

УДК 630.377.4

## Математическое моделирование технологических процессов поворотных лесопогрузчиков с переменным вылетом груза

В.Ф. Полетайкин<sup>a</sup>, П.Г. Колесников<sup>b</sup>

Сибирский государственный технологический университет, Мира 82, Красноярск, Россия

<sup>a</sup>Poletaikin\_VF@mail.ru, <sup>b</sup>KolesnikovPG@mail.ru

Статья поступила 16.08.2013, принята 29.09.2013

*Анализ конструкций отечественных и зарубежных подъемно-транспортных машин (погрузчики, автомобильные и другие самоходные краны) показывает, что в настоящее время широкое распространение получили машины с переменным вылетом груза. В конструкциях таких машин широко используются телескопические устройства (стрелы, рукояти). При этом для погрузки длинномерной древесины используются лесопогрузчики, оснащенные телескопическими стрелами. Анализ параметров и технических возможностей подтверждает их преимущества перед другими типами лесопогрузчиков, и важнейшим из них следует признать переменный вылет груза, применение которого расширяет технологические возможности таких машин. Конструктивно переменный вылет груза может быть обеспечен телескопическим устройством, поэтому является перспективным создание лесопогрузчика с телескопической стрелой. Условия работы и предмет труда лесопогрузчиков специфичны, а потому к их исследованиям не могут быть применены результаты исследований других грузоподъемных и лесных машин. Это обосновывает необходимость разработки теоретических основ создания и совершенствования лесопогрузчиков такого типа. Математическое моделирование технологических процессов работы поворотных лесопогрузчиков осуществляется в представленной работе с применением математических моделей, разработанных на основе уравнения Лагранжа второго рода. Математическое моделирование включает оценку динамической нагруженности технологического оборудования посредством анализа кинетической энергии системы, анализ влияния различных кинематических параметров на нагрузки, возникающие в гидrocилиндрах механизмов подъема и изменения вылета телескопической стрелы, оптимизацию параметров кинематики.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, кинематические параметры, нагруженность элементов конструкции, поворотный лесопогрузчик с переменным вылетом груза.

## Mathematical modeling for operating procedures of rotary loggers with variable load outreach

V.F. Poletaykin<sup>a</sup>, P.G. Kolesnikov<sup>b</sup>

Siberian State Technological University, 82 Mira st., Krasnoyarsk, Russia

<sup>a</sup>Poletaikin\_VF@mail.ru, <sup>b</sup>KolesnikovPG@mail.ru

Received 16.08.2013, accepted 29.09.2013

*The design analysis of domestic and foreign handling machinery (loaders, lorry-mounted and other types of self-propelled cranes) demonstrates that currently the variable load outreach machinery is employed everywhere. In the designs of such machinery, various telescopic devices (booms, handles) are widely used. Besides, the loggers equipped with telescopic booms are used for loading long-sized timber. The analysis of parameters and technical capabilities of such machinery proves their advantages over some other types of loggers, the most important of them being a variable load outreach that extends their operating capabilities. Constructively, the variable load outreach can be equipped with the telescopic device, so the development of a logger with a telescopic boom is a promising tendency. The loggers' operating conditions and subject of labor are specific, and, therefore, the investigation results obtained for other types of hoisting and forestry machines can't be applied to the study being conducted. This gives reasons for developing the theoretical bases for designing and improvement of the loggers of this type. In the article, the mathematical modeling of operational procedures of the rotary loggers' performance is carried out applying the mathematical models developed on the basis of Lagrange's second kind equation. The mathematical modeling includes the assessment of the production equipment dynamic loading by means of the analysis of kinetic energy of the system, the analysis of the various kinematic parameters effect on the loadings arising in hydraulic cylinders of hoisting mechanisms and the mechanisms of changing the telescopic boom outreach as well as optimization of kinematics parameters.*

**Keywords:** mathematical modeling, kinematic parameters, structural members loading, rotary logger with variable load outreach.

**Введение.** Анализ конструкций отечественных и зарубежных подъемно-транспортных машин (погрузчики, автомобильные и другие самоходные краны) показывает, что в настоящее время широкое распростра-

нение получили машины с переменным вылетом груза. В конструкциях таких машин широко используются телескопические устройства (стрелы, рукояти). При этом для погрузки длинномерной древесины исполь-

зуются лесопогрузчики, оснащенные телескопическими стрелами. Анализ параметров и технических возможностей подтверждает их преимущества перед другими типами лесопогрузчиков, и важнейшим из них следует признать переменный вылет груза, применение которого расширяет технологические возможности таких машин. Конструктивно переменный вылет груза может быть обеспечен телескопическим устройством, поэтому является перспективным создание лесопогрузчика с телескопической стрелой. Условия работы и предмет труда лесопогрузчиков специфичны, а потому к их исследованиям не могут быть применены результаты исследований других грузоподъемных и лесных машин. Это обосновывает необходимость разработки теоретических основ создания и совершенствования лесопогрузчиков такого типа.

**Постановка и решение задачи.** Режимы работы технологического оборудования поворотного лесопогрузчика с телескопической стрелой характеризуются возникновением значительных динамических нагрузок, оказывающих влияние на нагруженность элементов конструкции, включая механизм выдвижения секции (МВС) и механизм подъема стрелы (МПС).

Целью работы является обоснование параметров технологического оборудования поворотных лесопогрузчиков посредством математического моделирования динамических процессов, возникающих в процессе погрузки-разгрузки древесного сырья.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать математические модели движения системы «технологическое оборудование – груз».

