

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ЛЕСНОГО ДЕЛА

УДК 630*375.5

М. Ю. Смирнов, И. Р. Бакулина

АНАЛИЗ ГРАНИЦ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОГРУЗКИ, ВЫВОЗКИ И ВЫГРУЗКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ЗВЕНЬЯМИ АВТОПОЕЗДОВ

Составлен алгоритм функционирования автопоездов в составе звена. Разработана методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором. Разработаны методика, алгоритм и программа расчета показателей экономической эффективности эксплуатации лесовозных автопоездов-сортиментовозов в составе звена, определены границы эффективной работы звеньев автопоездов.

Ключевые слова: автопоезд, звено, сортименты, навесной гидроманипулятор, погрузка, вывозка, экономическая эффективность.

Введение. В последние годы произошел значительный рост количества автопоездов с навесными гидроманипуляторами. В зависимости от производственных условий, количественного соотношения транспортных средств и погрузочных механизмов вывозка лесоматериалов на предприятиях лесной отрасли осуществляется в настоящее время по двум основным организационным формам работы: индивидуальной и звеньевой. Основной задачей при разработке проектов организации вывозки лесоматериалов является обоснование оптимального соотношения количества лесовозных автопоездов и навесных гидроманипуляторов в погрузочно-транспортном звене. Для решения данной проблемы разработана экономико-математическая модель оптимизации погрузочно-транспортного звена и создана компьютерная программа, реализующая эту модель.

Цель работы: определить границы экономически эффективного применения автопоездов с навесными гидроманипуляторами в составе погрузочно-транспортного звена.

Решаемые задачи:

- разработка методики определения границ эффективного применения погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов;
- реализация методики и алгоритма в виде программы в среде Delphi.

Для решения задач были составлены алгоритмы функционирования автопоездов с гидроманипуляторами в составе звена и математическая модель их работы, разработана

методика расчета продолжительности погрузочно-разгрузочных работ [1], на которые получены свидетельства о регистрации разработок в отраслевом фонде алгоритмов и программ [2, 3].

Обоснование оптимального соотношения количества лесовозных автопоездов и навесных гидроманипуляторов в погрузочно-транспортном звене сводится к отысканию таких значений исследуемых параметров, которые обеспечивают минимум критерия оптимизации. В качестве критерия оптимизации при решении данной задачи приняты удельные эксплуатационные затраты.

При расчете удельных эксплуатационных затрат определяются: основная и дополнительная заработная плата производственных рабочих; отчисления на социальные нужды; расходы на содержание и эксплуатацию техники (заработная плата вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала; отчисления на социальные нужды; амортизационные отчисления; затраты на текущий ремонт; затраты на топливо и смазочные материалы; прочие производственные расходы).

Программа расчета показателей экономической эффективности эксплуатации автопоездов-сортиментовозов предназначена для: автоматизации расчётов по выбору возможных вариантов соотношения автопоездов с гидроманипулятором и автопоездов, не оснащенных навесными гидроманипуляторами, в заданных природно-производственных условиях; оптимизации числа лесовозных автопоездов в погрузочно-транспортном звене; определения производительности и простоев звена лесовозных автопоездов; границ эффективного применения звеньев автопоездов.

Разработанная программа позволяет: вычислить предельное число автопоездов без гидроманипулятора, которые в течение смены будут обслуживаться одним автопоездом с гидроманипулятором; производить поиск возможных вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена по заданным исходным данным о параметрах сортиментов и подвижном составе; определять продолжительность пребывания автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов и производительность погрузочно-транспортного звена; вычислять себестоимость вывозки 1 м³ лесоматериалов.

На первом этапе производится формирование возможных вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена.

Формирование вариантов комплектования погрузочно-транспортного звена начинается с определения предельного числа автопоездов без погрузочного механизма, которые в течение смены могут быть обслужены одним автопоездом с навесным гидроманипулятором [1]. Предельное число обслуживаемых автопоездов для одного автопоезда с гидроманипулятором находится из условия

$$P_{см} \geq (Q_{пол1} + N_2^{max} \cdot Q_{пол2}), \quad (1)$$

где $P_{см}$ – сменная производительность звена автопоездов;

N_2^{max} – предельное число автопоездов без гидроманипулятора в погрузочно-транспортном звене;

$Q_{пол1}$ и $Q_{пол2}$ – рейсовые нагрузки автопоездов с навесным гидроманипулятором и без гидроманипулятора.

В течение рабочей смены все автопоезда звена должны успеть выполнить не менее одного рейса

$$n_p = \frac{(T - t_{нз}) \cdot K_6}{T_p} \geq 1, \quad (2)$$

где T – продолжительность рабочей смены, мин.;

$t_{нз}$ – подготовительно-заключительное время, мин.;

K_8 – коэффициент использования рабочего времени;

T_p – продолжительность рейса, мин.

Продолжительность рейса определяется по выражению

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

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

Суммарное время движения автопоездов в порожнем и грузовом направлениях находится по формуле

$$t_{nop} + t_{ep} = (l_1 \cdot t_1^n + l_2 \cdot t_2^n + l_3 \cdot t_3^n) + (l_1 \cdot t_1^c + l_2 \cdot t_2^c + l_3 \cdot t_3^c) = l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3, \quad (4)$$

где l_1, l_2, l_3 – расстояния перемещения груза по дорогам различных категорий, км;

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

Общее время простоев подвижного состава на погрузочном и разгрузочном пунктах за один рейс состоит из следующих элементов: подготовительные работы, выполнение погрузочных или 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 [4–7].

