

630<sup>10</sup>  
Г38



Министерство высшего и среднего специального  
образования БССР

Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

630<sup>10</sup> Г38 (043.3)

На правах рукописи

**ГЕРМАЦКИЙ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**Исследование процесса погрузки и  
вывозки древесины лесовозным  
автопоездом с гидроманипулятором**

Специальность 05.21.01. Технология и механизация  
лесного хозяйства и лесозаготовок

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Минск 1979

5432 ар.

Работа выполнена на кафедре тяговых машин Белорусского технологического института им. С. М. Кирова

Научный руководитель—профессор Тихонов А. Ф.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор, академик  
ВАСХНИЛ—СЕВЕРНЕВ М. М.,

кандидат технических наук, доцент—МАЙКО И. П.

Ведущее предприятие—Научно-производственное объединение „СИЛАВА“

Защита состоится „\_\_\_\_“ \_\_\_\_\_ 1979 года в \_\_\_\_\_ час. на заседании специализированного совета К 056.01.01. Белорусского технологического института им. С. М. Кирова по адресу: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан „\_\_\_\_“ \_\_\_\_\_ 1979 г.

*Ученый секретарь специализированного  
совета, кандидат сельскохозяйственных  
наук, доцент*

**И. Э. РИХТЕР**

### Общая характеристика работы

Актуальность темы. В основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 г.г., принятых XXV съездом КПСС, указано, что производительность труда в лесной промышленности и лесном хозяйстве за годы пятилетия должна быть повышена на 25-27%, что может быть осуществлено за счет применения систем машин, обеспечивающих полную механизацию труда.

Основная часть древесины поставляемой народному хозяйству СССР заготавливается на рубяках главного пользования. В последние годы заметно возрос удельный вес поставки древесины с рубок промежуточного пользования и выборочных рубок, хотя вопрос погрузки этой древесины пока не решен. Машины и механизмы, применяемые для погрузки древесины с рубок главного пользования будут не эффективны для промежуточного пользования из-за малого объема работ, территориальной разбросанности лесосек и малой концентрации древесины на погрузочных площадках.

Одним из решений поставленной задачи является использование лесовозных автопоездов с гидроманипуляторами, обеспечивающими самопогрузку древесины в хлыстах и вывозку.

До настоящего времени проведено недостаточно исследований процесса работы таких машин, что затрудняет проектирование самопогружающихся автопоездов с гидроманипуляторами. При этом важное значение имеет моделирование процесса вывозки с самопогрузкой, обеспечивающее выбор рациональных параметров и режимов работы на стадии проектирования.

В связи с этим исследование процессов погрузки и вывозки древесины в хлыстах лесовозными автопоездами с гидроманипулятором на основе математических моделей технологического процесса является задачей актуальной, имеющей практическое значение.

Цель исследования. Целью настоящей работы является исследование влияния режимов работы и параметров тягача с гидроманипулятором на основные эксплуатационные и технико-экономические показатели самопогружающегося лесовозного автопоезда.

54324

Объект исследований. В качестве объекта исследований был выбран лесовозный автопоезд в составе тягача МАЗ-509, с установленным на него гидроманипулятором, и прицепа-ропусна ТМЗ-803.

Методика исследования. При исследованиях использовалась математическая модель процесса вывозки, включающая вспомогательную имитационную модель процесса погрузки. При исследованиях использованы данные хронометражных наблюдений за работой опытно-экспериментального образца самопогружающегося автопоезда. Исследования выполнены на ЭЦМ "Мир-1" и аналоговых вычислительных машинах "ЭМУ-10" и "МН-7М".

Изучения эксплуатационных показателей автопоезда с гидроманипулятором основывалось на разработке комплекса математических моделей, имитирующих взаимодействие машины с хлыстом. Методической предпосылкой разработки комплекса моделей явились работы доцента Жунова А.В. по разложению и синтезу структурно-конструктивных схем машин на подгруппы по общим расчетным признакам.

Научная новизна. Диссертационную работу следует рассматривать как частную задачу нового научного направления в изучении эксплуатационных свойств и показателей движения специальных лесных машин, разработанного А.В.Жуновым. Для динамической системы "автомобиль-гидроманипулятор-дерево" впервые исследованы режимы работы и определены технико-эксплуатационные показатели. Разработан новый комплекс расчетных моделей процесса погрузки, входящий в имитационную модель процесса вывозки леса, позволяющий исследовать динамические и эксплуатационные свойства самопогружающихся автопоездов на стадии проектирования.

Получены новые данные о процессе вывозки и самопогрузке леса автопоездом с гидроманипулятором.

