

**Секция 2. Техника и технологии для реализации
природоориентированных решений и природоподобных практик
в лесном хозяйстве**

DOI: 10.58168/FFYS2024_60-64
УДК 630*36

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРЕЛЕВОЧНОГО
АГРЕГАТА С СИСТЕМОЙ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЛЕБАНИЙ
В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ**

Дерепаско Иван Викторович

*соискатель ученой степени кандидата наук, ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ
E-mail: derepaskoiv@mail.ru*

**MATHEMATICAL MODELING OF THE OPERATING PROCESS OF A SKIDDING UNIT
WITH AN ENERGY RECOVERY SYSTEM TO EVALUATE VIBRATIONS
IN THE LONGITUDINAL-VERTICAL PLANE**

Derepasko Ivan Viktorovich

*candidate for the degree of Candidate of Sciences, Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
E-mail: derepaskoiv@mail.ru*

Аннотация. В работе проведен анализ существующих тенденций развития сельскохозяйственного лесного оборудования, в частности бесчokerных трелевочных устройств. Выявлены недостатки существующих систем, связанные с наличием колебаний в процессе работы агрегата. На основе перспективной кинематической схемы разработана математическая модель, обозначающая перспективу развития научных исследования в данном направлении.

Abstract. This paper analyzes existing trends in the development of agricultural forestry equipment, specifically chokeless skidding devices. The shortcomings of existing systems associated with the presence of vibrations during operation of the unit are identified. Based on a promising kinematic scheme, a mathematical model is developed, indicating the prospect of scientific research in this direction.

Ключевые слова: бесчokerная трелёвка, рекуперативная система, гидравлическая система, гидроаккумулятор.

Keywords: chokeless skidding, recuperative system, hydraulic system, hydroaccumulator.

В российской лесной промышленности решается вопрос о механизации всех видов работ, что значительно повышает эффективность предприятий. В связи с этим, для сохранения экономической целесообразности, большое внимание уделяется поиску энергосберегающих решений.

Одним из наиболее эффективных способов транспортировки древесины является трелевка сортамента, которая экономически выгодна за счет отсутствия затрат на обустройство пути. В России для этой операции используются две группы машин: специальные харвестеры, форвардеры и другие крупногабаритные машины, а также трелевочные агрегаты, устанавливаемые на тракторы общего назначения. Вторая группа

более распространена, так как для небольших предприятий содержание специализированных машин часто оказывается нерентабельным. Таким образом, существует тенденция к увеличению научных исследований, связанных с повышением эффективности подобных машин.

Тракторы общего назначения, агрегируемые с трелевочными захватами, имеют ряд преимуществ перед крупногабаритными машинами: низкую стоимость эксплуатации, возможность использования агрегируемых тракторов в других целях, лучшую проходимость благодаря меньшим габаритам и массе, а также возможность подбора отдельных деревьев и регулирования объемов пачки древесины.

Важным элементом всех машин, используемых для подъема грузов, является гидропривод. Повышение его эффективности напрямую влияет на производительность лесных машин. В настоящее время у большинства существующих машин с гидроприводом имеется ряд недостатков. Характерными для трелевочных агрегатов являются значительные колебания в вертикальной плоскости при передвижениях по неровностям рельефа, возникающие, в связи с этим утечки рабочего тела и значительные динамические нагрузки на силовую систему агрегата существенно снижают эксплуатационно-технологические характеристики лесной машины.

Исследованиями динамики и кинематики рабочих процессов лесозаготовительных трелевочных машин посвящены работы многих ученых. Разработаны комплексы математических моделей работы гидроприводов в процессе трелёвки, а также процессов взаимодействия трелевочного агрегата с предметом труда - деревьями и решена задача оптимизации проектирования. Исследовались рабочие процессы с применением различных демпфирующих устройств. Основной целью проведенных исследований является повышение износоустойчивости агрегата. Однако рабочие процессы трелевки исследовались без возможности рекуперации энергии, с помощью гашения колебаний пачки бревен.