При разработке алгоритма функционирования автопоезда с гидроманипулятором в составе погрузочно-транспортного звена учтено, что загрузка лесовозного автопоезда может осуществляться с нескольких рабочих позиций:

$$T_1 = n_{ш} \cdot (t_c + t_{mp} + t_{mt}) + \sum_{i=1}^{N_2} T_{n2i} + (n_{ш} - 1) \cdot \frac{l_{ш}}{60 \cdot v_{ш}} + (N_2 - 1) \cdot t_{см} + T_{n1} + t_{ув}, \quad (5)$$

$$T_2 = t'_c + t_{mp} + T_{e1} + (N_2 - 1) \cdot t_{см} + \sum_{i=1}^{N_2} T_{e2i} + t_{mt}, \quad (6)$$

где $n_{ш}$ – число штабелей сортиментов, из которых загружается звено автопоездов;

$t_{ш}$ – продолжительность переезда автопоезда между штабелями, мин.;

$l_{ш}$ – расстояние между штабелями, м;

$v_{ш}$ – скорость движения автопоезда между штабелями, м/с;

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_{n1}, T_{n2} – продолжительность загрузки автопоезда с манипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.;

T_{e1}, T_{e2} – продолжительность разгрузки автопоезда с манипулятором и автопоезда без манипулятора соответственно, мин.;

$t_{см}$ – время на смену автопоездов, мин.;

$t_{ув}$ – продолжительность увязки веза, мин.

Из неравенства (1) с учётом выражений (3 – 6) получим формулу определения максимально возможного числа автопоездов без гидроманипулятора в составе звена

$$N_2^{\max} \leq \frac{\left((T - t_{nz}) \cdot K_{\varepsilon} - (l_1 \cdot t_1 + l_2 \cdot t_2 + l_3 \cdot t_3 + \right. \\ \left. + n_{uu} \cdot (t_c + t_{mp} + t_{mT}) + (n_{uu} - 1) \cdot \frac{l_{uu}}{60 \cdot \mathfrak{G}_{nu}} + \right. \\ \left. + t_{y\theta} + t'_c + t_{mp} + t_{mm} + T_{n1} + T_{\varepsilon1} - 2 \cdot t_{cm} \right)}{2 \cdot t_{cm} + T_{n2} + T_{\varepsilon2}} \quad (7)$$

Вычисленное значение N_2^{\max} следует округлить до целого в меньшую сторону.

Соотношение числа автопоездов с гидроманипулятором и без него в звене может варьироваться в пределах $1:0 \leq 1: N_2 \leq 1: N_2^{\max}$. При $N_2 = 0$ все автопоезда оборудованы гидроманипулятором. В варианте 1:1 каждый второй автопоезд оборудован гидроманипулятором. Другие варианты предполагают увеличение числа обслуживаемых автопоездов одним автопоездом с гидроманипулятором до предельного значения N_2^{\max} . Другая комбинация автопоездов в звене – 2:1, предусматривает совместную работу двух автопоездов с гидроманипулятором и одного без него.

В зависимости от эксплуатационных условий предельное число N_2^{\max} обслуживаемых автопоездов в звене для одного автопоезда с гидроманипулятором может достигать 10. Работа такого звена нецелесообразна, потому что большую часть рабочего времени автопоезда будут простаивать в ожидании на погрузочном и разгрузочном пунктах. Зная предельное значение N_2^{\max} , количество сравниваемых вариантов следует ограничивать, исходя из наличия автопоездов на предприятии, сменного объёма работ, допустимого уровня простоев автопоездов.

Общая продолжительность работы лесовозных автопоездов в течение смены складывается из времени пребывания на погрузочно-разгрузочных пунктах и времени движения с грузом и без

$$T_{\text{общ}} = T_{n-\varepsilon} + T_{\text{пер}}, \quad (8)$$

где $T_{\text{общ}}$ – общее время работы автопоезда в течение смены, мин;

$T_{n-\varepsilon}$ – продолжительность пребывания автопоезда в пунктах погрузки и выгрузки, мин;

$T_{\text{пер}}$ – время движения автопоезда, мин.

При увеличении числа автопоездов без гидроманипулятора в звене продолжительность простоев в пунктах погрузки-выгрузки и продолжительность рейса будут возрастать. Удельное время движения автопоезда в течение смены уменьшится. Графически это показано на рис. 1.

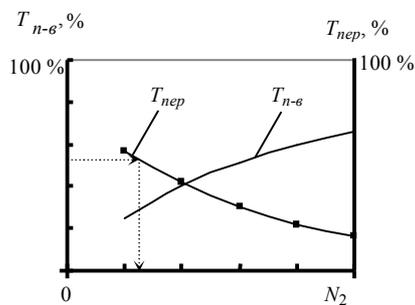


Рис. 1. Зависимость $T_{n-\varepsilon}$ и $T_{\text{пер}}$ от числа обслуживаемых автопоездов N_2 в звене

Для определения допустимого значения числа обслуживаемых автопоездов в звене следует задаться требуемым уровнем их простоев. Отложив на оси ординат значение уровня простоев, проведем линию параллельно оси абсцисс до пересечения с одноименной кривой, а затем опустим перпендикуляр на ось абсцисс. Полученное значение N_2 определяет предел, после которого нецелесообразно дальнейшее укрупнение звена с точки зрения требуемого уровня простоев.

