

Е.А. Тарасов

Воронежская государственная лесотехническая академия

Тарасов Евгений Александрович родился в 1981 г., окончил в 2003 г. Воронежскую государственную лесотехническую академию, кандидат технических наук, ассистент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ВГЛТА. Имеет 35 печатных работ в области исследований ресурсосберегающих технологий при производстве, ремонте и эксплуатации лесных машин.
E-mail: bertolt@mail.ru



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ХОДОВОЙ ЧАСТИ ТРАКТОРА С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

С помощью имитационной динамической модели лесного почвообрабатывающего агрегата изучена возможность оснащения кареток трактора ДТ-75М рекуперативными элементами. Показано, что отбор энергии в каждой каретке до 0,7 кВт не ухудшает спектры колебаний корпуса трактора.

Ключевые слова: агрегат, рекуперация, имитационная модель, возмущающая функция, амплитудно-частотные характеристики, коэффициент демпфирования.

Снижение потерь энергии на преодоление сил инерции и тяжести при вертикальных и горизонтальных перемещениях лесных почвообрабатывающих агрегатов – одно из перспективных и актуальных направлений повышения их эффективности. Наиболее целесообразным способом уменьшения потерь является рекуперация (возвращение) в энергетическую установку машины той части потенциальной и кинетической энергии, которая бесполезно рассеивается в окружающую среду при непроизводительных холостых перемещениях рабочих органов и машины в целом. В этой связи подвижные элементы ходовой части гусеничного трактора могут быть оснащены рекуперативными элементами [2], играющими роль демпфера и уменьшающими горизонтальные и вертикальные колебания корпуса трактора при движении по лесным объектам с большим количеством препятствий и неровностей поверхности.

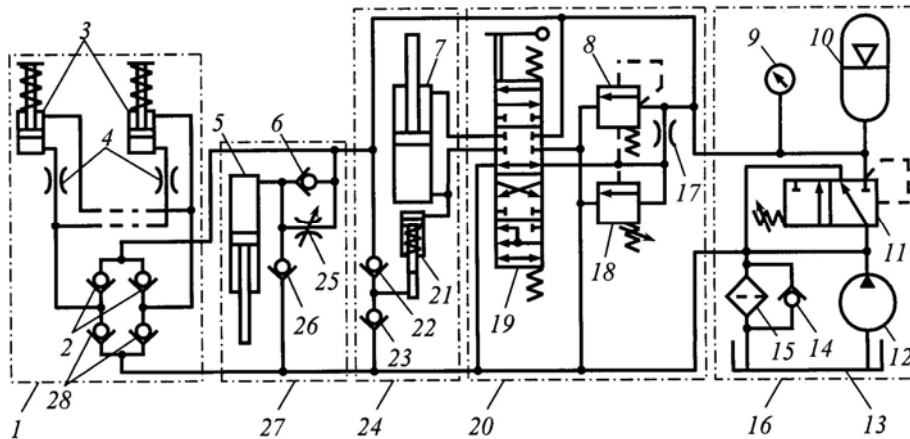


Рис. 1. Схема гидропривода почвообрабатывающего агрегата с рекуперативными элементами в нейтральном положении гидрораспределителя навесного механизма: 1, 24, 27 – системы рекуперации соответственно подвески трактора, навесного механизма и предохранителя почвообрабатывающего орудия; 2, 6, 14, 22, 23, 26, 28 – клапаны обратные; 3 – амортизаторы; 4, 17 – дроссели нерегулируемые; 5 – гидроцилиндр предохранителя рабочих органов навесного орудия; 7 – гидроцилиндр навесного механизма; 8 – клапан переливной; 9 – манометр; 10 – пневмогидроаккумулятор; 11 – клапан «ИЛИ»; 12 – насос; 13 – гидробак; 15 – фильтр; 16 – насосно-аккумуляторный узел; 18 – клапан предохранительный; 19, 20 – гидрораспределители; 21 – мультипликатор давления; 25 – дроссель регулируемый

В предложенной схеме гидропривода представлены три рекуперативных элемента: предохранительный механизм почвообрабатывающего орудия, навесной механизм и ходовая часть трактора. В гидропривод входит также секция стандартного гидрораспределителя и насосно-аккумуляторный узел. Принцип работы всех рекуперативных элементов основан на насосном эффекте, проявляемом при функционировании их гидроцилиндров с помощью системы дросселей и обратных клапанов (рис. 1) [2].

Первый рекуперативный элемент аккумулирует энергию при движении лесного почвообрабатывающего агрегата на объектах, когда трактор неизбежно испытывает значительные вертикальные нагрузки и перемещения. Последние поглощаются упругой системой ходовой части трактора и, в частности, его амортизаторами. В этом случае аккумулирование рабочей жидкости в пневмогидравлическом аккумуляторе осуществляется с помощью амортизаторов, дросселей и обратных нормально закрытых клапанов.