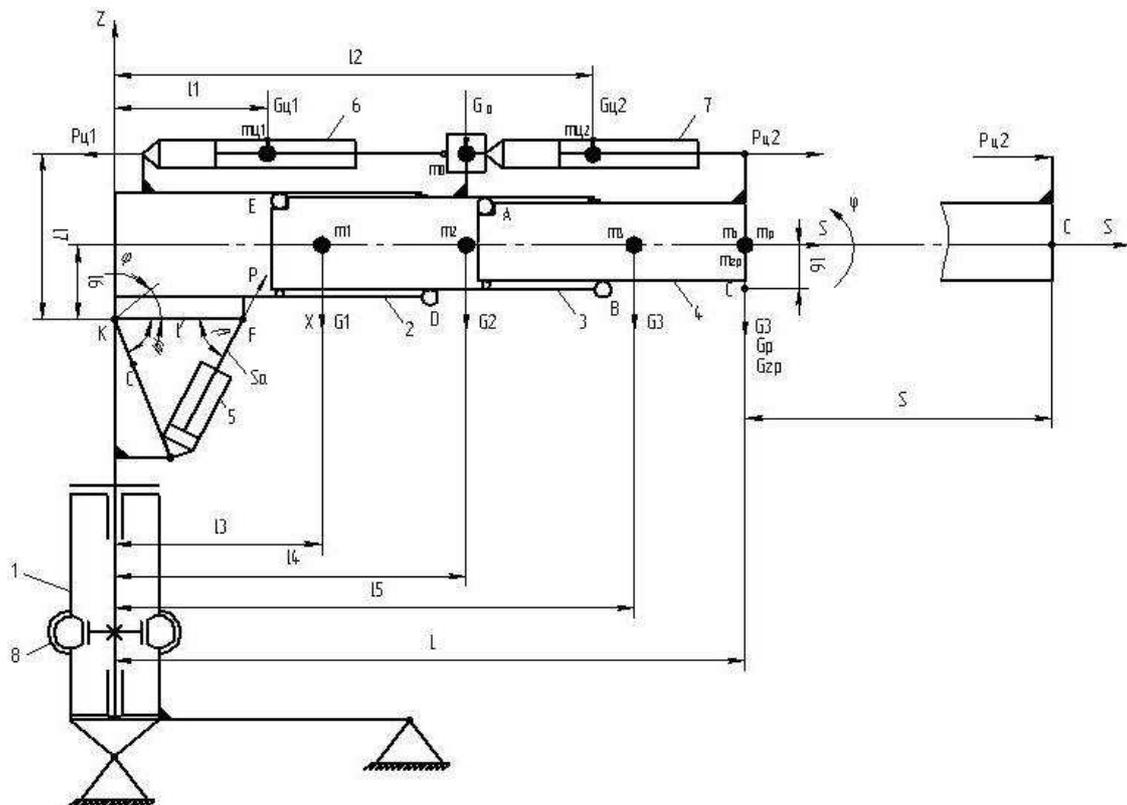
2. Провести моделирование изменения кинетической энергии системы при одновременной работе механизмов подъема и выдвижения секций.

3. Провести моделирование влияния кинематических параметров МПС и МВС на нагруженность системы.

4. Провести анализ полученных результатов. Разработать выводы и рекомендации.

В процессе погрузки древесины возможно одновременное выдвижение секций и поворот технологического оборудования в продольно-вертикальной плоскости, а также выдвижение секций с одновременным поворотом технологического оборудования в горизонтальной плоскости относительно оси опорно-поворотного устройства. Эти режимы являются наиболее характерными для работы лесопогрузчика рассматриваемого типа, поэтому при обосновании параметров механизмов выдвижения секции и подъема стрелы они принимаются за основные.

На рис. 1 представлена расчетная схема технологического оборудования. Рассматриваем режим поворота стрелы с грузом в плоскости ХКZ на угол  $\varphi$  с одновременным выдвижением секций.  $\varphi$  – угол поворота стрелы с грузом относительно точки К. Совмещаем ось вращения стрелы с началом координат.  $S$  – перемещение груза, равное ходу телескопического устройства стрелы.



**Рис. 1.** Эквивалентная схема динамической системы «технологическое оборудование – груз»: 1 – опорно-поворотное устройство; 2 – наружная секция; 3 – средняя секция; 4 – внутренняя секция; 5 – гидроцилиндр поворота стрелы; 6, 7 – гидроцилиндры механизма выдвижения секции; 8 – механизм поворота колонны

На рисунке:

$G_1, G_2, G_3$  – силы тяжести наружной, средней и внутренней секций стрелы,  $H; G_p, G_3, G_{zp}$  – силы тяжести ротатора, захвата и груза, приведенные в точку С – точку подвеса ротатора к стреле,  $H; G_0$  – части силы тяжести МВС, приведенные к центру массы средней секции,  $H; G_{y1}, G_{y2}$  – силы тяжести гидроцилиндров привода МВС,  $H; P_{y1}, P_{y2}$  – усилия на штоках гидроцилиндров привода МВС,  $H; P_{y1} = P_{y2}; P$  – усилие на штоке гидроцилиндра подъема стрелы,  $H; L$  – размер стрелы при втянутых секциях,  $m; S$  – ход телескопического устройства стрелы,  $m; \varphi$  – угол поворота стрелы в плоскости ХКЗ, *рад.*;  $\dot{\varphi}$  – угловая скорость вращения стрелы (скорость переносного движения), *рад/сек.*;  $\dot{S}$  – скорость поступательного (относительного) движения секций, *м/с.*

Разработка математических моделей системы «рабочее оборудование – груз» осуществлялась с применением уравнения Лагранжа второго рода.

В соответствии с числом степеней свободы системы ( $k = 2$ ) записываем два уравнения Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{S}} \right) - \frac{\partial T}{\partial S} = Q_s; \quad \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_\varphi, \quad (1)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы;  $S$  – перемещение центров масс;  $Q_s$  – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате  $S$ ;  $Q_\varphi$  – обобщенная сила, соответствующая обобщенной координате  $\varphi$ .

Получив выражения кинетической энергии системы, проинтегрировав его по составляющим уравнения Лагранжа и определив обобщенные силы, соответствующие обобщенным координатам системы, получим уравнения движения системы для первого ( $0 \leq \Delta S \leq 0,5S$ ) и второго ( $0,5S \leq \Delta S \leq S$ ) этапов движения.

Математическая модель движения системы «рабочее оборудование – груз» на первом этапе движения получена в виде:

$$\left. \begin{aligned} & \left[ \frac{\ddot{S}}{g} \left( G_2 + G_3 + 0,5G_{y1} + G_0 + G_{y2} + G_p + G_3 + G_{zp} \right) - \right. \\ & \left. - \frac{\dot{\varphi}^2}{2g} \left[ G_{y2} (\ell_2 + 0,5S) + (G_2 + G_0) (\ell_4 + 0,5S) + \right. \right. \\ & \left. \left. + G_3 (\ell_5 + 0,5S) + G_{y1} (0,5\ell_1 + 0,125S) + \right. \right. \\ & \left. \left. + (G_3 + G_p + G_{zp}) (L + 0,5S) \right] \right] = Q_{S1} \\ & \left. \frac{\ddot{\varphi}}{g} \left[ G_1 \ell_3^2 + G_{y2} (\ell_2^2 + \ell_2 S + 0,25S^2) + (G_2 + G_0) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times (\ell_4^2 + \ell_4 S + 0,25S^2) + G_3 (\ell_5^2 + \ell_5 S + 0,25S^2) + \right. \right. \\ & \left. \left. + G_{y1} (\ell_1^2 + 0,5\ell_1 S + 0,0625S^2) + (G_3 + G_p + G_{zp}) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times (L^2 + LS + 0,25S^2) \right] \right] = Q_{\varphi 1} \end{aligned} \right\} (2)$$