Количество сравниваемых вариантов дополнительно может быть ограничено сменным объёмом работы. Для этого заданный сменный объём работы необходимо приравнять к правой части неравенства (1)

$$Q_{см} = Q_{пол 1} + N_2 \cdot Q_{пол 2}, \quad (9)$$

где $Q_{см}$ – сменный объем работы, м³.

Из выражения (9) находим предельное число автопоездов для вывозки заданного объема груза

$$N_2 = \frac{Q_{см} - Q_{пол 1}}{Q_{пол 2}}. \quad (10)$$

По полученному значению $N_2 < N_2^{max}$ уточняется число сравниваемых вариантов формирования погрузочно-транспортного звена.

Для определения продолжительности погрузочно-разгрузочных работ T_{n1} , T_{n2} , T_{e1} , T_{e2} разработаны методика, алгоритм и программа расчета [3], позволяющие по исходным данным о параметрах сортиментов и подвижном составе осуществлять расчет: продолжительности одного цикла погрузки и выгрузки сортиментов; количества рабочих циклов гидроманипулятора, затрачиваемых на загрузку или разгрузку автопоезда; продолжительность пребывания автопоездов в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов с учетом времени подготовительно-заключительных операций.

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. Число рабочих циклов гидроманипулятора при формировании пачки груза или разгрузке автопоезда определяется полезной рейсовой нагрузкой автопоезда и числом сортиментов, захватываемых грейфером за один рабочий цикл.

На первом этапе по средним таксационным параметрам сортиментов (диаметру, объему) на основе математического аппарата метода Монте-Карло осуществляется моделирование числа сортиментов, захватываемых грейфером за один цикл погрузки или выгрузки. По смоделированным значениям и исходным данным определяется объем пачки груза, погруженной за рабочий цикл Q_1

$$Q_1 = n_{ci} \cdot V_c, \quad (11)$$

где n_{ci} – количество сортиментов в i -й пачке груза;

V_c – средний объем сортимента, м³.

При решении задачи учитываются ограничения:

- объем захватываемой группы сортиментов не должен превышать грузоподъемность манипулятора при заданном вылете стрелы

$$Q_1 \leq Q_{зм}, \quad (12)$$

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

- объем сформированной пачки груза не должен превышать величину полезной рейсовой нагрузки автопоезда

$$\sum_{i=1}^{n_y} Q_i \leq Q_{пол}. \quad (13)$$

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:

$$t_u = f(n_{ci}, h_{uw}, l_n). \quad (14)$$

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

На стадии вариантного проектирования состава погрузочно-транспортного звена не учитываются затраты на погрузку, вывозку и выгрузку лесоматериалов, поэтому наиболее эффективный вариант из нескольких сравниваемых выбирают по критерию экономической эффективности. В качестве основного экономического критерия рекомендуется принимать удельные эксплуатационные затраты. Целевая функция критерия оптимизации имеет вид

$$C_{уд}^э = \frac{(C_1 \cdot N_1 + C_2 \cdot N_2) \cdot N_{зв}}{Q_{год}} \rightarrow \min, \quad (15)$$

где C_1 , C_2 – эксплуатационные затраты автопоезда с навесным гидроманипулятором и автопоезда без манипулятора, соответственно;

$N_{зв}$ – число погрузочно-транспортных звеньев, необходимых для вывозки заданного объёма лесоматериалов;

$Q_{год}$ – годовой объём вывозки лесоматериалов, м³.

Подробная методика оценки эффективности применения погрузочно-транспортных звеньев автопоездов и исходные данные для их комплектования приведены в монографии [1].

Рассмотрим три случая формирования состава вариантов звеньев автопоездов:

1 – в погрузочно-транспортном звене все автопоезда состоят из автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802;

2 – все автопоезда в звене скомплектованы на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571;

3 – автопоезда с гидроманипулятором состоят из автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802, автопоезда без гидроманипулятора – из автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571.

График определения предельного числа обслуживаемых автопоездов в звене с одним автопоездом с гидроманипулятором приведен на рис. 2. Из графика видно, что при формировании погрузочно-транспортного звена из автопоездов Урал-4320 +ТМЗ-802 один автопоезд с гидроманипулятором при среднем расстоянии вывозки 10 км сможет обслужить не более семи автопоездов без гидроманипулятора. Объединение их в одно звено нецелесообразно, поскольку обслуживаемые автопоезда без гидроманипулятора значительное время будут простаивать в ожидании погрузки или разгрузки. Для второго и третьего случаев предельное число автопоездов без гидроманипулятора в составе звена не должно превышать четырёх.

При дальнейшем увеличении расстояния вывозки число автопоездов, обслуживаемых одним автопоездом с гидроманипулятором, уменьшается.

При расстояниях вывозки свыше 80 км возможна только индивидуальная работа автопоездов с гидроманипуляторами.