Практическая ценность работы заключается в том, что при использовании ее результатов сокращаются сроки проектирования и доводочных испытаний автопоезда с гидроманипулятором для самопогрузки хлыстов. У машин с улучшенными эксплуатационными свойствами возрастает производительность, улучшается их использование.

Реализация работы. Результаты исследований реализованы на предприятиях лесного хозяйства БССР и использовались при проектировании и изготовлении экспериментального тягача с

гидроманипулятором на кафедре тяговых машин БТИ им.С.М.Кирова. Экспериментальный автопоезд использовался на вывозе древесины в Домановском лесхозе и Негорельском учебно-опытном лесхозе БТИ им.С.М.Кирова.

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в шести печатных работах общим объемом 2,1 п.л.

Объем работы. Диссертация написана на 202 листах машинописного текста, включая 19 таблиц и 75 рисунков, содержит введение, 4 главы, выводы, список использованной литературы, включающий 76 наименований и приложения, расположенные в конце диссертации.

#### Содержание работы.

В первой главе приведен обзор конструкций самопогружающихся лесовозных автопоездов и гидроманипуляторов, проведен анализ исследований, касающихся разработки методики расчета и выбору рациональных параметров подъемно-транспортных машин.

На лесозаготовках СССР используются гидроманипуляторы ХИАБ и Фиссарс, а также лесовозный автомобиль "Зайчик". Манипуляторы ХИАБ и Фиссарс являются эффективными погрузочными средствами, позволяющими производить самопогрузку леса в радиусе до 9 м. Грузоподъемность манипуляторов Ф-9000 и Ф-10000 равна II и I3 кН соответственно, что обеспечивает возможность самопогрузки древесины в хлыстах и сортиментах по методу вывешивания.

В ЛатССР такие манипуляторы устанавливает на тягачи типа МАЗ и КАМАЗ и используют на вывозе древесины на рубках всех видов пользования. Однако из-за высокой стоимости импортные манипуляторы не находят широкого распространения в лесном хозяйстве СССР, за исключением Прибалтийских республик.

Гидропрены Фиссарс имеют значительный вес - до 25 кН, что отрицательно сказывается на нагруженности рамы тягача. Вследствие того, что специальных исследований влияния гидроманипулятора на устойчивость и нагруженность автомобиля не проводилось, нет научно обоснованных рекомендаций о режимах работы самопогружающихся автопоездов. Это может привести к преждевременному выходу из строя автомобилей. Лесовозный автомобиль "Зайчик" предназначен для самопогрузки и вывоза



дров и маломерной древесины и не решает вопроса комплексного использования автотранспорта в лесном хозяйстве.

Методике расчета грузоподъемных и транспортных машин уделяется значительное внимание, что нашло отражение в работах советских ученых: Е.А.Чудакова, Р.В.Ротенберга, А.А.Силаева, Я.Х.Закина, Н.Н.Яценю, И.Г.Пархиловского, Я.М.Певзнера, Б.Г.Гастева, В.И.Мельникова, Б.В.Билына, А.В.Жукова, Н.А.Взятшьева, С.Г.Достогрыва, И.П.Авсенова, Н.С.Комарова, В.А.Александрова, Г.А.Рахманина и многих других.

Анализ литературных источников показал, что большинство исследований направлено на изучение или только транспортной системы, или только грузоподъемного устройства. В результате в литературе недостаточно освещены вопросы взаимодействия базового тягача с установленным на него гидроманипулятором. Мало изучены эксплуатационные показатели самопогружающихся автопоездов, не приводятся данные о влиянии параметров и режимов работы машины на ее эффективность. Недостаточно данных о влиянии движущих сил и внешних сопротивлений на работу манипуляторной машины с колесным рессорным шасси. Имеющиеся имитационные математические модели грузоподъемных устройств не соответствуют лесной манипуляторной машине, производящей самопогрузку хлыстов без отрыва вершины от грунта. Отсутствие этих материалов не дает возможности научно обосновать параметры автопоезда с гидроманипулятором, затрудняет прогнозирование работы машины в производственных условиях.

Поэтому в работе поставлены и решены следующие задачи:

- анализ существующих технологических процессов заготовки и вывозки древесины. Исследование влияния основных параметров автопоезда с гидроманипулятором на его эксплуатационные и технико-экономические показатели.
- разработка методики прогнозирования и оценки технико-эксплуатационных показателей автопоездов с гидроманипуляторами.
- проведение теоретических исследований влияния режимов работы и параметров системы на процесс самопогрузки и вывозки древесины в хлыстах.
- проведение экспериментальных работ по оценке точности разработанных расчетных моделей и определению параметров и рациональных режимов работы автопоезда с гидроманипулятором.
- разработка рекомендаций по использованию и проектированию самопогружающихся автопоездов.

