

**ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ ТИПОВ КОМПОНЕНТОВ
ХОДОВОЙ ЧАСТИ КОЛЕСНЫХ СКИДДЕРОВ**

**CONFORMITY ASSESSMENT OF THE TYPES OF CHASSIS
COMPONENTS WHEEL SKIDDER**

Клоков Д. В., канд. техн. наук, доц.,

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь;

Гарабазжу А. А., канд. техн. наук, доц.,

Леонов Е. А., канд. техн. наук, доц.,

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

D. Klokov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus;
A. Harabazhyu, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
E. Leonov, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

Разработана методика оценки взаимодействия колесной трелевочной машины с транспортируемой пачкой хлыстов и трелевочным волоком, которая включает математическую модель процесса движения машины, динамические характеристики лесотранспортных путей и метод их определения. Результаты работы позволяют на стадии проектирования колесных трелевочных машин осуществлять обоснованный выбор их компоновочных параметров, а также повысить эффективность эксплуатации машин путем рационального их использования с учетом почвенно-грунтовых условий.

Ключевые слова: трелевочная машина, лесосечные работы, волок, исследование, взаимодействие, математическая модель.

The technique of measuring the interaction of wheel skidding machines with the conveyed bundle of whips and dragging track, which

includes a mathematical model of the process of movement of the machine, the dynamic characteristics forest ways and the method of their determination. The results allow for the design stage of wheel skidding machines to make informed choices of their layout options, as well as to increase the efficiency of operation of the machines by their rational use based on soil conditions.

Keywords: skidding machine, cutting works, skidding track, research, interaction, mathematical model.

Введение

К машинам, осуществляющим трелевку древесины, предъявляются высокие требования по проходимости, совместимости с лесной средой, безопасности, эргономике и др.

В соответствии с концепцией развития лесозаготовительной отрасли в Республике Беларусь создано собственное лесное машиностроение. На ведущих предприятиях (ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Амкордор» и др.) разработан целый ряд машин для заготовки древесного сырья: харвестеры, форвардеры, трелевочные и рубильные машины и другое оборудование. Учитывая высокую степень заболоченности лесфонда достаточное внимание уделяется разработке и эксплуатации трелевочных машин, осуществляющих трелевку хлыстов или сортиментного долготья. Так в настоящее время разработаны и выпускаются трелевочные машины с канатно-чокерным технологическим оборудованием, а также машины для бесчокерной трелевки хлыстов.

С целью обоснования параметров трелевочных машин различных типов и компоновки был разработан комплекс математических моделей процесса работы машин при выполнении ими технологических операций. Ниже приведена методика моделирования процесса движения трелевочных машин, которая учитывает реальные возмущающие воздействия (неровности поверхности волока, крутящий момент двигателя), а также реальные параметры машины.

Ввиду различной компоновки машин и вариантов технологического оборудования разработаны две расчетные схемы. Первая из которых соответствует машине типа 4К4 на базе серийного трактора с жесткой рамой (ТТР-401М, ТТР-411), а вторая (рисунок 1) машинам типа 4К4 и 6К6 на базе шасси с шарнирно-сочлененной рамой (МЛ-

127С, Амкодор 2243) [1–4]. Для каждой из них составлены математические модели, которые реализованы в процессе проектирования созданных и перспективных машин.

Разработка имитационной модели

Принятая расчетная схема (рисунок 1) учитывает упругую податливость почвогрунта, ввиду того, что при движении машины по трелевочным волокнам прогибы покрытия и шин машины являются измеримыми величинами.