Математическая модель движения системы «рабочее оборудование – груз» на втором этапе движения получена в виде:

$$\left. \begin{aligned} & \left[ \frac{\ddot{S}}{g} \left( G_3 + 0,5G_{y2} + G_p + G_3 + G_{zp} \right) - \right. \\ & \left. \frac{\dot{\varphi}^2}{2g} \left[ G_{y1} (0,5\ell_1 + 0,125S) + (G_2 + G_0) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times (\ell_4 + 0,5S) + G_{y2} (1,5\ell_2 + 1,125S) + \right. \right. \\ & \left. \left. + 2G_3 (\ell_5 + S) + 2(G_3 + G_p + G_{zp}) (L + S) \right] \right] = Q_{S2} \\ & \left. \frac{\ddot{\varphi}}{g} \left[ G_1 \ell_3^2 + G_{y1} (\ell_1^2 + 0,5\ell_1 S + 0,0625S^2) + \right. \right. \\ & \left. \left. + (G_2 + G_0) (\ell_4^2 + \ell_4 S + 0,25S^2) + \right. \right. \\ & \left. \left. + G_{y2} (\ell_2^2 + 1,5\ell_2 S + 0,5625S^2) + \right. \right. \\ & \left. \left. + G_3 (\ell_5^2 + 2\ell_5 S + S^2) + (G_3 + G_p + G_{zp}) \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times (L^2 + 2LS + S^2) \right] \right] = Q_{\varphi 2} \end{aligned} \right\} (3)$$

Используя математические модели (2) и (3), проведем моделирование изменения кинетической энергии стрелы при одновременной работе механизмов подъема и выдвигания секций.

Величина кинетической энергии является показателем динамической нагруженности системы. В процессе движения стрелы при одновременной работе МПС и МВС, как было показано выше, количество движущихся масс меняется, следовательно, меняется и величина кинетической энергии системы. Кроме этого, изменяется величина угловой скорости стрелы, что также оказывает влияние на величину кинетической энергии. Характер изменения кинетической энергии системы, таким образом, отражает характер изменения ее динамической нагруженности.

Анализ уравнений полной кинетической энергии системы показывает, что влияние на величину кинетической энергии будут оказывать линейная и угловая скорости движения стрелы, массы элементов конструкции и вылет стрелы. Моделируя процесс изменения кинетической энергии на первом и втором этапах движения, воспользуемся кинематическими параметрами лесопогрузчика ЛТ-210.

Рассмотрим характер изменения кинетической энергии системы в зависимости от изменения угла поворота стрелы при одновременной работе механизма подъема стрелы и механизма выдвигания секций.

Для моделирования воспользуемся математическим пакетом MathCad.

На рис. 2 показаны кривые изменения кинетической энергии стрелы при одновременной работе механизма подъема стрелы и механизма выдвигания секций.

Анализируя полученные значения, приходим к выводу, что кинетическая энергия стрелы достигает максимального значения в конце второго этапа движения стрелы, следовательно, данное положение стрелы является наиболее нагруженным.

В работах, проводимых ранее [1, 5], в качестве критерия оценки регулирования системы путем варьирования факторов использовалось усилие на штоках гидроцилиндров исполнительных механизмов.

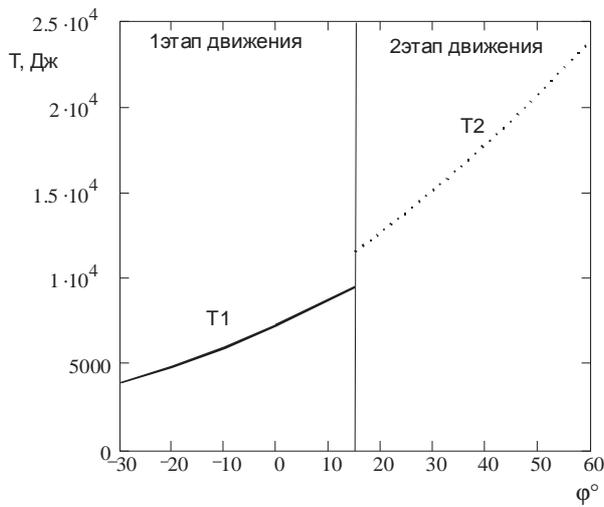


Рис. 2. Зависимость кинетической энергии системы на первом ( $T_1$ ) и втором ( $T_2$ ) этапах движения от угла поворота стрелы

Это обусловлено тем, что данный критерий достаточно полно отображает состояние системы (уровень динамических нагрузок), имеет четкий физический смысл, что соответствует требованиям к выбору критериев эффективности.

Таким образом, в качестве критериев эффективности системы на первом и втором этапах движения масс принимаем усилия на штоках гидроцилиндров механизма подъема стрелы и механизма выдвигания секций ( $P_1, P_2$  и  $P_{Ц1}, P_{Ц2}$  соответственно).

Рассматривая режим одновременной работы гидроцилиндра подъема стрелы и гидроцилиндров выдвигания секций при варьировании переменных факторов, установим их влияние на состояние системы.

**Влияние координаты  $\ell$  (расстояние между осью вращения стрелы и осью кронштейна крепления гидроцилиндра 5 к стреле) (рис. 1) на нагруженность системы.** Влияние параметра кинематики  $\ell$  на усилия на штоках гидроцилиндров подъема и изменения вылета стрелы  $P_1, P_2, P_{Ц1}, P_{Ц2}$  ( $P_i = f(\ell, \varphi)$ ,  $P_{Цi} = f(\ell, \varphi)$ ).

Расчетная схема представлена на рис. 1.

При исследовании влияния кинематического параметра  $\ell$  управляемые переменные  $\beta, Q$  принимались величинами постоянными и равными  $\beta = 101^\circ$ ,

$Q = 2,6 \cdot 10^{-3} \frac{M^3}{c}$ . Результаты моделирования представлены на рис. 3 и 4.

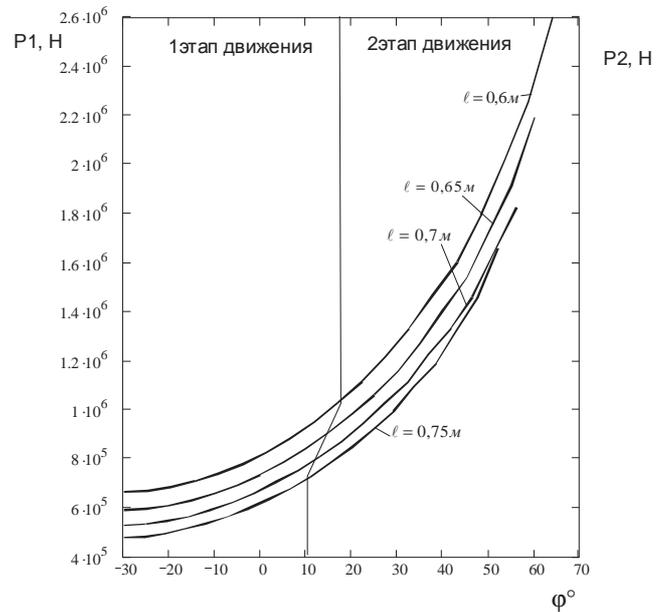


Рис. 3. Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра подъема стрелы от параметров кинематики  $\ell$  и  $\varphi$