В настоящее время данную проблему принято решать внедрением системы рекуперации энергии, представляющей собой энергосберегающий гидропривод с манипулятором. Он позволяет значительно снижать динамические нагрузки в связи с гашением возникающих скачков давления в жидкости и использовать полученную в результате рекуперации энергию в рабочих процессах гидропривода. Такие системы уже применяются в машинах циклического действия в других отраслях промышленности, например, в манипуляторах. Перспективная гидросхема с использованием данной системы представлена на рис. 1.

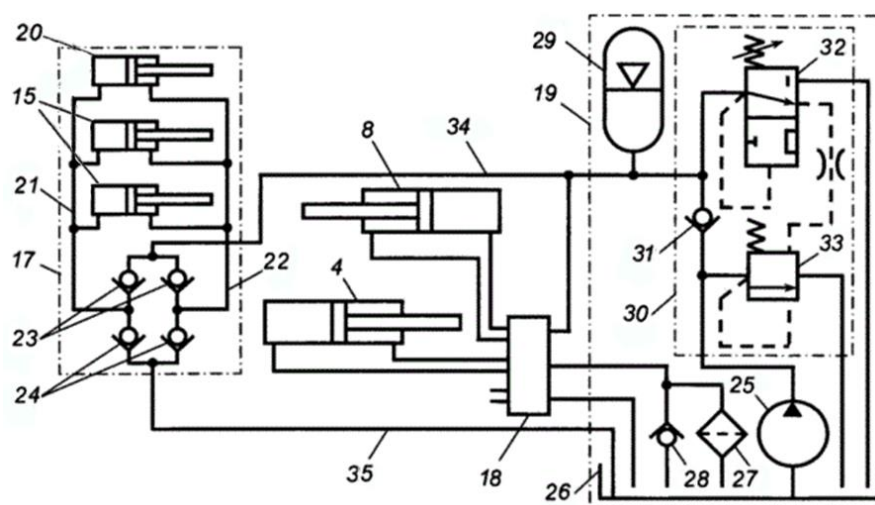


Рисунок 1 – гидравлическая схема трелевочного агрегата с системой рекуперации энергии: 20, 15 – гидроцилиндры рекуперации, 20 – гидроаккумулятор

Бесчокерное трелевочное устройство с энергосберегающим гидроприводом способно обеспечить меньшую потерю энергии непроизводительно теряемой из-за колебаний в различных плоскостях пачки деревьев, следовательно, значительно увеличить энергоэффективность рабочего процесса. Кроме этого, за счет демпфирующих качеств энергосберегающего гидропривода снижаются нагрузки на элементы конструкции трелевочного устройства и навесного механизма трактора и тем самым повышается их надежность.

Трелевка сортамента производится путем захвата ствола дерева за один конец (комлевой или вершинный). На рис. 2 изображена расчетная схема процесса трелёвки деревьев, для составления математической модели. Для упрощения системы уравнений отделим пачку бревен от стрелы трелевочного агрегата заменив их реакциями связей $P_x^{бр}$, $P_z^{бр}$.