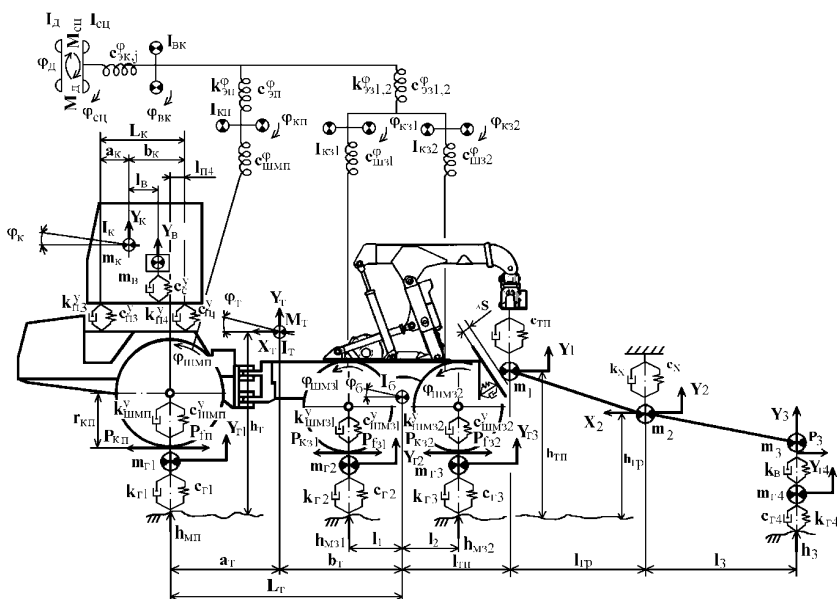


Рисунок 1 – Расчетная модель процесса движения трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой, учитывающая упругую податливость грунта

Комплекс математических моделей процесса работы машин при выполнении ими технологических операций. При разработке расчетной модели трелевочных машин был принят ряд допущений [5–10]: распределенные массы трансмиссии машины заменены сосредоточенными, соединенными безинерционными упруго-демпфирующими связями; машина движется прямолинейно без спусков и подъемов; колесная система рассматривается как плоская симметричная

относительно своей продольной оси; остов машины представляет собой твердое тело с продольной осью симметрии; колеса совершают безотрывное движение без бокового проскальзывания; беговая дорожка шины рассматривается в виде безинерционного обруча с радиусом, равным радиусу качения, а контакт колеса с дорогой точечным; жесткости шин, подвески, трансмиссии, постоянны, демпфирующие сопротивления пропорциональны первой степени скорости деформации; в элементах трансмиссии не учитывается жесткость зубьев зацепления, так как она значительно больше жесткости валов; высокочастотные колебания шестерен, валов и других деталей трансмиссии как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; механизм рулевого управления зафиксирован в положении, соответствующем прямолинейному движению трактора; колебания масс системы малые.

Применяя различные способы моделирования, измерения, записи и воспроизведения, можно получить наглядное представление об эксплуатационном нагрузочном режиме по его временной реализации.

При исследовании системы «машина – пачка хлыстов» распределенную массу пачки хлыстов разбиваем на три дискретные массы m_1 , m_2 , m_3 , соединенные между собой жесткостью c . Масса m_1 составляет часть пачки, нагружающую клещевой захват. Масса m_2 сосредоточена в центре тяжести пачки хлыстов и совершает колебания. Масса m_3 – часть пачки, волочащейся по микропрофилю волока. Связь трактора с хлыстом и клещевым захватом осуществляется посредством жесткости $c_{тп}$. Изгибные деформации хлыста моделируются упругим элементом с коэффициентом жесткости c_x . Все упругие звенья системы в направлении своей податливости обладают также демпфирующим сопротивлением.

Динамические характеристики лесотранспортных путей, необходимые для расчета математической модели динамики движения трелевочной машины с учетом упругой податливости грунта, определялись по экспериментальным данным ее колебаний, упругому прогибу дорожной одежды и параметров колесной нагрузки. При этом трелевочный волок может рассматриваться как однослойная или двухслойная (при армировании лесосечными отходами) конструкция, с заданными вязкоупругими свойствами каждого слоя [11–15].

Расчетная динамическая схема системы «двигатель – трансмиссия – движитель – предмет труда – почвогрунт» имеет 21 степень свободы.

Рассматриваемая система дифференциальных уравнений решается методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности с помощью комплекса специальных программ. Проведенные расчеты показали, что величина статистики D^2 не превышает значений области принятия гипотезы $\chi^2_{n,\alpha}$, равным 22,36.