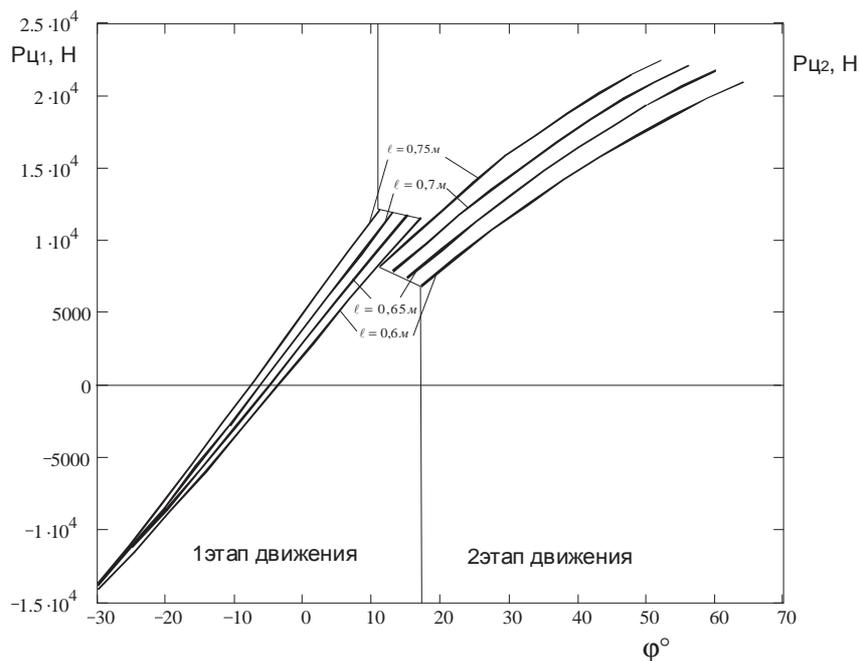
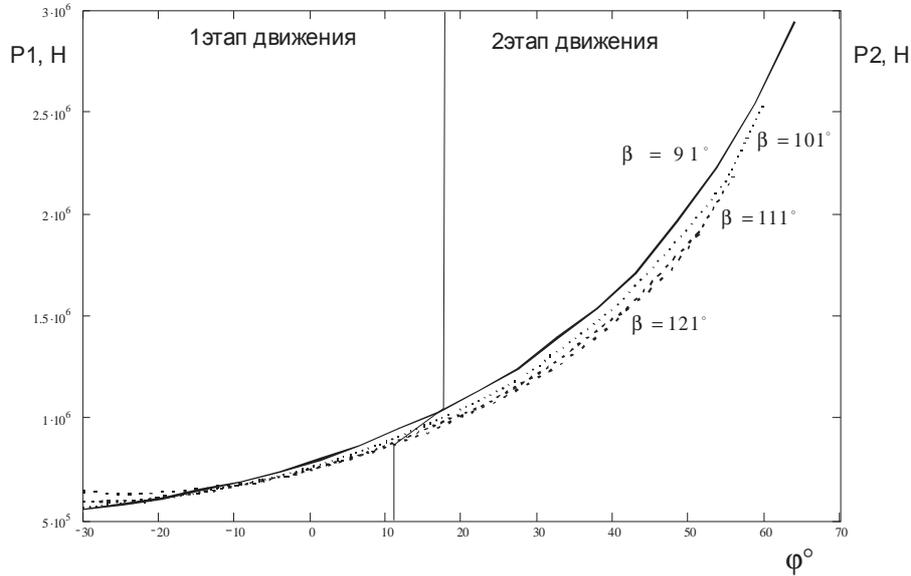


Рис. 4. Зависимость усилия на штоках гидроцилиндров выдвигания секций от параметров кинематики  $\ell$  и  $\varphi$

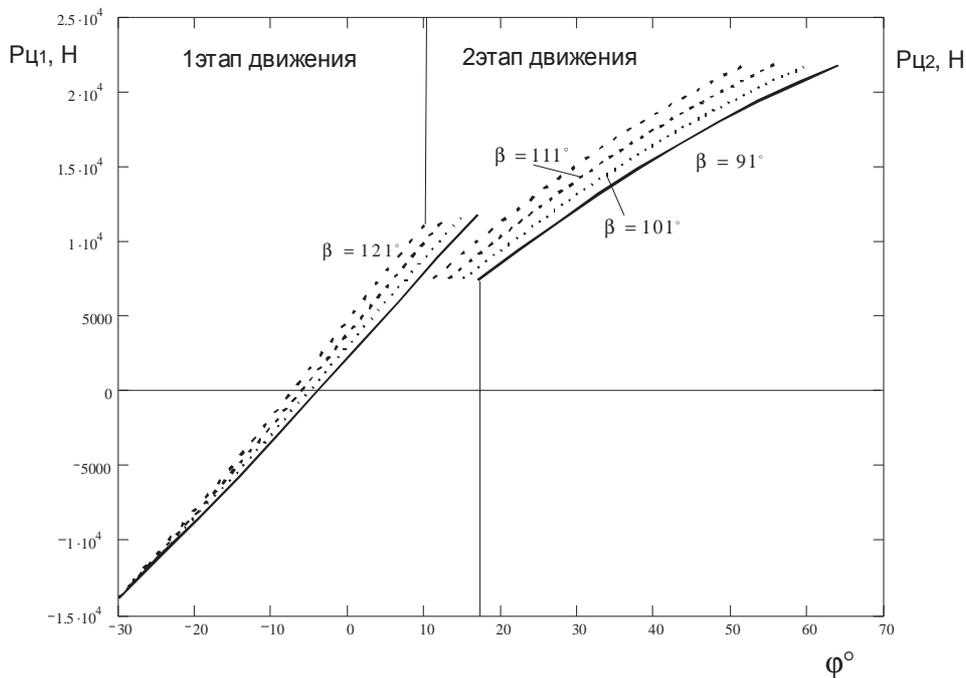
**Влияние координаты  $\beta$  (угол между корпусом стрелы и штоком гидроцилиндра 5) (рис. 1) на нагруженность системы.** Моделирование влияния параметра кинематики  $\beta$  на усилия на штоках гидроцилиндров подъема и выдвигания секций стрелы

( $P_i = f(\beta, \varphi)$ ,  $P_{Ци} = f(\beta, \varphi)$ ) представлено на рис. 5 и 6.

Условия проведения моделирования:  $Q = const$ ,  $\ell = const$ ,  $M_{зр} = 210 кН \cdot м = const$ .