Для каждого случая определена продолжительность простоев обслуживаемого автопоезда в ожидании погрузки и разгрузки, которые могут возникнуть из-за разницы рейсовых нагрузок автопоездов. Расчёт показал, что наименьшие простои в ожидании обслуживания у автопоезда, не имеющего погрузочного механизма, будут в случае, когда автопоезда с манипулятором сформированы на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом-ропуском ТМЗ-802, а автопоезд без гидроманипулятора – на базе автомобиля Урал-4320 с прицепом СЗАП-83571.

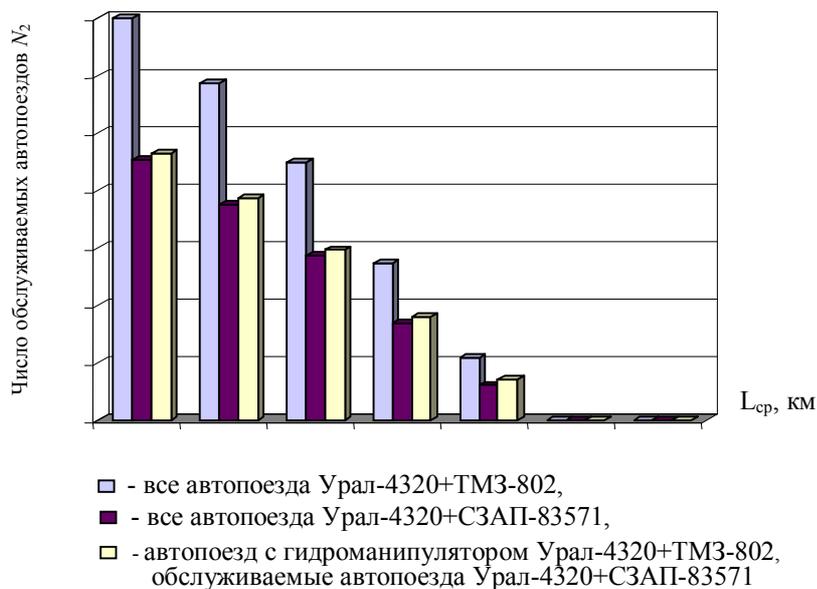


Рис. 2. Предельное число обслуживаемых автопоездов в звене

Таким образом, в качестве сравниваемых приняты варианты:

№1 – гидроманипулятором оснащается каждый автопоезд (Урал-4320+ТМЗ-802+ОМТЛ-70-02 или Урал-4320+СЗАП-83571+ОМТЛ-70-02);

№2 – гидроманипулятором оснащаются два автопоезда из трёх;

№3 – гидроманипулятор устанавливается на каждом втором автопоезде;

№4 – гидроманипулятор устанавливается на каждом третьем автопоезде;

№5 – гидроманипулятор устанавливается на каждом четвёртом автопоезде.

Расчёты выполнены для расстояний вывозки лесоматериалов L_{cp} равных 20, 40 и 60 км. При $L_{cp} = 20$ км сравниваются все пять вариантов, при $L_{cp} = 40$ км и $L_{cp} = 60$ км сравниваются первые четыре варианта.

На рис. 3 приведены графики зависимости сменной производительности сравниваемых вариантов от среднего расстояния вывозки лесоматериалов при формировании погрузочно-транспортного звена из автопоездов Урал-4320 +ТМЗ-802.

Общая производительность звена возрастает с увеличением числа автопоездов в нём (рис. 3, а). В варианте №2 с увеличением расстояния вывозки лесоматериалов производительность уменьшается быстрее, чем в других вариантах. При расстояниях вывозки 10–40 км производительность этого погрузочно-транспортного звена наибольшая. С увеличением расстояния вывозки от 40 до 60 км наибольшая производительность у варианта №5. В варианте №2 работа автопоездов организована с меньшими простоями, что увеличивает производительность на 14,5–45,1 % по сравнению с вариантом №4. Наименьшая производительность в варианте №1, когда все автопоезда имеют навесные гидроманипуляторы.

При сравнении средневзвешенной производительности автопоездов в звене (рис. 3, б) картина меняется. Наибольшая производительность достигается у варианта №1 работы автопоездов, так как затраты времени на погрузочно-разгрузочные операции при этом наименьшие. За ним следует вариант №2. В варианте №2 рассматривается наиболее оптимальный способ работы автопоездов: один автопоезд с манипулятором производит погрузку, а другой – разгрузку автопоезда без погрузочного средства. Средневзвешенная производительность автопоездов этого варианта, по сравнению с вариантом №1, снижается на 3,3–14,0 % в зависимости от расстояния вывозки.

За ними следуют третий – пятый варианты работы, у которых средневзвешенная производительность существенно снижается. Так, у варианта №5 работы автопоездов производительность в среднем составляет 48,9–77,1 % от производительности варианта №1 в зависимости от среднего расстояния вывозки.

