

УДК 629.114.2

В.А. Зеликов

Зеликов Владимир Анатольевич родился в 1974 г., окончил в 1996 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок и безопасности движения Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет более 35 научных работ в области технических средств и систем защиты машин от перегрузок.
E-mail: zelikov-vm@mail.ru



РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ ТРАКТОРА ЛХТ-55

Теоретически подтверждена целесообразность оснащения почвообрабатывающего агрегата на базе трактора ЛХТ-55 системой рекуперации энергии, позволяющей извлекать из непродуктивных потерь мощности около 3 кВт полезной; определены оптимальные показатели основных параметров рекуперативных гидроцилиндров.

Ключевые слова: рекуперация, энергосбережение, моделирование, лесной почвообрабатывающий агрегат, трактор ЛХТ-55.

Одним из направлений повышения эксплуатационных свойств лесных почвообрабатывающих машин является разработка систем рекуперации (СР) энергии [6]. Работа почвообрабатывающих агрегатов на лесных объектах сопряжена со значительными затратами энергии (и топлива) по сравнению, например, с работой сельскохозяйственных машин. Можно выделить три фактора, приводящих к нерациональным затратам энергии агрегата на лесных объектах:

сложный рельеф поверхности, вызывающий колебания корпуса трактора и навесного почвообрабатывающего орудия относительно трактора;

наличие большого количества препятствий в виде пней, корней, камней и т.п.;

необходимость часто отклоняться от прямолинейного движения для выбора безопасных или оптимальных траекторий агрегата.

Для преобразования большей части нерационально расходуемой энергии в энергию, пригодную для текущего использования (например для вибрационной интенсификации технологического процесса), сотрудниками ВГЛТА разработана и внедрена на предприятиях отрасли энергосберегающая система для агрегата сельскохозяйственного трактора ДТ-75 и культиватора КЛБ-1,7 [4]. Однако в лесном хозяйстве в основном используется трактор ЛХТ-55 и его модификации, поэтому в рамках данной работы выполнена теоретическая проверка работоспособности аналогичной системы рекуперации энергии для агрегата на основе трактора ЛХТ-55.

СР гидравлического типа состоит из трех видов рекуперативных элементов, размещаемых в каретках трактора (преобразуют в энергию колебания корпуса трактора), в системе навески (преобразуют в энергию коле-

бания почвообрабатывающего орудия относительно корпуса трактора), в предохранительном механизме рабочих органов почвообрабатывающего орудия (позволяют извлекать энергию при срабатываниях предохранителей при наездах орудия на препятствия) [2].

Для теоретического исследования было использовано имитационное компьютерное моделирование, которое позволяет еще до создания реального почвообрабатывающего агрегата оценить его эффективность и оптимизировать его конструктивные параметры. Это существенно уменьшает время и финансовые затраты на разработку агрегата с оптимальными параметрами [7]. В рамках модели были учтены три группы физических процессов.

К первой группе относятся процессы, происходящие в механической подсистеме агрегата. Они описываются уравнениями классической динамики. Агрегат разбивается на отдельные твердые тела (корпус трактора, балансиры кареток, рама культиватора, стойки с дисковыми батареями), которые могут совершать поступательное и вращательное движения в трехмерном пространстве [2]. Тела связаны между собой несколькими типами связей с помощью осей, тяг и пружин. Движение тел в модели описывается системой дифференциальных уравнений, составленной на базе основных законов поступательного и вращательного движения, известных из классической динамики.

Вторая группа – процессы в гидравлической подсистеме агрегата, в частности в системе навески, гидравлическом предохранительном механизме орудия, СР энергии. Описание данных процессов в модели проводится с использованием набора дифференциальных уравнений для отдельных элементов гидросистемы (гидроцилиндр, клапан, дроссель, трубопровод, тройник, пневмогидравлический аккумулятор) [5]. Указанные дифференциальные уравнения решаются совместно с уравнениями механической подсистемы.

Третья группа – процессы, происходящие при контакте гусениц трактора и рабочих органов орудия с почвой и препятствиями. При моделировании данной группы процессов принято предположение о вязкоупругом взаимодействии контактирующих объектов [1]. Рельеф поверхности и отдельные препятствия (пни) в модели представлены как функция высоты поверхности $h(x, y)$ в горизонтальных декартовых координатах [2, 5].

Для удобства исследования модели составлена программа на языке Object Pascal в среде визуального программирования Borland Delphi 7.0 (в настоящее время находится в стадии регистрации). Моделирование заключается в многократном проведении компьютерного эксперимента, во время которого агрегат проходит расстояние 100 м по модельному лесному участку. При этом фиксируется большое количество выходных характеристик, в частности мощность, извлекаемая СР. В программе предусмотрена возможность изменения основных конструктивных и технологических параметров, для чего перед началом ее работы появляется ряд форм с окнами для ввода параметров.