**Рис. 5.** Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра МПС от параметра кинематики  $\beta$  при одновременной работе МПС и МВС на первом и втором этапах движения



**Рис. 6.** Зависимость усилия на штоках гидроцилиндров МВС от параметра кинематики  $\beta$  при одновременной работе МПС и МВС на первом и втором этапах движения

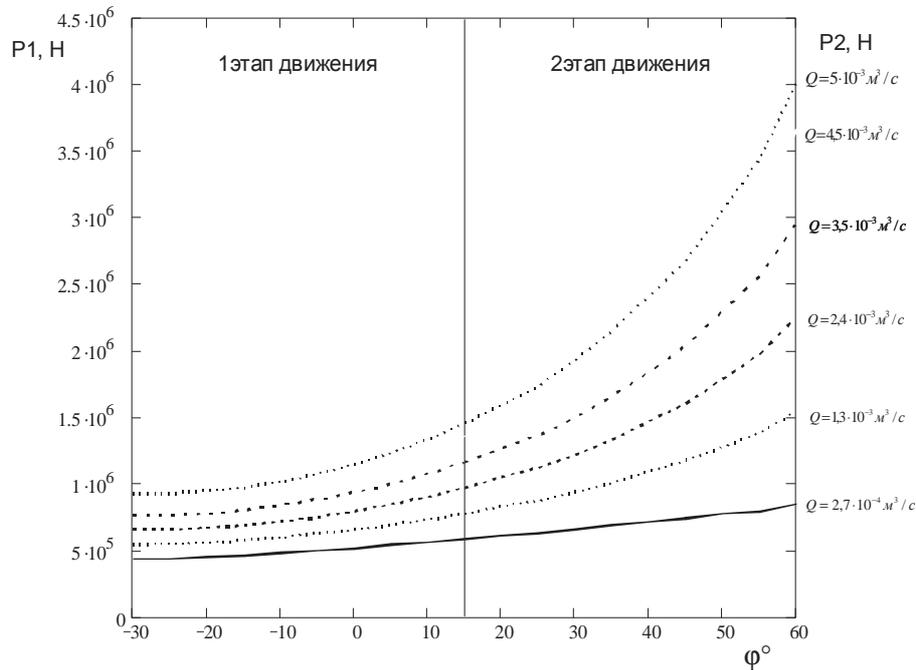
**Влияние на нагруженность системы угловой скорости поворота стрелы и линейной скорости выдвигания секций манипулятора.** Производительность гидронасоса ( $Q$ ) влияет на скорость движения штока гидроцилиндра МПС и гидроцилиндров МВС и, следовательно, на угловую скорость поворота стрелы и линейную скорость выдвигания секций манипулятора.

Таким образом, при изменении параметра  $Q$  изменяются кинематические и динамические параметры технологического оборудования лесопогрузчика.

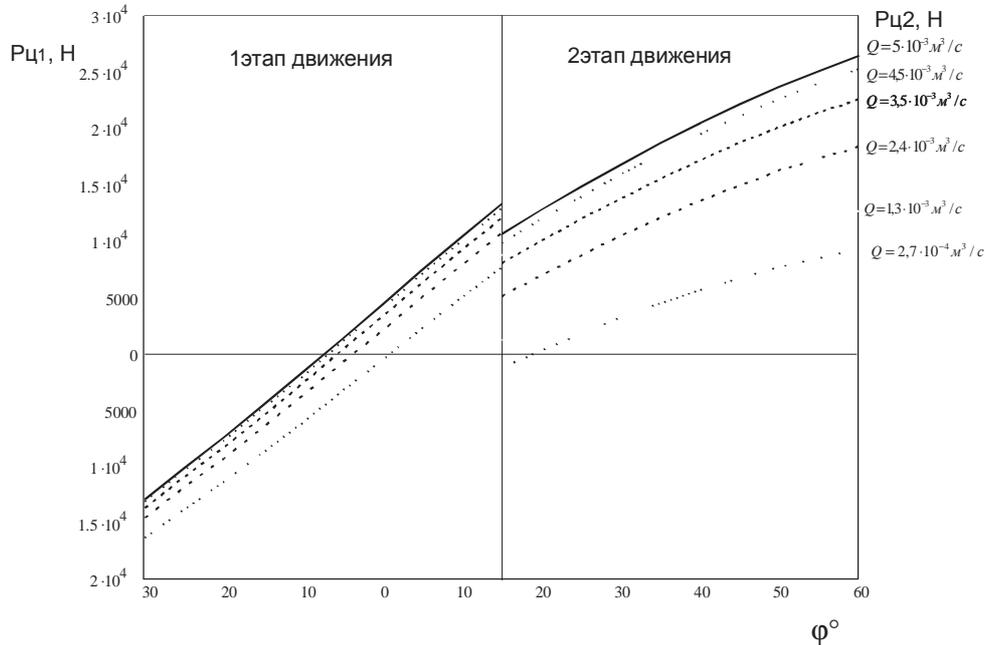
В качестве исходного значения параметра  $Q$  приняты характеристики насоса НШ-100, принятого при проектировании поворотных лесопогрузчиков ЛТ-210. Изменение параметра  $Q$  в реальных конструкциях дос-

тигается изменением частоты вращения вала насоса или установкой насосов с регулируемой производительностью при постоянной частоте вращения вала.

Исследование усилий на штоках гидроцилиндров подъема и выдвигания секций в зависимости от изменения линейной и угловой скоростей движения стрелы представлено на рис. 7 и 8.



**Рис. 7.**  $P = f(Q, \varphi)$ . Зависимость усилия на штоках гидроцилиндров подъема стрелы при одновременной работе МПС и МВС на первом и втором этапах движения при варьировании линейной и угловой скоростей движения стрелы



**Рис. 8.**  $P = f(Q, \varphi)$ . Зависимость усилия на штоках гидроцилиндров выдвигания секций при одновременной работе МПС и МВС на первом и втором этапах движения при варьировании линейной и угловой скоростей движения стрелы

Пределы варьирования переменной

$$2,7 \cdot 10^{-4} \leq Q \leq 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

При этом  $\beta = const$ ,  $\ell = const$ ,  $M_{2p} = 210 \text{кН} \cdot \text{м} = const$

**Оценим влияние расстояний между опорами на силы сопротивления перемещению подвижных секций стрелы.** Расчетная схема представлена на рис. 9.

Реакции опор механизма выдвигания секций влияют на силу трения, возникающую в опорах, и, следовательно, на величину необходимого усилия на штоках гидроцилиндров выдвигания секций.

Реакции опор зависят от взаимного расположения опор соответствующей секции. Исследуем зависимость нагруженности опор механизма выдвижения секций от варьирования переменных  $L2$  и  $L6$  (рис. 9).

Пределы варьирования переменных примем в соответствии с кинематическими параметрами механизма выдвижения секций:

$$L2 = 2 \text{ м}, 1,6 \leq L2 \leq 2,4 \text{ м};$$

$$L6 = 2,05 \text{ м}, 1,65 \leq L6 \leq 2,45 \text{ м}.$$

Шаги дискретизации факторов:

$$\Delta L2 = 0,1 \text{ м}, \Delta L6 = 0,1 \text{ м}.$$

На рис. 10 представлена зависимость изменения значений реакций опор механизма выдвижения секций при уменьшении расстояний между опорами.