Вторая глава посвящена исследованиям эксплуатационных и технико-экономических показателей самопогружающегося автопоезда. Применяемые технологические схемы вывозки древесины в хлыстах рассчитаны на использование челюстных погрузчиков и автопоездов с тросо-блочной системой для самопогрузки. Для выборочных и промежуточных рубок такие системы не рациональны, так как требуют применения ручного труда и недостаточно загружены работой. Опыт использования автопоездов с гидроманипуляторами финского производства в ЛатССР показывает, что применение таких машин полностью решает вопрос погрузки леса в лесном хозяйстве.

Для эффективного функционирования системы "тягач-гидроманипулятор-дерево" разработана технологическая схема самопогрузки, исключающая полное вывешивание хлыста и отдельный подъем манипулятором вершинной и комлевой части хлыста. Для обеспечения такого способа погрузки разработана таблица соотношений высоты подъема комлевой части хлыста, расстояния между концами автопоезда и длины хлыстов. Экспериментальная проверка такого способа самопогрузки проведена на предприятиях лесного хозяйства БССР. Результаты хронометражных наблюдений работы экспериментального автопоезда показали, что время погрузки единичных хлыстов меньше, чем время погрузки пачками. Математическое ожидание времени цикла составило соответственно 42,1 и 49,2 с. Среднеквадратичные отклонения равны 2,12 и 2,96 с. Полное время простоя автопоезда под погрузкой составляет 25-30 мин.

Исследования влияния параметров и режимов работы автопоезда на его эксплуатационные и технико-экономические показатели проводились на математической модели сменной производительности, имитирующей работу машины:

$$P_{см} = \frac{(420 - T_{пз} - T_0 \cdot L_0) \cdot (Q - G_0 \cdot L_1 / 6 \cdot \gamma)}{L \cdot T_1 + \frac{m \cdot \gamma \cdot 25 \cdot G_0}{60} \cdot \frac{Q - G_0 \cdot L_1 \cdot \gamma / 6}{V_r} + T_3}, \quad (1)$$

где 420 - продолжительность смены в мин;  
 $T_{пз}$  - время подготовительно-заключительных работ, мин;  
 $T_0$  - время прохода I км при нулевом пробеге, мин;

- $L_0$  - расстояние нулевого пробега, км;  
 $Q$  - грузоподъемность автопоезда, м<sup>3</sup>;  
 $B_0$  - вес гидроманипулятора, кН;  
 $L_1$  - расстояние от переднего моста тягача до места установки гидроманипулятора, м;  
 $B$  - база тягача, м;  
 $\gamma$  - объемный вес древесины, м<sup>3</sup>/кН;  
 $L$  - расстояние вывозки, км;  
 $T_1$  - среднее время пробега одного км в обоих направлениях по лесовозным дорогам, мин;  
 $M_T$  - математическое ожидание времени цикла погрузки дерева (или пачета), с;  
 $B_T$  - среднеквадратичное отклонение времени цикла, с;  
 $V_T$  - объем погружаемой за один цикл древесины, м<sup>3</sup>;  
 $T_3$  - время разгрузки у потребителя.

С помощью модели (I) исследовалось влияние параметров машины на эксплуатационные показатели автопоезда. Исследования показали, что сокращение времени на погрузке на 60% позволяет увеличить время для второго рейса на 6%. Наибольшая эффективность достигается при выполнении автопоездом двух рейсов в смену. Необходимыми условиями для этого являются: среднетехническая скорость движения 10 км/ч, нулевой пробег - менее 40 км, расстояние вывозки - не более 25 км.

Увеличение расстояния вывозки с 15 до 25 км (на 40%) требует уменьшения нулевого пробега с 43 до 18 км (на 69%). При числе рейсов более двух и расстоянии вывозки от 15 до 25 км сменная производительность автопоезда лежит в пределах 38-58 м<sup>3</sup>. С увеличением расстояния вывозки сменная производительность уменьшается, причем при  $L > 45$  км менее интенсивно.

Наибольшая часть сменного времени затрачивается на перевозку древесины. Погрузочные операции занимают от 4 до 10%, разгрузка - 1,9% сменного времени. При увеличении скорости движения на 40% время для второго рейса увеличивается на 16%.

Для среднетехнической скорости равной 30 км/ч, что соответствует режимам работы лесовозных тягачей типа МАЗ, увеличение расстояния вывозки с 15 до 50 км повлечет рост затрат времени на перевозку только на 16%. В этом случае существенным является вопрос снижения времени на погрузке, за счет чего рост сменной выработки повышается примерно на 10%.