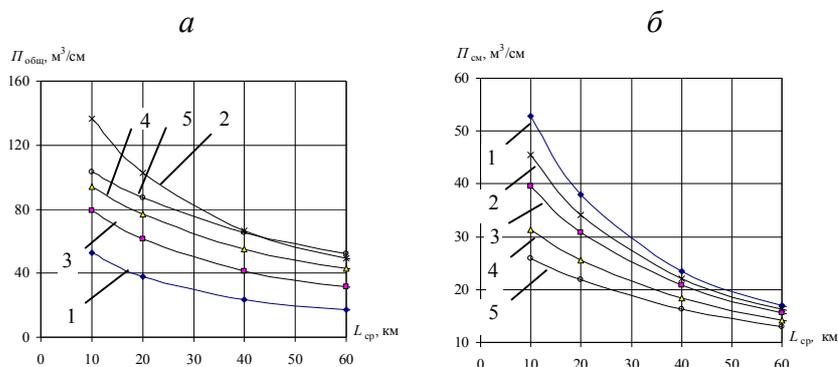


Рис. 3. Сменная производительность погрузочно-транспортного звена автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802:
а – общая, б – средневзвешенная; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты

Таким образом, с уменьшением доли автопоездов с навесными погрузочными устройствами средневзвешенная производительность лесотранспортных средств снижается. Изменение прицепного состава лесовозных автопоездов и, как следствие, их рейсовых нагрузок оказывает влияние на производительность погрузочно-транспортных звеньев.

Общая производительность звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320 + СЗАП-83571, выше, чем у звеньев, состоящих из автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802, на 11,0–29,1 % в зависимости от расстояния вывозки. Это объясняется увеличением рейсовых нагрузок автопоездов, входящих в состав звена. В случае, когда изменяется только состав автопоездов, не оснащённых навесными гидроманипуляторами, общая производительность звеньев увеличивается на 9,5–24,1 %.

У звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320+СЗАП-83571, наибольшая средневзвешенная производительность при расстояниях вывозки от 10 до 45 км наблюдается в варианте №1. При расстояниях 45–60 км наибольший показатель у варианта №2.

Если автопоезда с гидроманипулятором в звене – автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые – автомобиль + прицеп, наибольшее значение общей производительности при расстояниях вывозки от 10 до 35 км у варианта №2, при расстояниях вывозки 35–60 км – у варианта №5. Вариант №1 работы данного звена наиболее производителен при расстояниях вывозки 10–20 км, при дальнейшем увеличении расстояния вывозки он уступает вариантам №2–4.

Необходимое количество лесовозных автопоездов зависит от годового объема вывозки лесоматериалов, расстояния вывозки (на рис. 4 показано на примере погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802).

При расстоянии вывозки сортиментов 20 км в варианте №3 при одинаковом числе требуемых лесовозных автопоездов Урал-4320 + ТМЗ-802 удельные инвестиции ниже, чем в варианте №1 за счёт сокращения погрузочных механизмов.

При расстоянии вывозки 40 км удельный объем инвестиций в варианты №2–4 выше, чем в вариант №1. Это связано с увеличением требуемого количества лесовозных автопоездов. Например, по варианту №3 одно звено, состоящее из двух автопоездов, с

заданным объемом работ уже не справляется и при дальнейшем увеличении расстояния вывозки сортиментов требуется привлечение второго погрузочно-транспортного звена, что значительно увеличивает требуемое количество инвестиций.