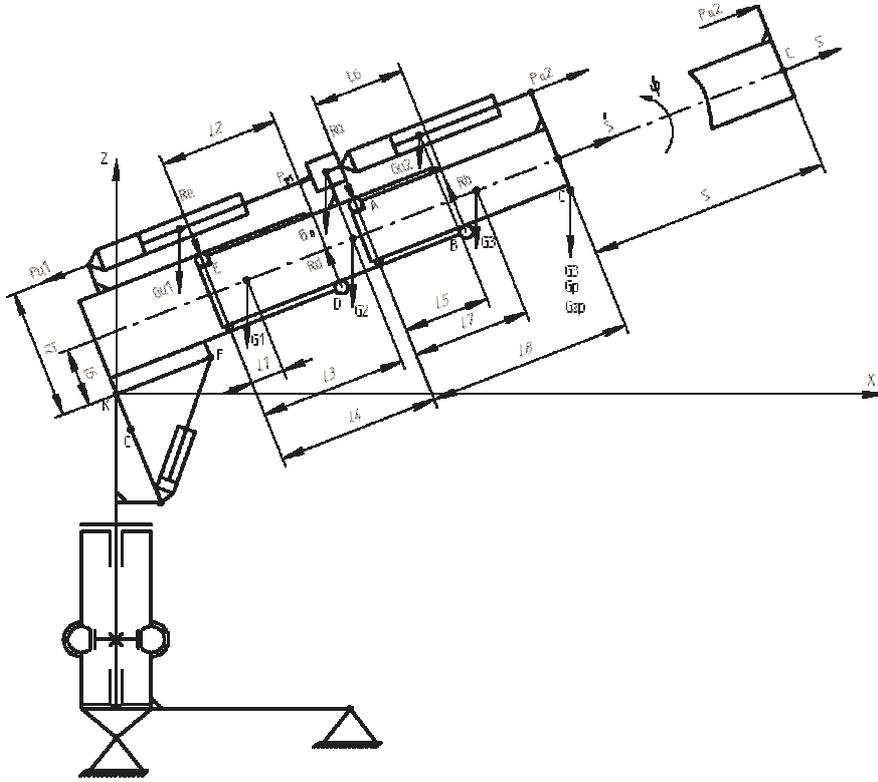


Рис. 9. Схема к определению нагруженности гидроцилиндров подъема стрелы

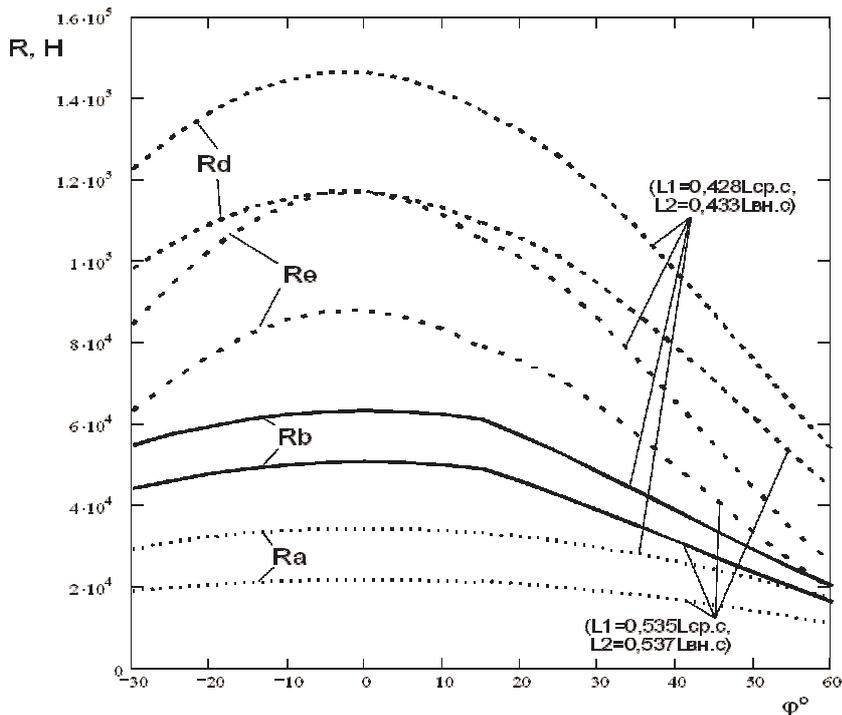
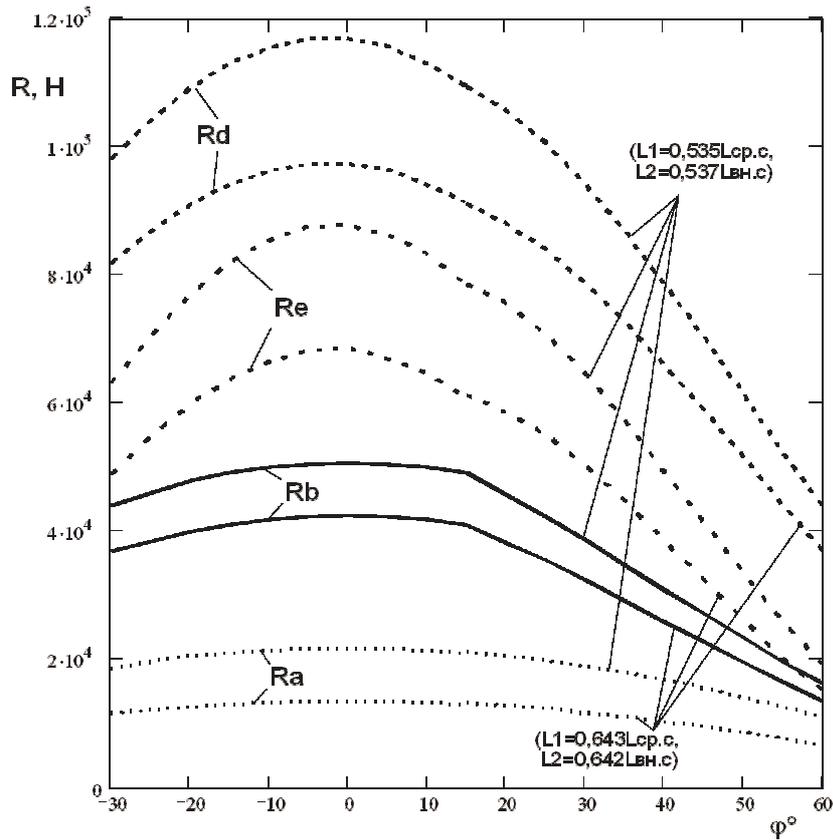
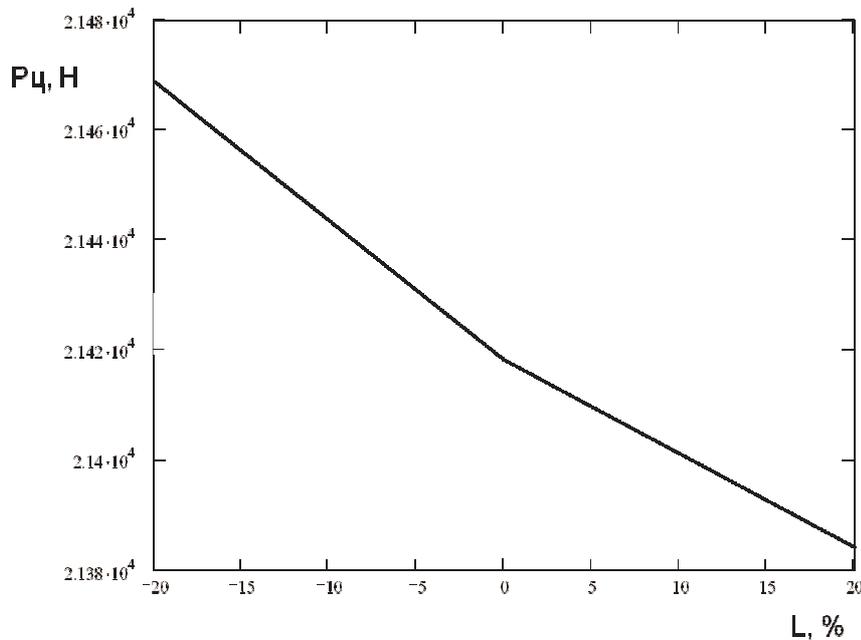