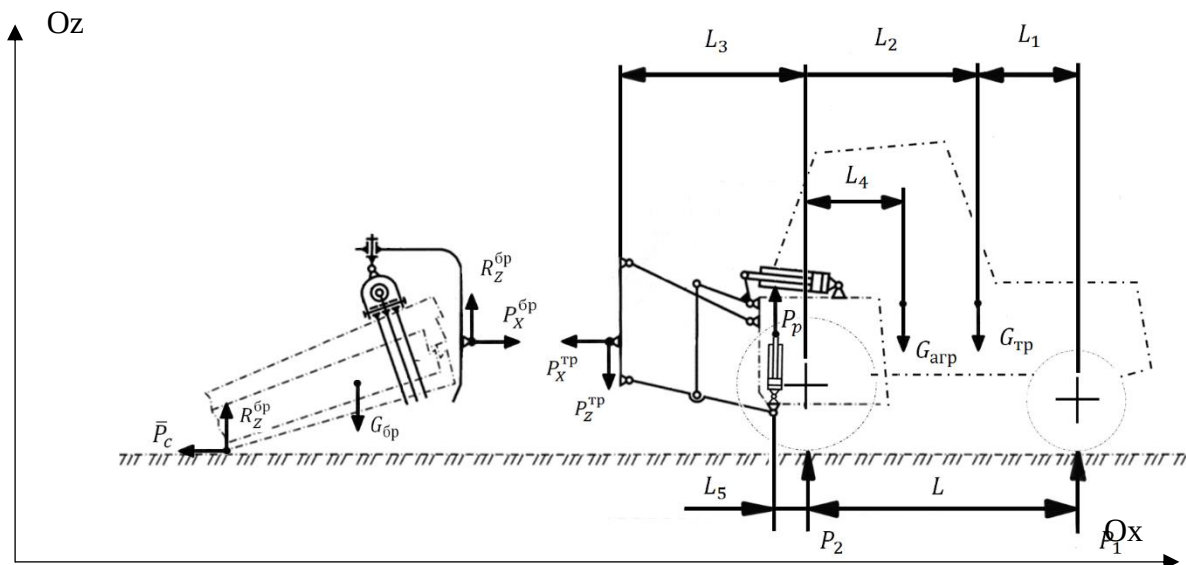


Рисунок 2 – расчетная схема перемещений трелевочного агрегата

Движение трактора относительно оси OX, является зависимостью от разности силы тяги $P_{тяги}$ и силы сопротивления P_c :

$$m_{тр} \ddot{X} = P_{тяги} - P_c. \quad (1)$$

Рассмотрим колебания тракторного агрегата относительно оси Oz.

$$m_{тр} \ddot{Z} = P_{п1} + P_2 - G_{тр3} - R_{арп}^z - S \cdot P, \quad (2)$$

где P_1 – сила реакции, возникающая в переднем мосту трактора; P_2 – сила реакции, возникающая во заднем мосту трактора; $G_{тр3}$ – вес трелёвочного агрегата; S – площадь поршня рекуперации; P – сила давления в гидроцилиндре рекуперации.

Вращательное движение, появляющееся при колебании трелёвочного агрегата вокруг оси Oy, описывается основным законом динамики и имеет вид

$$Y_{тр3} \ddot{\phi} = -P_{п1}(L_1 + L_2 + L_3) + P_2 \cdot L_3 + R_{арп}^z - S \cdot P \cdot l, \quad (3)$$

где $Y_{тр3}$ – Момент инерции агрегата относительно оси Oy, $P_{п1}$ – сила реакции переднего моста, P_2 – сила реакции заднего моста, L_1 и L_2 – расстояния от центра масс трактора до

переднего и заднего мостов соответственно, L_3 – расстояние между задней осью трактора и центром масс трелевочного агрегата, l – плечо силы давления на гидроцилиндре рекуперации, относительно центра масс системы. (мне кажется здесь тоже нужно ввести косинус для получения колебательного процесса).

Таким образом математическая модель рабочего процесса бесчokerного трелевочного устройства с энергосберегающим гидроприводом при рубках ухода за лесом состоит из следующих дифференциальных уравнений:

- 1) Уравнение движения агрегата вдоль оси OX:

$$m_{\text{тр}}\ddot{X} = P_{\text{тяги}} - P_c = P_2 \cdot \varphi_{cy} \cdot r_k - Q_2(f \cos \alpha \pm \sin + \frac{\ddot{x}}{y});$$

- 2) Уравнение вертикальных колебаний агрегата вдоль оси OZ:

$$m_{\text{тр}}\ddot{Z} = P_{\text{п1}} + P_2 - G_{\text{трз}} - R_{\text{агр}}^Z - S \cdot P;$$