Второй рекуперативный элемент аккумулирует энергию, затрачиваемую трактором на преодоление рабочими органами почвообрабатывающего орудия непорезаемых препятствий (пни, валуны, крупные корни и т. п.). При этом стойка с рабочими органами отклоняется вверх относительно рамы орудия, а поршень гидроцилиндра предохранительного механизма вытесняет рабочую жидкость в пневмогидравлический аккумулятор.

После преодоления препятствия поршень гидроцилиндра возвращается в исходное состояние под воздействием ранее запасенной энергии в пневмогидравлическом аккумуляторе, причем вытесненная ранее рабочая жидкость компенсируется в гидроцилиндре предохранительного механизма с помощью насоса (рис. 1).

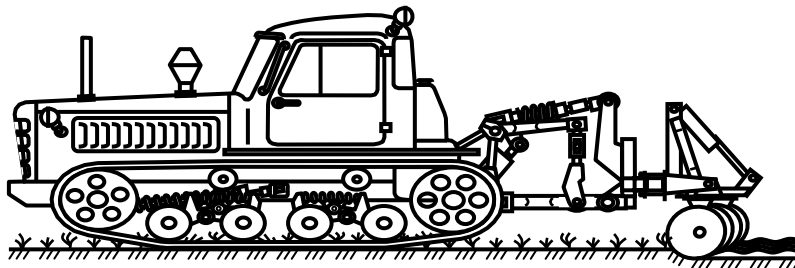
Третий рекуперативный элемент обеспечивает возвращение энергии в пневмогидравлический аккумулятор при демпфировании гидропривода навесного механизма, когда гидрораспределитель установлен в положения «нейтральное» или «опускание». Здесь роль насосного узла выполняет подпружиненный мультипликатор давления.

Все три рассмотренных рекуперативных элемента гидравлически связаны как с насосом, так и с пневмогидравлическим аккумулятором. Это обеспечивает надежную работу всего гидропривода лесного почвообрабатывающего агрегата, независимо от функционирования как совместного, так и каждого рекуперативного элемента автономно.

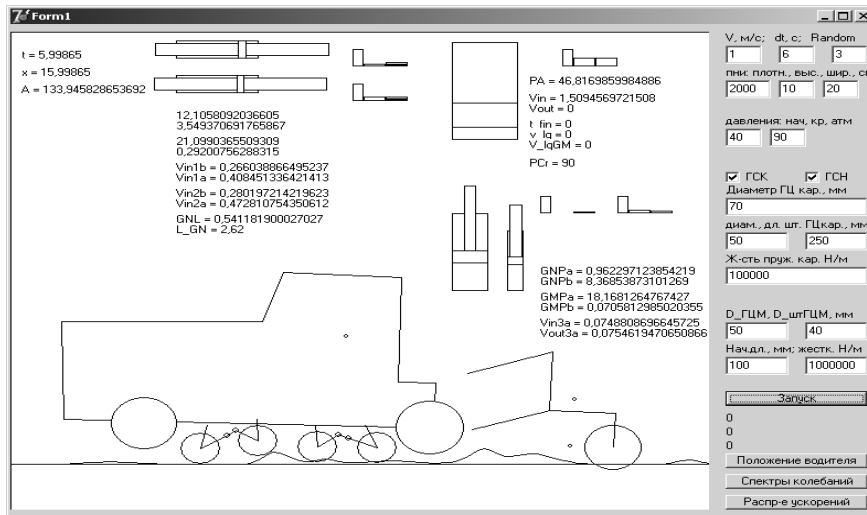
Для того чтобы в модели наиболее полно учесть все особенности работы агрегата, изучали трактор вместе с навешенным на него дисковым орудием (рис. 2).

Имитационная модель построена в соответствии с методикой [1]. Для составления системы из 34 дифференциальных уравнений на основе уравнений Лагранжа I рода с неопределенными множителями использован метод конечных элементов [3]. Агрегат рассматривали как совокупность семи плоских твердых тел, соединенных в некоторых контактных точках связями в виде шарниров, невесомых нерастяжимых тяг и пружин. Для численного интегрирования полученной системы уравнений использовали модифицированный метод Эйлера. Компьютерные эксперименты проводили с помощью специально составленной программы в среде Borland Delphi 7, на которую получено свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006613263.

Внешние возмущения в системе задавали через силы, действующие со стороны почвы и препятствий на катки кареток, ведущий и направляющий катки и дисковый рабочий орган. Поскольку в рамках модели гусеница непосредственно не рассматривается, для генерации возмущающей функции $q(x)$, т. е. рельефа поверхности, был использован алгоритм, позволяющий получить достаточно плавную $q(x)$. В частности, функция $q(x)$ являлась суперпозицией гауссовских пиков с параметрами x_i (положение препятствия), H_i (его высота) и σ_i (среднее квадратичное отклонение, задающее ширину препятствия). Гауссовские пики распределялись по длине контрольного участка случайным образом по равномерному закону. При этом параметры H_i и σ_i также выбирали случайным образом по равномерному закону в интервалах $[0; 0,1 \text{ м}]$ для H_i и $[0,05; 0,15 \text{ м}]$ для σ_i . Представленные в данной работе результаты соответствуют линейной плотности препятствий 1000 шт./км и скорости движения агрегата 2 м/с. При вычислении сил, действующих на тела агрегата со стороны поверхности, использована общепринятая вязкоупругая модель почвы [4].