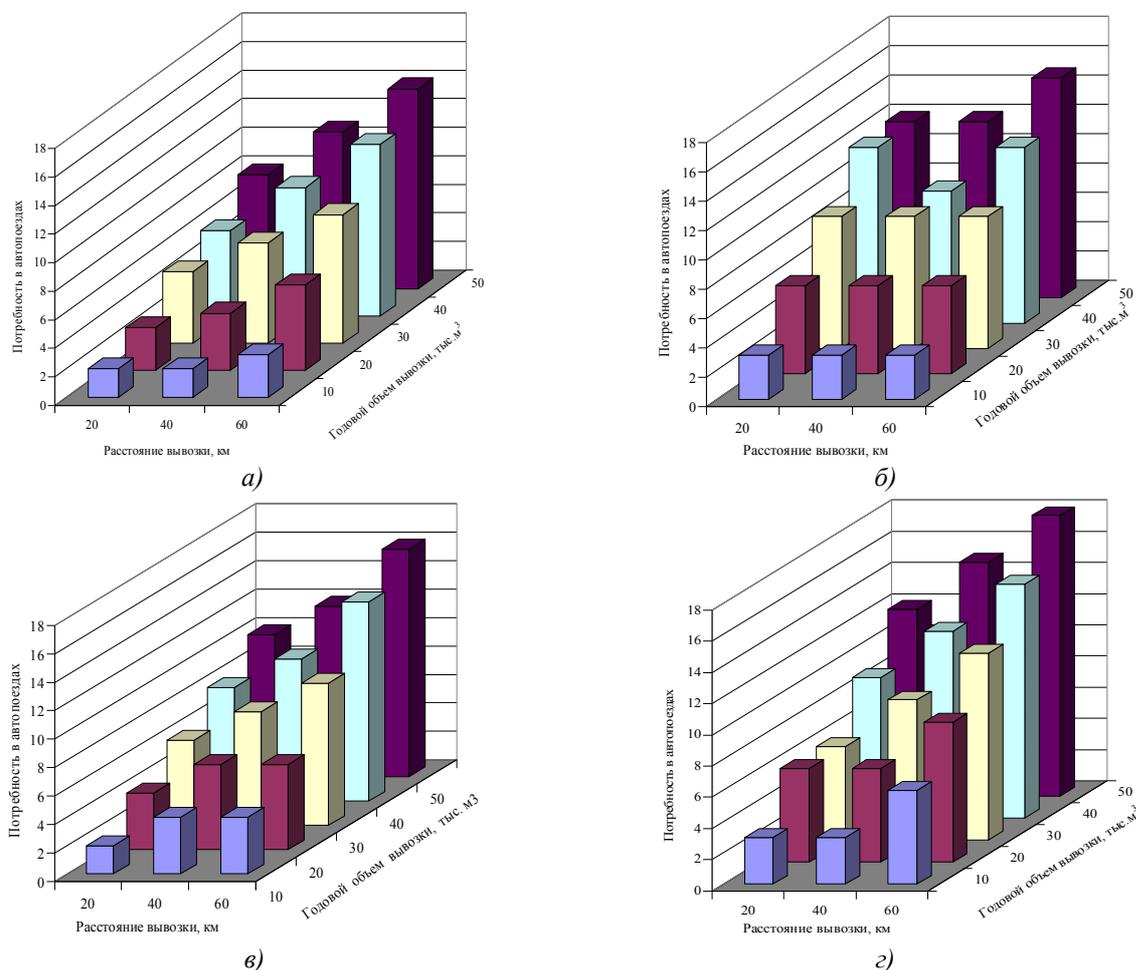


Рис. 4. Требуемое количество лесовозных автопоездов:
а – вариант №1; б – вариант №2; в – вариант №3; г – вариант №4

Аналогично, при расстоянии 60 км рост инвестиций для варианта №4 связан с привлечением второго погрузочно-транспортного звена.

С увеличением расстояния вывозки до 60 км наименьшие удельные инвестиции имеет вариант №2.

Изменение прицепного состава всех или только обслуживаемых автопоездов, входящих в состав звена, также влияет на объем инвестиций.

В табл. (с. 48) приведены удельные инвестиции в погрузочно-транспортные звенья при сравниваемых вариантах их комплектования и годовом объеме вывозки 10 тыс. м³.

Для случаев, когда все или часть автопоездов в погрузочно-транспортном звене – Урал-4320 + СЗАП-83571, при расстояниях вывозки 20–40 км наименьшие инвестиции требуются для варианта №3.

При одинаковом числе требуемых автопоездов в вариантах №1 и 3 снижение капитальных вложений происходит за счёт сокращения доли автопоездов с гидроманипулятором в звене. При расстоянии вывозки 60 км меньших капитальных вложений требует вариант №4. С увеличением объема вывозки лесоматериалов требуемый объем инвестиций значительно возрастает.

Результаты расчётов удельных эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку сортиментов по сравниваемым вариантам погрузочно-транспортных звеньев в зависимости от годового объёма вывозки лесоматериалов при расстояниях вывозки 20, 40 и 60 км представлены на графиках рис. 5.

Удельный объем инвестиций в погрузочно-транспортные звенья

Среднее расстояние вывозки, км	Сравниваемые варианты				
	№1	№2	№3	№4	№5
1. Автопоезда Урал-4320 + ТМЗ-802					
20	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{2}{256,12}$	$\frac{3}{359,79}$	$\frac{4}{465,22}$
40	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{4}{512,23}$	$\frac{3}{359,79}$	–
60	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{408,57}$	$\frac{4}{512,23}$	$\frac{6}{719,57}$	–
2. Автопоезда Урал-4320 + СЗАП-83571					
20	$\frac{2}{319,74}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{2}{270,96}$	$\frac{3}{382,05}$	$\frac{4}{495,90}$
40	$\frac{2}{319,74}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{2}{270,96}$	$\frac{3}{382,05}$	–
60	$\frac{3}{479,61}$	$\frac{3}{430,83}$	$\frac{4}{541,91}$	$\frac{3}{382,05}$	–
3. Автопоезд с гидроманипулятором Урал-4320 + ТМЗ-802 + ОМТЛ-70-02, автопоезда без гидроманипулятора Урал-4320 + СЗАП-83571					
20	$\frac{2}{304,90}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{2}{266,72}$	$\frac{3}{377,81}$	$\frac{4}{482,45}$
40	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{2}{266,72}$	$\frac{3}{377,81}$	–
60	$\frac{3}{457,35}$	$\frac{3}{422,35}$	$\frac{4}{533,44}$	$\frac{3}{377,81}$	–

Примечание: в числителе показано требуемое число автопоездов для вывозки заданного объёма сортиментов, в знаменателе – удельный объем инвестиций, р/м³.