На рис. 1 видно, что с увеличением расстояния вывозки основные эксплуатационные показатели ухудшаются. При расстоянии вывозки более 45 км интенсивность изменения Псм и Э уменьшается. Чем меньше время самопогрузки (крив. 7 и 8), тем интенсивнее возрастает Э и Псм при расстояниях вывозки от 15 до 45 км.

С увеличением расстояния вывозки с 15 до 30 км сменная производительность интенсивно убывает (кривые 1-6). Для  $V$  ср.тех. = 15 км/ч, сменная производительность (крив. 1) уменьшается с 83,5 до 42,5 м<sup>3</sup>, т.е. на 49%.

В диапазоне расстояний вывозки 33-35 км интенсивность убывания Псм снижается. Для этой же кривой 1, Псм снижается с 42,5 м<sup>3</sup> до 27 м<sup>3</sup>, или на 36%. С увеличением среднетехни-

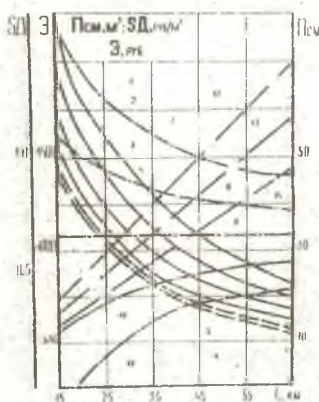


Рис. 1. Зависимость сменной производительности Псм, себестоимости перевозки  $I$  м<sup>3</sup>. Д и годовой экономической эффективности Э от расстояния вывозки при различных режимах работы (1- $T_1=4$ ; 2- $T_1=5$ ; 3- $T_1=6$ ; 4- $T_1=7$ ; 5- $T_2=30$ ; 6- $T_2=40$ ; 7- $T_2=20$ ; 8- $T_2=25$ ; 9- $T_2=30$ ; 10- $T_2=20$ ; 11- $T_2=40$ ; 12- $T_1=6$ ; 13- $T_1=5$ ; 14- $T_1=4$ ; время  $T_1$  и  $T_2$  - в минутах);  
 — Псм =  $f(L, T_1)$ ;  
 - - - Псм =  $f(L, T_2)$ ;  
 - · - Э =  $f(L, T_2)$ ;  
 - o - o - SД =  $f(L, T_1)$

ческой скорости движения характер кривых сохраняется, изменяясь по максимальной величине (крив. 1-4). При увеличении  $V$  ср.тех. на 40% сменная выработка увеличивается на 35%. Уменьшение времени погрузки на 25% (крив. 5 и 6) увеличивает

ет Псм на 3,1 % при  $L = 25$  км и на 4,2 % при  $L = 15$  км. Иной характер имеет зависимость экономической эффективности от расстояния вывозки,  $L$ . С увеличением  $L$  (крив. 6,7) эффективность убывает при времени погрузочного цикла  $T_2$  меньше 30 мин. При  $T_2 = 30$  мин (крив. 9), эффективность автопоезда практически не зависит от расстояния вывозки. Это объясняется тем, что время погрузки у сравниваемых машин становится одинаковым. При дальнейшем увеличении времени самопогрузки (крив. 10 и 11) эффективность с ростом наоборот, возрастает, приближаясь к  $\Theta = 1068$  руб, достигнутой при  $T_2 = 30$  мин. Себестоимость вывозки  $1 \text{ м}^3$  древесины с ростом  $L$  возрастает (крив. 12-14). Пользуясь рис. 1 можно определять эксплуатационные показатели проектируемого автопоезда с гидроманипулятором и решать задачи планирования и прогнозирования процесса вывозки.

Третья глава посвящена теоретическим исследованиям процесса подъема хлыстов гидроманипулятором. Для этого разработан комплекс настраиваемых имитационных математических моделей различной степени сложности, позволяющих анализировать динамические процессы на различных режимах и определять влияние параметров системы на работу машины. Кроме этого, модель является составной частью математической модели процесса вывозки, так как дает возможность определить расчетным путем время на погрузку автопоезда.

Расчетная схема динамической системы "тягач-гидроманипулятор-дерево" приведена на рис. 2.

Модель учитывает наличие подрессоренных и неподрессоренных масс системы, упругую податливость подвески, шин, элементов гидроманипулятора и хлыста. В отличие от известных, расчетная модель учитывает связь вертикальных и угловых колебаний системы позволяет рассматривать процесс в поперечной и продольной плоскостях.