Рис. 10. Изменение нагруженности опор механизма выдвижения секций при уменьшении переменных  $L2$  и  $L6$  (расстояния между опорными катками подвижных секций)



**Рис. 11.** Изменение нагруженности опор механизма выдвигания секций при увеличении переменных  $L2$  и  $L6$  (расстояния между опорными катками подвижных секций)

На рис. 10, 11:  $L1$  – длина средней секции;  $L2$  – опорами средней секции;  $L_{вн.с}$  – расстояние между опорами внутренней секции;  $L_{cp.c}$  – расстояние между



**Рис. 12.** Зависимость максимального усилия на штоках гидроцилиндров выдвигания секций от расстояния между опорными катками подвижных секций (при угле поворота стрелы  $\varphi = 60^\circ$ )

На рис. 12 представлена зависимость изменения максимального усилия на штоках гидроцилиндров механизма выдвигания секций при варьировании расстояния между опорами.

### Анализ результатов моделирования. Выводы

1. Исследования изменения кинетической энергии системы (рис. 2) показали, что в процессе первого этапа движения начальное значение кинетической энергии возрастает в 1,5 раза. Рост кинетической энергии на первом этапе связан с увеличением моментов инерции движущихся масс, так как происходит выдвигание секций. Далее, вследствие мгновенного изменения количества поступательно движущихся масс, происходит скачкообразное увеличение кинетической энергии. Дальнейший рост кинетической энергии на втором этапе движения связан, также, как и на первом этапе, с увеличением моментов инерции движущихся масс. К концу второго этапа кинетическая энергия системы возрастает в 7 раз.

2. Анализ кривых  $P_i = f(\ell, \varphi)$  (рис. 3) показывает:

– усилие на штоке гидроцилиндра МПС возрастает с увеличением угла поворота стрелы, что обосновывается увеличением моментов инерции движущихся масс, и достигает максимального значения в крайнем верхнем положении стрелы;

– уменьшение величины параметра  $\ell$  на 0,05 м (8 %) приводит к увеличению нагрузок  $P1$  на 12,5 %;

– увеличение параметра  $\ell$  позволяет снизить нагрузки  $P1$  и  $P2$ . Увеличение  $\ell$  на 0,15 м (23 %) приводит к снижению величины  $P1$  и  $P2$  на 18,7 %.

3. Анализ кривых  $P_{Цi} = f(\ell, \varphi)$  (рис. 4) показывает:

– на первом этапе движения при значении переменной  $-30^\circ \leq \varphi \leq 0^\circ$  усилие  $P_{Ц1}$  имеет отрицательный знак. Это связано с тем, что стрела в рассматриваемом интервале изменения параметра  $\varphi$  движется в IV четверти круга, в котором тригонометрическая функция  $\sin \varphi$  имеет знак «-». Данная функция входит в математическую модель движения секций стрелы, вследствие этого усилия  $P_{Ц1}$  отрицательны. При переходе стрелы в I четверть круга знак  $\sin \varphi$  меняется на «+», поэтому усилия  $P_{Ц2}$  положительны;

– увеличение значения параметра  $\ell$  на 0,15 м (23 %) приводит к увеличению нагрузок  $P_{Ц1}$  на 1,4 %,  $P_{Ц2}$  – на 10,5 %;

– уменьшение параметра  $\ell$  позволяет снизить нагрузки  $P_{Ц1}$  и  $P_{Ц2}$ . Уменьшение  $\ell$  на 0,05 м (8 %) приводит к снижению величины  $P_{Ц1}$  на 1,25 %,  $P_{Ц2}$  – на 7,4 %.

4. Анализ полученных результатов усилия на штоке МПС (рис. 5) показывает:

– при  $\beta = 121^\circ$ ,  $\ell = 0,65 \text{ м}$  на участке движения стрелы  $-5^\circ \leq \varphi \leq -10^\circ$  кривая зависимости  $P_1 = f(\beta, \varphi)$  имеет локальный минимум – минимальное значение максимального усилия на штоке гидроцилиндра механизма подъема стрелы. Следовательно, в данной области функция обладает свойством унимодальности;

– на участке движения  $-30^\circ \leq \varphi \leq -10^\circ$  увеличение параметра  $\beta$  на 10 % приводит к увеличению усилия  $P1$  на 9 %. Уменьшение параметра  $\beta$  на 18 % позволяет снизить усилие  $P1$  на 6,4 %;

– дальнейшее движение при значениях параметра  $\varphi$  от 100 до конца первого этапа движения характеризу-

ется последовательным увеличением нагруженности штока гидроцилиндра МПС, что связано с увеличением моментов инерции движущихся масс;

– дальнейший рост усилия  $P2$  на втором этапе движения также связан с увеличением вылета стрелы;

– в конце второго этапа движения увеличение параметра  $\beta$  на 10 % позволяет снизить усилие  $P2$  на 4,5 %.

Уменьшение параметра  $\beta$  на 18 % повышает усилие  $P1$  на 13,2 %.

5. Анализируя результаты исследований усилия на штоках МВС (рис. 6), можно сделать следующие выводы:

– изменение параметра  $\beta$  оказывает незначительное влияние на нагруженность МВС;

– учитывать влияние параметра  $\beta$  при проектировании МВС поворотных лесопогрузчиков с переменным вылетом груза нет необходимости.

