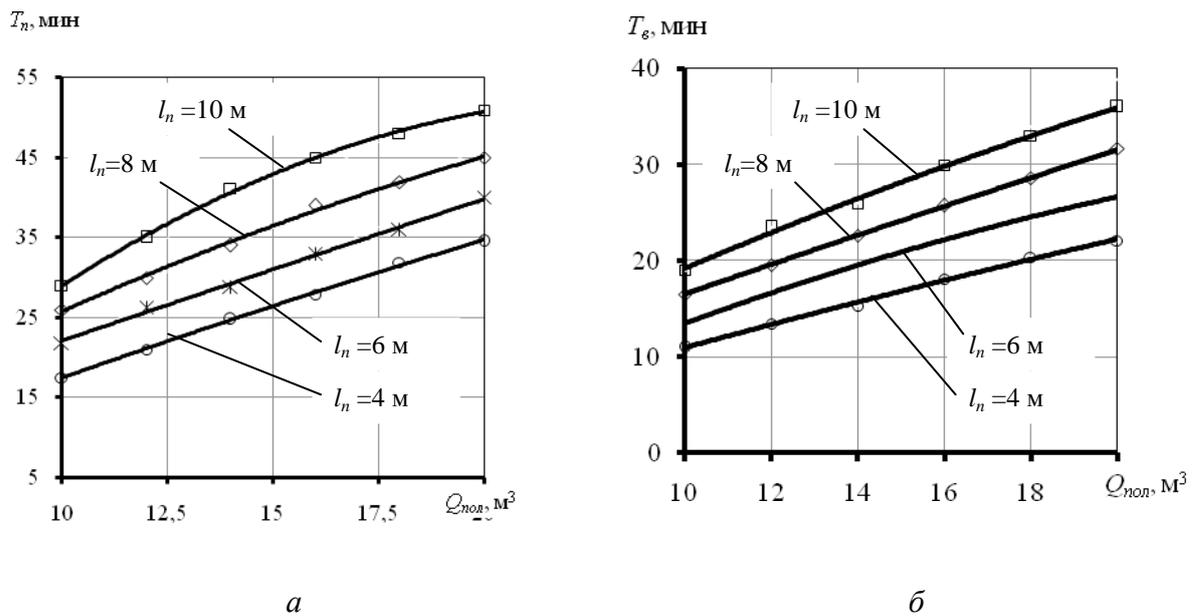


Рис. 6. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от полезной рейсовой нагрузки автопоезда: а – погрузка; б – выгрузка

С уменьшением высоты штабеля сортиментов продолжительность погрузки и разгрузки автопоезда также увеличивается (рис. 5). Влияние вертикальной составляющей менее значимо вследствие меньшего размаха значений. Так, при изменении высоты штабеля на 1 м продолжительность погрузки изменяется в среднем на 9,3 %, выгрузки – на 9,4 %.

На продолжительность простоев звена под погрузкой и разгрузкой оказывает влияние величина полезной рейсовой нагрузки автопоездов (рис. 6).

Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от диаметра сортиментов приведена на рис. 7.

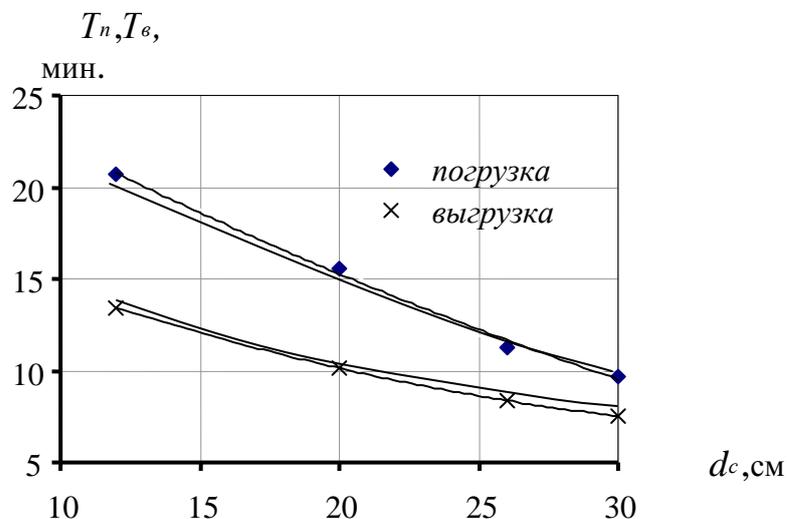


Рис. 7. Зависимость продолжительности погрузочно-разгрузочных работ от диаметра лесоматериалов:

—◆— ×— экспериментальные данные; — по регрессионной зависимости

При построении графика (рис. 7) расчёты выполнены для среднего расстояния перемещения груза $l_n = 4,9$ м и высоты штабеля лесоматериалов $h_{шт} = 2$ м.

С увеличением диаметра сортиментов продолжительность их погрузки и выгрузки уменьшается. На рис. 7 также представлены результаты, полученные путем натуральных наблюдений на ООО «Марлеспром», и смоделированные значения.

Результаты сравнения смоделированных значений показали достаточную сходимость их с экспериментальными данными. Расхождение между данными натуральных наблюдений и смоделированными значениями составляет от 0,3–8,1 %.

Выводы. Предлагаемые формулы продолжительности пребывания автопоездов в пунктах погрузки и разгрузки, сменной производительности погрузочно-транспортного звена, полученные на основе схем алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе погрузочно-транспортного звена и математической модели его работы, позволяют выполнять расчёты при различных параметрах предмета труда и природно-производственных условий. Разработанные математические модели, алгоритм и компьютерная программа для расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ служат хорошим инструментом для исследования влияния различных факторов на величину простоя автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов. Это позволит предприятиям лесной отрасли, опираясь на полученные результаты, упростить разработку нормативов продолжительности выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Список литературы

1. Бакулина, И. Р. Регрессионные зависимости продолжительности рабочего цикла навесного гидроманипулятора / И. Р. Бакулина; Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 2008. – 13 с. – Деп. в ВНИИ-ТИ 26.02.08, № 160-В2008.

2. Смирнов, М. Ю. Результаты экспериментальных исследований продолжительности погрузки и выгрузки лесоматериалов навесными гидроманипуляторами / М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина // Лесной вестник. – 2008. – № 4. – С.43–47.
3. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М.: Наука, 1985.–78 с.
4. Бакулина, И. Р. Совершенствование процесса транспортировки лесоматериалов на базе самозагружающихся автопоездов: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.21.01 / И. Р. Бакулина.– Йошкар-Ола, 2008. – 19 с.
5. Бакулина, И. Р. Расчёт продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором / И. Р. Бакулина, М. Ю. Смирнов // Свидетельство № 9400; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 01.11.2007.

Статья поступила в редакцию 05.02.09.

M. Yu. Smirnov, I. R. Buckoulina

MODELING OF WORK OF A LOADING-TRANSPORTATION UNIT OF A LOG TRUCK

Information-logic and mathematic model of joint functioning of log trucks with a hydraulic manipulator and without it is given. The methodology of calculating the duration of loading-unloading works with an attached hydraulic manipulator is suggested.

Key words: *log truck, hydraulic manipulator, loading, timber logging, unloading, mathematic model.*

СМИРНОВ Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – транспорт лесоматериалов и эксплуатация лесовозных дорог. Автор 142 публикаций.

БАКУЛИНА Ирина Рифатовна – ассистент кафедры начертательной геометрии и графики МарГТУ. Область научных интересов – транспорт лесоматериалов. Автор 13 публикаций.