Масса поворотной колонки гидроманипулятора приведена к подрессоренной массе тягача  $M_1$ , масса  $M_2$  сосредоточенная в т.  $O_2$  включает массу захвата  $M_3$ , приведенные массы стрелы и рукояти манипулятора и первую дискретную массу дерева. Модель дерева принята трехмассовой. Массы  $M_3$  и  $M_4$  сосредоточены в точках  $O_3$  и  $O_4$ . Масса  $M_4$ , включающая массу вронн находится на грунте.

Как показали результаты предварительных экспериментальных исследований, наиболее тяжелым режимом работы самопогружающегося лесовозного автопоезда является подъем стрелой нижней части дерева. Эта составляющая цикла требует наибольших энергозатрат и влияет на поперечную устойчивость тягача. Поэтому именно процесс подъема дерева рассматривается в качестве критического.

Внешнее воздействие на систему передается от перемещения штока управляющего гидроцилиндра. Положение дерева вдоль продольной оси автопоезда, положение манипулятора — в поперечной плоскости.

Рассматривая плоскую модель, выделяются в качестве основных шесть степеней свободы, которые характеризуются следующими основными обобщенными координатами:  $\ddot{x}_1$ ,  $\theta$ ,  $\ddot{x}_2$ ,  $\ddot{x}_3$ ,  $\ddot{\varphi}_1$  и  $\ddot{\varphi}_2$ .

Исследуемый процесс описывается следующими уравнениями:

$$M_1 \ddot{x}_1 + C_1 \dot{F}_1 + C_2 \dot{F}_2 + C_{гм} \dot{F}_3 + K_1 \dot{F}_1 + K_2 \dot{F}_2 + C_{гм} \dot{F}_3 + F_N = 0;$$

$$J_{01} \ddot{\theta} - C_1 L_1 \dot{F}_1 + C_2 L_2 \dot{F}_2 + C_{гм} L_M \dot{F}_3 - K_1 L_1 \dot{F}_1 + K_2 L_2 \dot{F}_2 + K_{гм} L_M \dot{F}_3 + F_N L_M = 0;$$

$$M_2 \ddot{x}_2 + C_{гм} \dot{F}_3 + C_{хл} \dot{F}_4 + K_{гм} \dot{F}_3 + K_{хл} \dot{F}_4 + F_N = 0;$$

$$M_3 \ddot{x}_3 - C_{хл} \dot{F}_4 - K_{хл} \dot{F}_4 + Q = 0;$$

$$m_1 \ddot{\varphi}_1 + C_{ш1} \dot{\varphi}_1 - C_1 \dot{F}_1 + K_{ш1} \dot{\varphi}_1 - K_1 \dot{F}_1 + F_N/2 = 0;$$

$$m_2 \ddot{\varphi}_2 + C_{ш2} \dot{\varphi}_2 - C_2 \dot{F}_2 + K_{ш2} \dot{\varphi}_2 - K_2 \dot{F}_2 + F_N/2 = 0,$$

где:  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $m_1$  и  $m_2$  — массы системы;

$J_{01}$  — момент инерции поддресоренной массы тягача и манипулятора;

$C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{гм}$ ,  $C_{ш1}$  и  $C_{ш2}$  — вертикальные жесткости рессор левой и правой сторон тягача, жесткость манипулятора и шин тягача;

$K_{гм}$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{ш2}$  — коэффициенты сопротивления;

$\Delta\alpha$  — угловое перемещение стрелы вызванное гидроцилиндром;

$t$  — время;

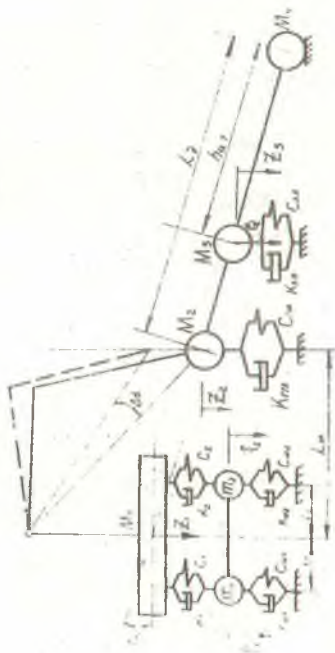


Рис. 2. Расчетная схема процесса подъема дерева стрелой гидроманипулятора

$$\Delta\alpha = \begin{cases} 0,1 \cdot t & , \text{ при } t < 1; \\ 0,1 & , \text{ при } t \geq 1; \end{cases}$$

$$Q = \begin{cases} 10 \cdot t^{0,95} - t^{0,96} & , \text{ при } \Delta\alpha \leq 0,09 \text{ рад;} \\ 10 & , \text{ при } \Delta\alpha > 0,09 \text{ рад;} \end{cases}$$

$$F_N = Q \cdot \cos^2 \Delta\alpha \cdot B; \quad B = h_{цт} / L_g;$$

$$F_1 = \mathcal{Z}_1 - F_1 - L_1 \cdot \theta; \quad F_2 = \mathcal{Z}_2 - F_2 + L_2 \cdot \theta;$$

$$F_3 = \mathcal{Z}_1 + \mathcal{Z}_2 + L_M \cdot \theta - L_M \cdot \Delta\alpha; \quad F_4 = \mathcal{Z}_2 \cdot B - \mathcal{Z}_3;$$