Оснащение агрегата СР эквивалентно введению дополнительных демпферов в колебательные системы агрегата. Чтобы проверить, как дополнительное демпфирование сказывается на динамических характеристиках

агрегата, были проведены компьютерные эксперименты: с отключенной и включенной СР. Анализу подвергались амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) колебаний, которые представляют собой спектры колебаний корпуса трактора $A_x(f)$ и $A_z(f)$ (где f – частота колебаний), рассчитанные Фурье-преобразованием временных зависимостей продольной горизонтальной $x(t)$ и вертикальной $z(t)$ координат центра тяжести трактора (рис. 1). Согласно физическому смыслу АЧХ, наличие на графике пика при некоторой частоте означает, что колебания корпуса трактора с данной частотой являются более выраженными, чем с другими частотами. Например, основная частота горизонтальных колебаний корпуса составляет около 0,35 Гц, т.е. примерно одно колебание в 3 с. Кроме того, ярко выражены колебания в частотном интервале 1,1 ... 1,6 Гц. Вертикальные колебания корпуса происходят в диапазонах 0 ... 0,7 и 1,5 ... 1,9 Гц.

При оснащении агрегата СР наблюдается некоторое изменение АЧХ горизонтальных колебаний в диапазоне частот 0,7 ... 1,3 Гц, а также вертикальных колебаний в диапазоне 1,7 ... 3,4 Гц (рис. 1). И горизонтальная, и вертикальная АЧХ в указанных частотных диапазонах понижаются. Это свидетельствует о том, что оснащение агрегата СР приводит к уменьшению динамических нагрузок его на узлы и улучшению условий работы водителя трактора. Причина улучшения спектров, объясняется именно тем, что СР оказывает на механическую систему дополнительный демпфирующий эффект. В среднем эффективное улучшение спектра составляет около 5 %.

Для исследования влияния скорости движения агрегата $v_{ар}$ на recuperируемую мощность N_p проведена серия компьютерных экспериментов, в пределах которых $v_{ар}$ изменяли от 0,25 до 1,75 м/с с шагом 0,25 м/с. Зависимость $N_p(v_{ар})$ имеет возрастающий характер, близкий к линейному (рис. 2). Увеличение N_p при увеличении $v_{ар}$ происходит из-за того, что с ростом скорости механизм подвески трактора подвергается большим динамическим нагрузкам. Вследствие этого возрастают амплитуды перемещения поршней recuperативных

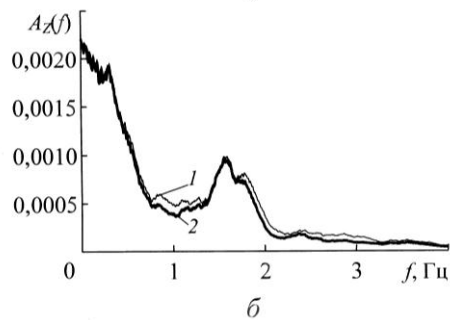
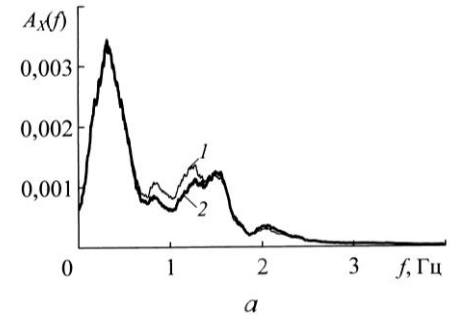
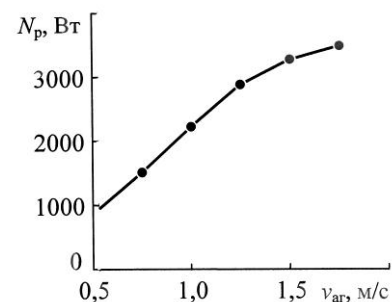
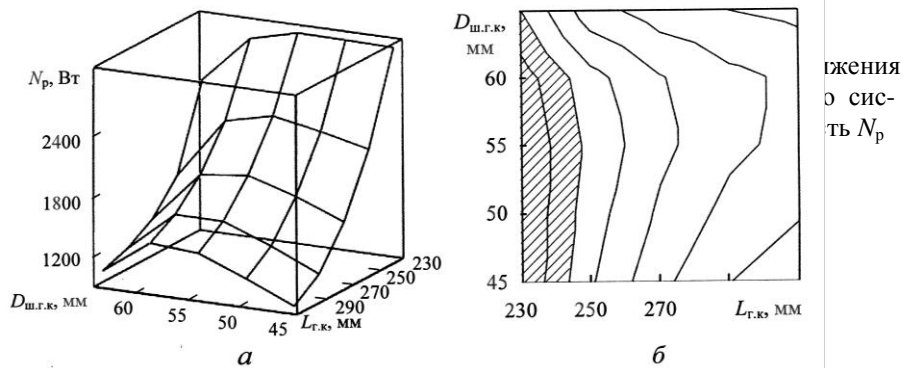


Рис. 1. Амплитудно-частотные характеристики горизонтальных $A_x(f)$ (а) и вертикальных $A_z(f)$ (б) колебаний корпуса трактора без СР (1) и с СР (2)



гидроцилиндров, установленных в механизме подвески, что приводит к увеличению насосного эффекта и рекуперлируемой мощности.