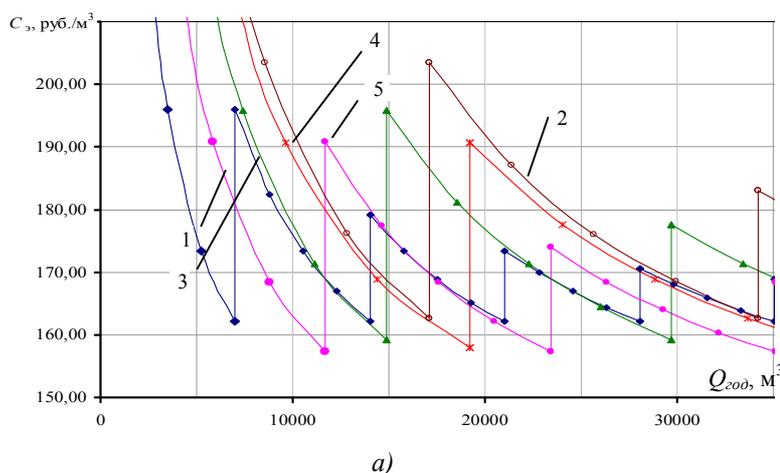
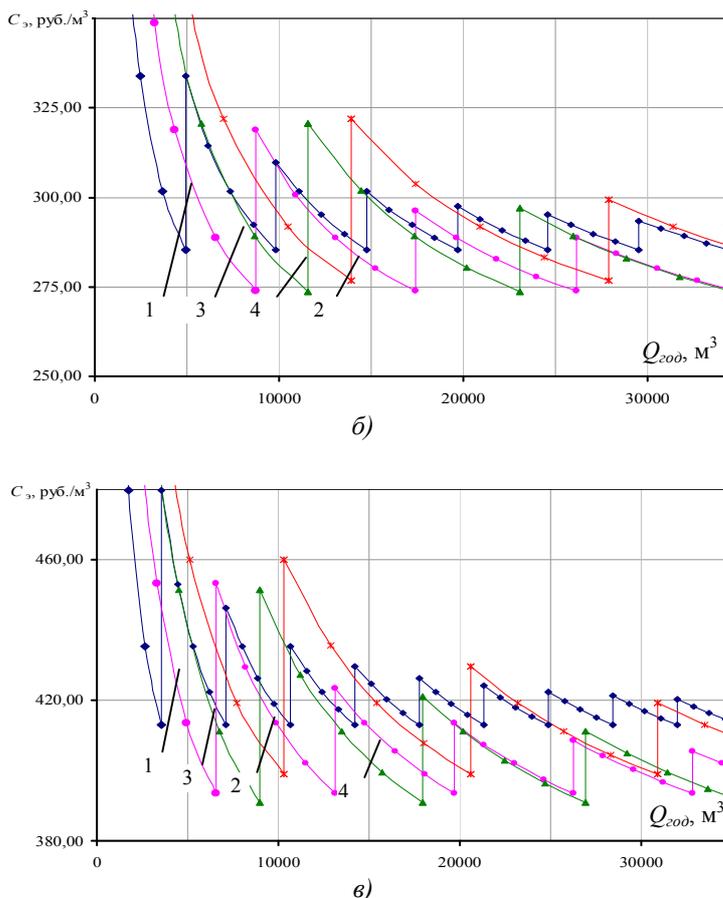


Рис. 5. Изменение эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку 1 м³ сортиментов погрузочно-транспортным звеном автопоездов Урал-4320+ТМЗ-802: а – $L_{ср} = 20$ км; б – $L_{ср} = 40$ км; в – $L_{ср} = 60$ км; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты



Окончание рис. 5. Изменение эксплуатационных затрат на погрузку, вывозку и выгрузку 1 м^3 сортиментов погрузочно-транспортным звеном автопоездов Урал-4320+ТМЗ-802:
 а – $L_{cp} = 20 \text{ км}$; б – $L_{cp} = 40 \text{ км}$; в – $L_{cp} = 60 \text{ км}$; 1, 2, 3, 4, 5 – сравниваемые варианты

Скачкообразный рост кривых объясняется наличием предельных объёмов вывозки лесоматериалов звеном автопоездов. Например, при $L_{cp} = 20 \text{ км}$ (рис. 5, а) для варианта №1 с увеличением объёма вывозки свыше 7,0 тыс. м^3 один автопоезд не справляется, необходимо применение второго автопоезда, что резко увеличивает эксплуатационные затраты.

Индивидуальная форма организации работы автопоездов с гидроманипулятором (вариант №1) для $L_{cp} = 20 \text{ км}$ эффективна при $Q_{год}$ не более 7 тыс. м^3 . При объёмах вывозки лесоматериалов 7–12 тыс. м^3 меньшие эксплуатационные затраты у варианта №3, свыше 12 тыс. м^3 – у вариантов №2, 4 и 5.

Изменения природно-производственных условий (состава автопоезда, расстояния вывозки и др.) приведут к смещению кривых и к изменению областей эффективной эксплуатации автопоездов с гидроманипулятором в составе звена.

Увеличение расстояния вывозки до 40 и 60 км приводит к уменьшению объёма вывозки сортиментов, выполняемого одним автопоездом с гидроманипулятором (вариант №1) или погрузочно-транспортным звеном.

При $L_{cp} = 40 \text{ км}$ вариант №1 имеет меньшие эксплуатационные затраты при $Q_{год}$ до 5 тыс. м^3 , при $L_{cp} = 60 \text{ км}$ индивидуальная работа автопоездов с гидроманипулятором эффективна для $Q_{год}$ до 3 тыс. м^3 . При больших объёмах вывозки сортиментов меньшие эксплуатационные затраты у вариантов №2–5.

У погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов Урал-4320+СЗАП-83571 вариант №1 также имеет меньшие удельные эксплуатационные затраты при небольших объемах вывозки сортиментов $Q_{год}$ от 2,5 до 7,5 тыс. м³ в зависимости от расстояния вывозки.

Выводы.