$h_{цт}$  - расстояние от вершины дерева до его центра тяжести;

$L_g$  - длина дерева;

$L_1$ ,  $L_2$  и  $L_M$  - соответственно половины рессорной колеи тягача и вылет гидроманипулятора.

На основе разработанных математических моделей проведения исследования процесса подъема дерева стрелой манипулятора (рис. 3).

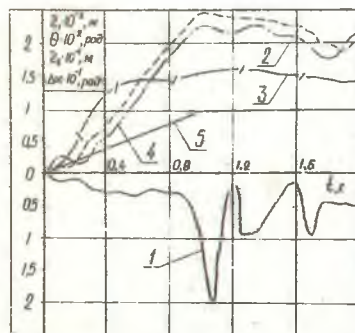


Рис. 3. Расчетный процесс подъема дерева стрелой гидроманипулятора (1 -  $\mathcal{Z}_1$ ; 2 -  $\theta$ ; 3 -  $\mathcal{Z}_3$ ; 5 -  $\Delta\alpha$ )  
4 - по экспериментальным данным  $\theta = f(t)$

Исследования показали, что на характеристики процесса оказывают значительное влияние такие параметры системы как жесткость рессор тягача, приведенная жесткость манипулятора, вид возмущающей функции и др.

Из отечественных лесовозных тягачей для использования в качестве базовой машины по своим параметрам наилучшим образом согласуется с установленным гидроманипулятором лесовозный тягач типа МАЗ. В этом случае во-



Возможно существенное снижение вертикальных и поперечно-угловых колебаний системы (см. табл. 1) - до 33 %.

Т а б л и ц а 1

Максимальные перемещения элементов манипуляторной машины при подъеме дерева за комель ( $Q_0 = 10 \text{ кН}$ )

Обозначение параметров и размерность	Тип тягача - МАЗ - 509				
	Вертикальная жесткость рессор,				
	$C_I \cdot 10$ , кН/м				
	30	60	80	100	110
$\alpha_1$ , рад	0,160	0,100	0,094	0,100	0,098
$\beta_1$ , см	3,1	3,0	2,7	3,0	2,6
$\theta$ , рад	0,023	0,022	0,046	0,022	0,044
$\beta_3$ , см	40	40	34	40	35
$\gamma$ , мм	3,0	4,0	4,0	4,5	4,2

С увеличением жесткости стрелы манипулятора перемещения  $\alpha_1$  снижаются, а  $\beta_1$  и наоборот, возрастают. Характерной является величина приведенной жесткости  $C_{1M}$ , равная  $5 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$ . При больших значениях жесткости исследуемые параметры практически не изменяются.

Данные анализа показывают, что при использовании в качестве базовой машины тягачей типа МАЗ, при жесткости  $C_{1M}$  в пределах  $2 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2 \text{ кН/м}$  возможно существенное снижение перемещений  $\beta_1$  и  $\gamma$ .

Значительное влияние на систему оказывает вид возмущающей функции. Наилучшими показателями характеризуется линейная зависимость (табл. 2), обеспечиваемая гидроприводом с распределителем типа Р-75.

Качественные и количественные показатели переходных процессов зависят от скорости подъема или опускания дерева манипулятором. Изменение скорости подъема в значительной степени влияет на вертикальные колебания тягача. Максимальные значения угловых перемещений  $\theta$  и  $\alpha_1$  изменяются не столь



сильно, однако характер переходных процессов при увеличении  $\Delta\alpha$  отличается главным образом проявлением в составе кривых  $\theta(t)$  и  $\alpha(t)$  гармоник более высокой частоты. Для тягача МАЗ-509 интенсивное возрастание значений  $\dot{z}_{1max}$  и  $\dot{\varphi}_{max}$  происходит до значений  $\Delta\alpha = 0,3$  рад/с.

Введение в подвеску задней оси тягача стабилизатора поперечной устойчивости жесткостью  $2 \cdot 10^3$  нН/рад позволяет снизить динамический крен машины в 2,5 раза.