6. Анализ полученных результатов моделирования изменения усилий на штоках гидроцилиндров подъема и выдвигания секций в зависимости от изменения линейной и угловой скоростей движения стрелы (рис. 7, 8) показывает, что увеличение производительности насоса на 90 % приводит к увеличению линейной и угловой скоростей движения стрелы на 100 %, что отражается на повышении нагрузки на штоках гидроцилиндров МПС на первом этапе на 42 %, на втором этапе – на 50 %. Снижение величины  $Q$  на 90 % приводит к уменьшению линейной и угловой скоростей движения стрелы в 2 раза, что позволяет снизить нагрузки на штоках на первом этапе движения на 34 %, на втором этапе – на 40 %.

При увеличении  $Q$  на 90 % нагруженность МВС возрастает на 20 %. Уменьшение величины  $Q$  на 90 % позволяет снизить нагрузки на штоке гидроцилиндров МВС на 6 %.

7. Анализ нагруженности опор механизма выдвигания секций показывает (рис. 10, 11):

– наиболее нагруженной является опора  $Rd$  средней секции телескопической стрелы;

– динамика изменения нагруженности опор от расстояния между опорными катками подвижных секций показывает, что уменьшение расстояния между опорами на 20 % приводит к увеличению нагрузок  $Re$  на 33 %,  $Rd$  – на 25 %,  $Ra$  – на 56 %,  $Rb$  – на 24,2 %;

– увеличение расстояния между опорными катками подвижных секций на 20 % приводит к уменьшению нагрузок  $Re$  на 22,4 %,  $Rd$  – на 17 %,  $Ra$  – на 38 %,  $Rb$  – на 16 %.

8. Моделирование зависимости усилий на штоках гидроцилиндров выдвигания секций от расстояния между опорными катками подвижных секций показывает, что уменьшение расстояния между опорами на 20 % приводит к увеличению нагрузок на штоках гидроцилиндров выдвигания секций на 0,23 %. Увеличение расстояния между опорами приводит к снижению усилия на штоках гидроцилиндров выдвигания секций на 0,2 %.

9. Проведенные исследования позволяют на стадии проектирования оптимизировать параметры технологического оборудования поворотных лесопогрузчиков с переменным вылетом груза и являются вкладом в разработку теоретических основ создания и совершенствования лесопогрузчиков такого типа.

## Литература

1. Полетайкин В.Ф. Прикладная механика лесных подъемно-транспортных машин. Лесопогрузчики гусеничные: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2010. 247 с.
2. Колесников П. Г. Моделирование рабочих режимов лесопогрузчика с переменным вылетом груза: монография. Красноярск: СибГТУ, 2007. 126 с.
3. Муратов В.С., Ильин В.Ф., Поддубный В.Ф. Динамические нагрузки гидроцилиндра лесопогрузчика и регулировка предохранительной аппаратуры // ЦНИИМЭ.-Химки, 1980, 411 с.
4. Емтыль З.К. Совершенствование кинематики, динамики и конструкции лесопромышленных гидроманипуляторов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук .Воронеж, 2001. 35 с.

## References

1. Poletaykin V.F. Applied mechanics of forest hoisting-and-transport machines. Caterpillar loggers: monogr.Krasnoyarsk: SibSTU, 2010. 247 s.
2. Kolesnikov P.G. Modeling of operating modes of a logger with a variable load outreach. Krasnoyarsk: SibGTU, 2007. 126 s.
3. Muratov V.S., Il' yin V.F., Poddubny V.F. Dynamic loads of a logger hydraulic cylinder and the safety equipment adjustment // TsNIIME. Khimki, 1980. 411 s.
4. Emtil' Z.K. Perfecting of kinematics, dynamics and design of timber industry hydrolic manipulators: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk. Voronezh, 2001. 35 s.

УДК 674.07

## Исследование физико-химических свойств двухкомпонентных лакокрасочных материалов

Г.П. Плотникова<sup>a</sup>, Н.П. Плотников<sup>b</sup>, Н.Ю. Аксютенкова<sup>c</sup>

Братский государственный университет, Макаренко 40, Братск, Россия

<sup>a</sup>angara-galina-pavlovna@mail.ru, <sup>b</sup>n-plotnikov@mail.ru, <sup>c</sup>nataliya\_aksyutenkova@mail.ru

Статья поступила 4.09.2013, принята 17.11.2013

*Одним из способов получения светорассеивающего объемного оптического эффекта в объеме лакокрасочного покрытия для облагораживания мебельных изделий и щита является использование в лакокрасочном материале несовместимых полимеров, т. е. создание многокомпонентных лакокрасочных систем. Так, для формирования двухкомпонентной бинарной системы лакокрасочного покрытия с сохранением своего показателя преломления для каждой из фаз предлагается вводить в нитроцеллюлозную основу водную дисперсию поливинилацетата, что приведет к созданию гетерофазной коллоидной системы. Дополнительно известно, что нитроцеллюлоза и поливинилацетат являются совместимыми взаиморастворимыми полимерами. При их взаимодействии происходит диспергирование водной дисперсии поливинилацетата в среде нитроцеллюлозной основы. В результате диспергирования глобулы полимера фазы (поливинилацетатной дисперсии) будут окружены гидратными оболочками (нитроцеллюлозного лака). Процесс отверждения лакокрасочного покрытия будет происходить за счет испарения молекул воды, окружающих частицы полимера фазы. В результате реализуется так называемое «выкристаллизовывание» частиц поливинилацетата в объеме основного пленкообразующего без взаимодействия их с молекулами среды. Предполагается, что это должно отразиться на оптических свойствах сформированного покрытия в сторону создания объемного эффекта светопоглощения с сохранением его первоначальных физико-механических характеристик.*

**Ключевые слова:** лакокрасочный материал, нитроцеллюлозный лак, поливинилацетатная дисперсия, физико-химические показатели.

## Research into physical and chemical properties of two-component paintwork materials

G.P. Plotnikova<sup>a</sup>, N.P. Plotnikov<sup>b</sup>, N.Yu.Aksyutenkova<sup>c</sup>

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, Russia

<sup>a</sup>angara-galina-pavlovna@mail.ru, <sup>b</sup>n-plotnikov@mail.ru, <sup>c</sup>nataliya\_aksyutenkova@mail.ru

Received 4.09.2013, accepted 17.11.2013

*One of the ways to obtain light-diffusing volume optical effect throughout a paintwork coating to improve furniture products and board appearance is to use incompatible polymers in a paintwork material, i.e. creation of multicomponent paint and varnish systems. So, to form a two-component binary system of a paintwork coating preserving its refraction index for each phase, it is proposed to introduce nitrate base of polyvinyl acetate aqueous dispersion that will result in creation of heterophase colloidal system. It is also known that nitrocellulose and polyvinyl acetate are compatible mutually-soluble polymers. In their presence, the dispersing of polyvinyl acetate aqueous dispersion in the nitrate base medium occurs. As a result of dispersing, the phase polymer globes (polyvinyl acetate dispersion) will be surrounded by hydrated films (nitrocellulose varnish). The process of paintwork coating hardening will take place due*