Основными параметрами СР, позволяющими существенно повысить эффективность рекуперации без переделки важнейших узлов агрегата, являются геометрические параметры рекуперативных цилиндров, установленных в каретках: диаметр штока гидроцилиндра $D_{ш.г.к}$ и длина хода штока $L_{т.к}$.



Решена задача оптимизации указанных параметров СР.

Рис. 3. Поверхность отклика $N_p(D_{ш.г.к.}, L_{т.к.})$ к оптимизации основных параметров рекуперативного гидроцилиндра (а) и благоприятная область (б) факторного пространства (заштрихована) на поверхности отклика, представленной линиями уровня

При оптимизации проводился поиск максимума функции $N_p(D_{ш.г.к.}, L_{т.к.})$ путем согласованного подбора факторов $D_{ш.г.к.}$ и $L_{т.к.}$. В процессе оптимизации фактор $D_{ш.г.к.}$ варьировали от 45 до 65 мм с шагом 5 мм, фактор $L_{т.к.}$ – от 230 до 310 мм с шагом 20 мм. Таким образом, чтобы перебрать все точки двухфакторного пространства $(D_{ш.г.к.}, L_{т.к.})$ и рассчитать в них критерий оптимизации, было выполнено 25 компьютерных экспериментов.

Важное преимущество двухфакторной оптимизации – возможность графически изобразить поверхность отклика и визуальнo ее проанализировать (рис. 3). Поверхность отклика ориентирована на углы, обеспечивающие ее наилучшее визуальное восприятие. Анализируя поверхность отклика, факторное пространство можно условно разделить (рис. 3, б) на две области:

благоприятную, в которой критерий N_p принимает искомые максимальные значения, и неблагоприятную [3]. Анализ конфигурации благоприятной области позволяет считать, что оптимальные значения параметров $D_{ш.г.к}$ и $L_{т.к}$ заключены в приблизительно прямоугольной области: $45 \text{ мм} < D_{ш.г.к} < 60 \text{ мм}$; $230 \text{ мм} < L_{т.к} < 245 \text{ мм}$.

Тот факт, что оптимальная область занимает значительную площадь факторного пространства, является важным положительным качеством предлагаемой СР. С одной стороны, это оставляет конструктору широкую свободу выбора параметров, в первую очередь $D_{ш.г.к}$ и $D_{ш.г.м}$ (где $D_{ш.г.м}$ – диаметр штока гидроцилиндра–мультипликатора давления), позволяет учесть какие-либо дополнительные требования, с другой – косвенно свидетельствует о малой чувствительности основных характеристик ТМ к внешним возмущающим воздействиям, что гарантирует устойчивую работу ТМ при эксплуатации агрегата.

Таким образом, теоретический анализ СР энергии почвообрабатывающего агрегата на базе трактора ЛХТ-55 показал, что СР оказывает благоприятное влияние на динамическое поведение агрегата. При изменении в широких пределах условий работы агрегата (в частности скорости) СР остается работоспособной и позволяет получать высокую мощность (2,5 ... 3,5 кВт). Определены оптимальные значения параметров рекуперативных гидроцилиндров ходовой части: $45 \text{ мм} < D_{ш.г.к} < 60 \text{ мм}$; $230 \text{ мм} < L_{т.к} < 245 \text{ мм}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтин А.А. Моделирование на ЭВМ процесса взаимодействия дискового ротационного орудия с почвой // Совершенствование технологических процессов и рабочих органов в растениеводстве и животноводстве: Сб. науч. тр. / СПб. – СПб, 1993. – С. 9–14.
2. Исследование с помощью математической модели динамики почвообрабатывающего агрегата, оснащенного системой рекуперации энергии / В.И. Посметьев [и др.] // Вестник ВГЛТУ. – 2006. – Т.2, вып. 8. – С. 44–47.
3. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
4. Посметьев В.И., Тарасов Е.А. Результаты экспериментальной проверки эффективности рекуперативного гидропривода для лесного почвообрабатывающего агрегата // Вестник МГУЛ. Лесной вестник. – 2006. – Препринт № 106. – С. 3–7.
5. Посметьев В.И., Тарасов Е.А., Снятков Е.В. Математическое моделирование почвообрабатывающего агрегата с рекуперативным гидроприводом // Технические науки. Северо-Кавказский регион. – 2006. – Прил. 5. – С. 82–84. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Свиридов Л.Т., Зеликов В.А., Лиференко А.В. Повышение эксплуатационных свойств лесных почвообрабатывающих орудий на основе компьютерного моделирования // Изв. СПбГЛТА. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – Вып. 186. – С. 92–100.
7. Хеерман Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике. – М.: Наука, 1990. – 176 с.

V.A. Zelikov

Simulation Results of Energy Saving System for Forest Soil-cultivating Aggregate on LHT-55 Tractor Base

The suitability of equipping the soil cultivating aggregate on the LHT-55 tractor base with the recuperation system is theoretically acknowledged. The system allows producing about 3 kW of operating power from nonproductive power losses. The optimal factors for basic parameters recuperation hydrocylinders are set.

Keywords: recuperation, energy saving, simulation, forest soil-cultivating aggregate, LHT-55 tractor