Т а б л и ц а 2

Максимальные перемещения элементов автопоезда при различных видах возмущающей функции

Параметры системы	$\Delta\alpha = a \cdot t$	$\Delta\alpha = t^{\frac{1}{10}}$	$\Delta\alpha = \frac{t^{\frac{1}{10}}}{10}$
$\dot{z}_2$ , м; ( $t = 0,1$ с)	0,5	0,15	0,2
$\theta \cdot 10^{-1}$ , рад; ( $t = 0,25$ с)	0,4	0,65	0,78

В четвертой главе изложена методика и результаты экспериментальных исследований процесса самопогрузки древесины. При проведении исследований определены основные конструктивные параметры автопоезда с гидроманипулятором, упругие и демпфирующие характеристики элементов гидроманипулятора. Исследованы свободные колебания гидроманипулятора и определены моменты инерции стрелы и рукояти.

Для определения влияния движущих сил и режимов работы машины проведены исследования процесса самопогрузки хлыстов. Угловые перемещения стрелы, поддресоренной массы тягача и вертикальные перемещения задней оси тягача определялись с помощью датчиков МУ-614м и МУ-62. Усилие на стреле замерялось при помощи тягового звена динамографа КЭД-2, давление в гидросистеме датчиком ТДД. Вертикальные ускорения фиксировались с помощью акселерометров ДП-4. Исследуемые процессы записывались на ленту светолучевого осциллографа К-12-22

Исходя из наибольшего рассеивания полных перемещений рессор тягача определено необходимое число наблюдений, кото-

рое равно шести.

Проведенные исследования показали, что на динамику системы значительное влияние оказывает скорость нарастания нагрузки на стреле. Установлено, что рациональная скорость равна  $3 \cdot 10^4$  н/с, соответствующая средним оборотам двигателя автомобиля.

Расположение груза в рабочей зоне также влияет на динамику процесса самопогрузки. Наименьшие значения исследуемых параметров наблюдаются для угла между плоскостью манипулятора и продольной осью автопоезда, равном 45 град. Установлено, что рациональной зоной манипулятора является сектор с углом  $\pm 75$  град от продольной оси автопоезда.

Точность разработанной расчетной методики оценивалась сравнением экспериментальных и расчетных данных по тягачу МАЗ-509, оборудованному гидроманипулятором для самопогрузки древесины в хлыстах. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что математическая модель процесса самопогрузки и вывозки учитывает основные закономерности процессов.

Время проявления эстремумов кривых различается несущественно - 1,5-2,0 %. Наибольшее расхождение наблюдается для первых максимальных ординат вертикальных перемещений подпрессоренной массы тягача - до 20%. Расхождение частот колебаний нагрузки и коэффициентов динамичности лежит в пределах 2-10 %. Максимальное значение вариационного коэффициента не превышает 4 %. Таким образом, полученная расчетная модель имитирует работу реальной машины с достаточной для инженерных расчетов точностью и соответствует нормам, принятым в лесной промышленности.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

I. Для вывозки древесины на рубках промежуточного пользования и выборочных рубках целесообразно использовать лесовозный автопоезд, оборудованный гидроманипулятором для самопогрузки древесины в хлыстах. Самопогрузка должна производиться без полного вывешивания хлыста по предложенному в работе способу.

Для самопогрузки хлыстов длиной от 20 до 30 м (при подь-

еме комлевой части на 5 м) расстояние между концами автопоезда должно находиться в пределах 9,8-14,4 м.

3. Оценка эксплуатационных показателей самопогружающегося автопоезда должна производиться с учетом статистических характеристик времени погрузки. Среднеквадратичные отклонения времени одного цикла не превышают 2,96 с, математическое ожидание - 49,2 с. Для обеспечения двух рейсов в смену расстояние вывозки не должно превышать 25 км при длине нулевого пробега менее 40 км, при времени простоя под погрузкой 30 мин и среднетехнической скорости движения 10 км/ч.

4. Сменная производительность автопоезда при вывозке меняется в пределах  $\pm 2,7\%$  в зависимости от времени самопогрузки. Время самопогрузки лчит в пределах 25-30 мин, что меньше, чем у автопоездов с тросо-блочной системой для самопогрузки.

5. Разработанный комплекс математических моделей процесса вывозки с самопогрузкой позволяет на стадии проектирования рассматривать эксплуатационные показатели и динамические характеристики автопоезда. Расхождение расчетных и экспериментальных данных находится в пределах 10-16%. Среднеквадратичная ошибка оценки максимальных амплитуд исследуемых колебательных характеристик не превышает 4%.