1. При малых годовых объемах вывозки сортиментов (до 7,0 тыс. м³) экономически эффективна индивидуальная работа автопоездов с гидроманипулятором.

2. Формирование погрузочно-транспортного звена из нескольких автопоездов возможно при расстояниях вывозки лесоматериалов до 70–80 км.

3. Общая производительность погрузочно-транспортного звена возрастает с увеличением числа автопоездов в нем. При расстояниях вывозки 10–40 км наибольшую производительность имеет звено из трех автопоездов, два из которых с гидроманипулятором. По сравнению с вариантом №1 производительность возрастает: в 2,5–2,9 раза у звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп-ропуск; в 2,6–3,5 раза – у звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп; в 3,0–3,3 раза – для звеньев, в которых автопоезд с гидроманипулятором – автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые – автомобиль + прицеп. С увеличением расстояния вывозки от 40 до 60 км наибольшая производительность у погрузочно-транспортного звена, в котором гидроманипулятор установлен на каждом четвертом автопоезде.

4. С уменьшением доли автопоездов с гидроманипулятором в звене средневзвешенная производительность лесотранспортных средств снижается. Вариант работы, при котором все автопоезда оснащаются манипуляторами, имеет лучшие показатели средневзвешенной производительности: при среднем расстоянии вывозки сортиментов до 60 км у автопоездов автомобиль + прицеп-ропуск; до 45 км у автопоездов автомобиль + прицеп; до 35 км для звеньев, в которых автопоезд с гидроманипулятором автомобиль + прицеп-ропуск, а обслуживаемые автопоезда – автомобиль + прицеп.

5. Соотношение объемов инвестиций и эксплуатационных затрат по сравниваемым вариантам зависит от расстояния вывозки лесоматериалов. При одинаковом числе требуемых лесовозных автопоездов для вывозки заданного объема сортиментов размер инвестиций и эксплуатационных затрат у вариантов, в которых автопоезда с гидроманипулятором обслуживают автопоезда без гидроманипулятора, ниже.

6. Эксплуатация погрузочно-транспортных звеньев, сформированных из автопоездов автомобиль + прицеп, более эффективна, чем автопоезда с прицепом-ропуском. Они имеют меньшие удельные эксплуатационные затраты в 1,1–1,3 раза в зависимости от варианта комплектования, объема и расстояния вывозки лесоматериалов.

Список литературы

1. Смирнов, М.Ю. Основы комплектования погрузочно-транспортного звена лесовозных автопоездов: монография / М.Ю. Смирнов, И.Р. Бакулина. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – 152 с.

2. Бакулина, И.Р. Технология работы звена лесовозных автопоездов / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 10021; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 19.02.2008.

3. Бакулина, И.Р. Расчёт продолжительности погрузочно-разгрузочных работ навесным гидроманипулятором / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Свидетельство об отраслевой регистрации разработки № 9400; зарегистрировано в Отраслевом фонде алгоритмов и программ 01.11.2007.

4. Бакулина, И.Р. Продолжительность погрузки и выгрузки сортиментов при совместной эксплуатации автопоездов с гидроманипуляторами и без них / И.Р. Бакулина, М.Ю. Смирнов // Будущее техни-

ческой науки: Тезисы докл. VIII междунар. молодежной науч.-техн. конф.– Н. Новгород: НГТУ, 2009.– С.161-162.

5. 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 ВИНТИ 26.02.08, № 160-B2008.

6. Смирнов, М.Ю. Исследование затрат времени на погрузку сортиментов навесным гидроманипулятором / М.Ю. Смирнов, Ю.С. Андрианов, Н.А. Попова; Марийск. гос. техн. ун-т. – Йошкар-Ола, 1999. – 37 с. – Деп. в ВИНТИ 08.07.99, № 2220 – В99.

7. Смирнов, М.Ю. Определение продолжительности простоев автопоездов с гидроманипуляторами в пунктах погрузки и выгрузки лесоматериалов / М.Ю. Смирнов, И.Р. Бакулина // Ресурсосберегающие и экологически перспективные технологии и машины лесного комплекса будущего: материалы междунар.-практич. конф.– Воронеж: ВГЛТА, 2009. – С. 351–356.

Статья поступила в редакцию 16.02.11.

M. Yu. Smirnov, I.R. Bakulina

ECONOMIC EFFICIENCY LIMITS ANALYSIS OF LOADING, TRANSPORTATION AND UNLOADING OF TIMBER WITH THE HELP OF ROAD TRAINS LINKS

An algorithm of road trains functioning as part of a link is carried out. The method for time calculation of loading and unloading operations with a mounted hydraulic manipulator is developed. The technique, the algorithm, and the program for calculation of economic efficiency indicators of timber road-trains exploitation as part of a link are elaborated. The limits of efficient work of road-train links are defined.

Key words: road train, link, assortments, mounted hydraulic manipulator, loading, logging, economic efficiency.

СМИРНОВ Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин МарГТУ. Область научных интересов – автомобильный транспорт лесоматериалов. Автор 160 публикаций.

E-mail: SmirnovMY@marstu.net

БАКУЛИНА Ирина Рифатовна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики МарГТУ. Область научных интересов – автомобильный транспорт лесоматериалов. Автор 31 публикации.

E-mail: BakulinaIR@marstu.net