Результаты расчета (процесс движения машины ТТР-401М со скоростью 2 м/с по пасечному волоку) показывают, что минимальные значения средних квадратичных амплитуд вертикальных реакций переднего моста имеют место при следующих параметрах жесткостей: шин переднего моста $c_{\text{шп}}=100$ кН/м; подвески переднего моста $c_{\text{пмп}}=200$ кН/м и шин заднего моста $c_{\text{шз}}=200$ кН/м. В тоже время отмечается неравномерность изменения ординаты, причем прослеживается ее зависимость от всех трех параметров.

Для случая с $c_{\text{шп}}=100$ кН/м при $c_{\text{пмп}}\geq 500$ кН/м и $c_{\text{шз}}\geq 650$ кН/м происходит резкое увеличение ординаты, а при дальнейшем возрастании этих величин система имеет неограниченное возрастание амплитуды, т.е. наступает явление резонанса. При $c_{\text{шп}}=200$ кН/м резкое возрастание ординаты начинается при $c_{\text{пмп}}\geq 300$ кН/м, для случая $c_{\text{шп}}=300$ кН/м – при $c_{\text{пмп}}\geq 400$ кН/м. Проведенный анализ позволил определить пределы жесткостей, при которых значения амплитуд реакций не превышают допустимый предел.

Анализ динамики груженого скиддера типа 6К6 показывает, что происходит разгрузка передних колес балансирной тележки и дополнительное нагружение задних колес вследствие влияния со стороны таких факторов, как параметры шин [7], балансира, и условий движения.

Анализируя полученные зависимости, можно проследить, что при движении по пасечному волоку отмеченный характер изменения среднеквадратичных значений угловых и вертикальных ускорений с увеличением скорости движения возрастает на всех нагрузочных режимах.

Поэтому движение по пасечному волоку рассматривалось как один из наиболее сложных режимов, так как, безусловно, при экс-

платации машины всегда возможны наезды на единичные неровности в виде пней или порубочных остатков.

Расчеты свидетельствуют, что рассматриваемые показатели для условий эксплуатации по дорогам с улучшенным покрытием в среднем имеют значения в 1,5 раза меньше, чем при движении по пасечному волоку (технологическому коридору).

Спектральный анализ процессов движения машины также подтверждает вывод о том, что с увеличением скорости частота изменения динамических реакций возрастает. Проанализировав процесс изменения динамических реакций, можно констатировать, что наиболее приемлемой схемой является лесная машина на базе шасси 6К6 с базой 3,8 м.

Однако, как и во всех рассматриваемых вариантах, одним из ограничивающих факторов выступает эксплуатационная скорость. Установлено, что по нагруженности переднего моста при движении по пасечному волоку скорость не должна превышать 5,3 км/ч. На магистральном волоке (лесной дороге) допустимая скорость до 9,5 км/ч, что явно достаточно для реализации показателей эффективности машины при эксплуатации.

При проектировании лесных машин используют, как правило, следующие основные критерии оптимальности: минимум приведенных затрат; максимум экономической эффективности; минимум потерь; технические критерии. В целом эти критерии являются комплексными, так как учитывают ряд различных факторов, влияющих на работу системы машины [16–17].

Параметры выходных процессов и их количество определяются в каждом конкретном случае конкретной постановкой задачи исследования. В качестве выходного процесса исследовались величина вертикальной динамической реакции мостов машины R_Y ($k_{дин}$), а также значения коэффициента динамичности $k_{дин}$.

Заключение

Как показал опыт эксплуатации созданных машин, применение разработанной методики позволяет обоснованно выбирать параметры трелевочных машин, сократить время проектирования и доводки опытных образцов, а также обеспечить совместимость машин с почвогрунтами в процессе их эксплуатации.

Рекомендуемые значения жесткости и коэффициента неупругого сопротивления снижают величину средних квадратичных значений динамических реакций мостов в среднем на 13–25 %.