6. Проведенные исследования показали, что работа машины без значительных динамических нагрузок может обеспечиваться за счет рационального соотношения между упругими элементами гидроманипулятора и тягача. Для автомобилей изгибная жесткость манипулятора должна лежать в пределах  $2 \cdot 10^2 - 4 \cdot 10^2$  кН/м. Снижение суммарной жесткости рессор тягача до 300 кН/м позволяет уменьшить вертикальные перемещения колес на 33%. Рекомендуется использование в конструкции манипулятора поддрессоренного поддерживающего ролика телескопического удлинителя, что позволяет поддерживать жесткость стрелы в заданных пределах и снижать коэффициент динамичности системы до 1,4.

7. Для снижения поперечных кренов тягача при самопогрузке рекомендуется введение в подвеску автомобиля стабилизатора поперечной устойчивости. При жесткости стабилизатора равной  $2 \cdot 10^3$  кН/рад динамический крен снижается в 2,5 раза. Поперечно-угловые ускорения поддрессоренной массы тягача при

этом увеличивается незначительно. ( не более 1,5%).

8. Изменение скорости нарастания нагрузки на стреле гидроманипулятора влияет на величину коэффициента динамичности системы. При  $V_p > 3 \cdot 10^4$  Н/с, коэффициент динамичности лежит в пределах 1,18-1,41. При той же скорости деформация рессор тягача не превышает 4,6 см. Из них 10% - за счет динамических сил.

9. При вылете стрелы 5 м и весе дерева 10 кН полная нагрузка на одну шину не превышает 2,8 кН. Поперечная устойчивость автопоезда против опрокидывания обеспечивается без аутригеров до вылета стрелы 6,5 м.

10. Рабочая зона гидроманипулятора должна ограничиваться в горизонтальной плоскости углом  $\pm 75$  град от продольной оси автопоезда. Коэффициент динамичности системы в этом случае лежит в пределах от 1,15 (для  $\psi = 30$  град) до 1,45. При увеличении угла до 90 град, что соответствует расположению манипулятора поперек продольной оси автопоезда, коэффициент динамичности возрастает до 2,75.

В качестве базовой машины рекомендуется использовать тягачи типа МАЗ, а манипулятор - из элементов гидравлического погрузчика МТТ-12. Ориентировочная потребность в таких машинах для СССР - 5500 шт., в том числе для БССР - 440 шт. в год.

11. На рубках промежуточного пользования и выборочных рубках предложенный способ вывозки с самопогрузкой дает экономический эффект в 2,6 тыс. руб. в год на один автопоезд.

Основное содержание диссертации изложено в следующих опубликованных работах:

1. А.В.Гермацкий. Самопогружающийся лесовозный автопоезд для вывозки древесины в хлыстах. Информационный листок № 007-1978, серия 21-12. Минск, БелНИИТИ Госплана БССР.

2. А.В.Гермацкий. Исследование работы самопогружающихся лесовозных автопоездов с гидроманипуляторами в лесах второй группы. В сб.: "Рациональное использование, воспроизводство лесных ресурсов и охрана окружающей среды". Минск, 1978.

3. А.Ф.Тихонов, А.В.Лунов, А.В.Гермацкий. Применение методов математической статистики для выбора параметров самопогружающегося лесовозного автопоезда с гидроманипулятором. В сб.: "Классическая механизация и автоматизация подъемно-транспортных работ в лесной и деревообрабатывающей про-

мышленности". М., 1977 г.

4. А.В.Гермацкий и др. Гидравлический манипулятор. Положительное решение по заявке № 2490444/2I-II от 01.06.77 г.

5. А.В.Гермацкий. Анализ технологии вывозки древесины самопогружающимися автопоездами с гидроманипуляторами. В сб.: "Механизация лесоразработки и транспорт леса", вып.9, Минск, "Высшая школа", 1979.

6. А.Ф.Тихонов, А.В.Жунов, А.В.Гермацкий. Методика расчета и исследование динамики лесных манипуляторных машин. "Лесной журнал", 1979, № 3.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах в заверенных подписями направлять по адресу: 220630, Минск, ул. Свердлова 13-а, БТИ им.С.М.Кирова, Ученый совет.



Алексей Владимирович Герцацкий  
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОГРУЗКИ И ВЫВОЗКИ ДРЕВЕСИНЫ  
ЛЕСОВОЗНЫМ АВТОПЕЗДОМ С ГИДРОМАНИПУЛЯТОРОМ  
Подписано в печать 23.08.79. АТ 11225. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 1. Уч.-изд.л. 0,93. Тираж 100 экз.  
Заказ 501 . Бесплатно.  
Отпечатано на ротапринте БТИ им. С.М.Кирова,  
220630, Минск, Свердлова, 13.