- 3) Уравнение профильных колебаний агрегата вокруг оси OY:

$$Y_{\text{трз}}\ddot{\phi} = -P_{\text{п}}(L_1 + L_2 + L_3) + P_2 \cdot L_3 + R_{\text{агр}}^Z - S \cdot P \cdot l;$$

- 4) Уравнение расходов жидкости в гидросистеме рекуперации:

$$S \frac{dz}{dt} = k \cdot \sqrt{p - p_0} + k_p \cdot \frac{dp}{dt} + a_y P. \quad (4)$$

Последнее уравнение описывает процесс изменения давления в гидроцилиндре рекуперации. Оно основывается на системе уравнений расходов всей гидросистемы. Оно состоит из следующих величин):

S – площадь поршня;

$p - p_0$ – разность начального и текущего давлений в элементе гидросистемы;

k – коэффициент дросселирования штуцера,

$$k = \frac{\mu \pi d_{\text{ак}}^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}}. \quad (5)$$

Данная математическая модель, представляющая собой систему из четырех уравнений, описывает движения кинематической системы. Позволяет определить основные характеристики системы, а также потребные геометрические параметры для гидроцилиндра рекуперации. И определить рекуперированную энергию для частных случаев и оценить эффективность системы.

Список литературы

1. Способы снижения динамической нагруженности и энергоемкости технологических машин и оборудования / П. И. Попиков, Д. Н. Афоничев, И. В. Четверикова, А. В. Конюхов, А. В. Попикова // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы междунар. науч.-практ. конференции. – Воронеж, 2023. – С. 287-294.
2. Математическая модель рабочих процессов бесчokerного трелевочного захвата с энергосберегающим гидроприводом / Р. В. Юдин, П. И. Попиков, В. И. Усков,

- А. А. Платонов, В. П. Попиков, Д.А. Канищев // Ресурсы и технологии. 2022. Т. 19, № 1. С. 72-86.
3. Четверикова, И. В. К вопросу совершенствования гидропривода бесчokerного трелевочного захвата / И. В. Четверикова, С. В. Зимарин, А. В. Бурдыкин // Повышение эффективности лесного комплекса : Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2021. – С. 197-199. – EDN ROUESK.
 4. Протас П.А., Клоков Д.В. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 5, ч. 4. С. 256-260.
 5. Карпенко М.М., Пелевин Л.Е., Богдявичус М. Перспектива использования гидравлического энергосберегающего привода // СПбГЭУ технико-технологические проблемы сервиса. 2017. № 3 (41). С. 7-12.

References

1. Methods of reducing the dynamic load and energy intensity of technological machines and equipment / P. I. Popikov, D. N. Afonichev, I. V. Chetverikova, A. V. Konyukhov, A. V. Popikova // Energy efficiency and energy saving in modern production and society: materials of the international scientific and practical conference. Voronezh, 2023. P. 287-294.
2. Mathematical model of working processes of a trackless skidder with energy-saving hydraulic drive / R. V. Yudin, P. I. Popikov, V. I. Uskov, A. A. Platonov, V. P. Popikov, D. A. Kanishev // Resources and Technology. 2022, Vol. 19, No. 1, p. 72-86.
3. Chetverikova, I. V. To the issue of improving the hydraulic drive of a trackless skidder / I. V. Chetverikova, S. V. Zimarin, A. V. Burdykin // Improving the efficiency of forestry complex : Proceedings of the Seventh All-Russian national scientific-practical conference with international participation, Petrozavodsk, 25 May 2021. - Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2021. - P. 197-199. - EDN ROUESK.
4. Protas P.A., Klovov D.V. Analytical study of the process of interaction of wheeled skidders with a pack of whips and a drag // Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2014. Vol. 2, No. 5, part 4. P. 256-260.
5. Karpenko M.M., Pelevin L.E., Bogdiavicius M. Prospect of using hydraulic energy-saving drive // SPbSEU Technical and Technological Problems of Service. 2017. No. 3(41). P. 7-12.