Литература

1. Федоренчик, А. С. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ: учеб.-метод. пособие [Текст] / А.С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2016. – 204 с.

2. Клоков, Д. В. Оборудование лесопромышленных предприятий. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие [Текст] / Д.В. Клоков, И.В. Турлай, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 200 с.

3. Матвейко, А. П. Технология и оборудование лесосечных и лесоскладских работ. Практикум [Текст] / А.П. Матвейко, Д.В. Клоков, П.А. Протас. – Минск: БГТУ, 2013. – 197 с.

4. Федоренчик, А. С. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум: учеб. пособие [Текст] / А.С. Федоренчик, Д.В. Клоков, Е.А. Леонов. – Минск: БГТУ, 2015. – 212 с.

5. Жуков, А. В. Расчетные схемы и математические модели лесных машин: метод. пособие к практическим занятиям по дисциплине «Динамика машин и виброзащита» для студентов специальности 1–36 05 01 [Текст] / А.В. Жуков, Д.В. Клоков. – Минск: БГТУ, 2003. – 49 с.

6. Клоков Д. В. Обоснование параметров и оценка динамических показателей лесной колесной погрузочно-транспортной машины: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01: защищена 27.12.2001 / Д.В. Клоков. – Минск, 2001. – 166 с.

7. Супин, В. В. Напряженное состояние зубьев цилиндрических прямозубых колес / В.В. Супин, Д.В. Клоков // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. по итогам XIII Международ. науч.-техн. конф., Брянск, 11 апр.–11 мая 2011 г. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск: БГИТА, 2011. – Вып. 13. – С. 111–114.

8. Клоков, Д. В. Нагрузочные режимы трансмиссии форвардера / Д.В. Клоков, В.В. Супин // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам XII Международ. науч. - техн. конф., Брянск, 1 мая – 1 июня 2011 г. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. – Брянск: БГИТА, 2011. – Вып. 29. – С. 17–21.

9. Клоков, Д. В. Имитационная модель движения лесной погрузочно-транспортной машины типа 8К8 [Текст] / Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – Минск: БГТУ, 2008. – Вып. XVI. – С. 122–126.

10. Клоков, Д. В. Оценка нагрузочных режимов трансмиссий погрузочно-транспортных машин «БЕЛАРУС» [Текст] // Труды БГТУ. 2013. № 2 (158): Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 45–46.

11. Клоков, Д. В. Модель работы форвардера с учетом надежности [Текст] / Д.В. Клоков, Е.А. Леонов, И.В. Турлай // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообаб. пром.-сть. С. 23–26.

12. Протас, П. А. Аналитическое исследование процесса взаимодействия колесных трелевочных машин с пачкой хлыстов и волоком [Текст] / П.А. Протас, Д.В.Клоков // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2014. Т. 2, № 5–4 (10–4). С. 256–260.

13. Протас, П. А. Оценка воздействия колесных движителей форвардеров на лесные почвогрунты [Текст] / П.А. Протас, Д.В.Клоков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 2–2 (13–2). С. 322–326.

14. Ермалицкий, А. А. Особенности эксплуатации фронтальных лесопогрузчиков при проведении подготовительных работ по строительству лесных дорог [Текст] / А.А. Ермалицкий, Д.В. Клоков, А.И. Хотянович // Автомобильные дороги и мосты. – 2014. – № 2. – С. 103–107.

15. Клоков Д. В. Особенности эксплуатации форвардеров 6К6 при проведении основных лесозаготовительных работ [Текст] / Д.В. Клоков, А.А. Ермалицкий, Е.А. Леонов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2016 – №2 (176) – С. 28–30.

16. Леонов, Е. А. Обоснование межоперационных запасов сырья на лесоэнергетических терминалах с учетом загрузки основного технологического оборудования [Текст] / Е.А. Леонов, Д.В. Клоков // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). – С. 232–237.

17. Игнатенко, В. В. Установление рациональных параметров многооперационных машин в лесозаготовительной промышленности [Текст] / В.В. Игнатенко, Е.А. Леонов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5–4 (16–4). С. 291–295.