а



б

Рис. 2. Исследуемый почвообрабатывающий агрегат на основе трактора ДТ-75М (а) и представление агрегата в модели (б)

Предлагаемые рекуперативные элементы должны быть расположены в каретках трактора и работать параллельно с ее серийными пружинами. Поэтому в модели рекуперативный элемент представлен в виде дополнительного демпфера серийных амортизаторов. Основной задачей компьютерного исследования являлось изучение влияния коэффициента демпфирования рекуперативного элемента θ на амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) колебаний корпуса трактора. Для этого проводили компьютерные эксперименты с $\theta_1 = 300$ Н·с/м (коэффициент демпфирования серийного амортизатора) и $\theta_2 = 8000$ Н·с/м (близкий к максимально возможному, при котором прекращается упругая реакция каретки на неровности поверхности).

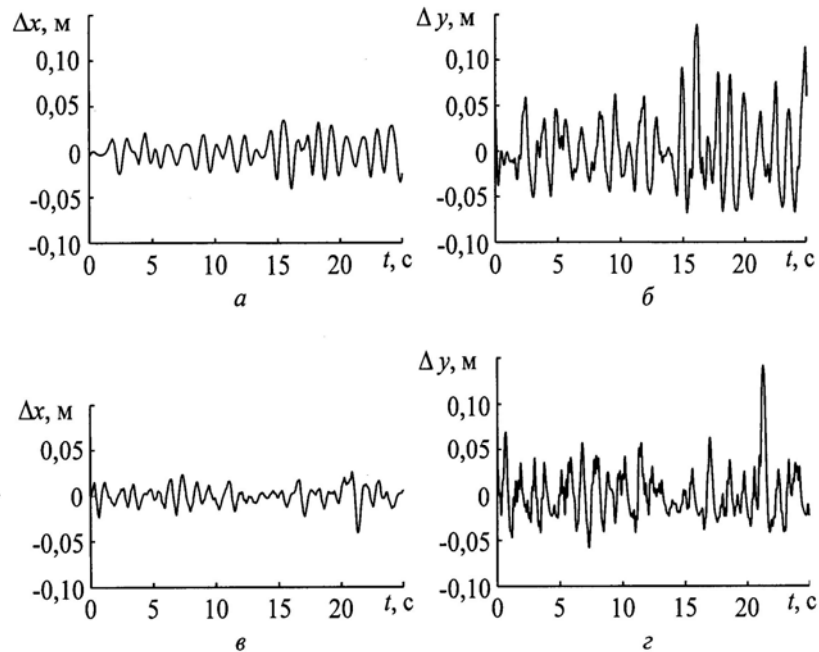


Рис. 3. Горизонтальные (а, в) и вертикальные (б, з) отклонения корпуса трактора ДТ-75М при коэффициентах демпфирования $\theta_1 = 300$ Н·с/м (а, б) и $\theta_2 = 8000$ Н·с/м (в, з)

Для достижения приемлемого статистического качества результатов в процессе компьютерного эксперимента агрегат перемещали на расстояние 1000 м. При этом фиксировали относительные горизонтальное $\Delta x(t)$ и вертикальное $\Delta y(t)$ отклонения точки расположения тракториста (рис. 3). Соответствующие АЧХ $A_x(f)$ и $A_y(f)$ (рис. 4) получены с помощью преобразования Фурье-функций $\Delta x(t)$ и $\Delta y(t)$.

Было обнаружено, что при большем демпфировании амплитуда отклонений $\Delta x(t)$ и $\Delta y(t)$ уменьшается (рис. 3). Анализ АЧХ показал, что при различных коэффициентах демпфирования форма функций $A_x(f)$ и $A_y(f)$ качественно не изменяется, однако при их увеличении уменьшается абсолютная величина функций.

Модель позволила подсчитать мощность, рассеиваемую в демпферах θ в процессе движения агрегата. При использовании вместо демпферов рекуперативных элементов данная мощность может быть возвращена обратно в энергетическую систему трактора. При $\theta_1 = 300$ Н·с/м рассеиваемая одним демпфером мощность составляет около 0,18 кВт, при $\theta_2 = 8000$ Н·с/м – около 0,70 кВт. Таким образом, при использовании рекуперативного элемента со значительным эффектом демпфирования возвращаемая с четырех кареток трактора мощность составляет около 2,8 кВт (≈ 4 л. с.) [5].

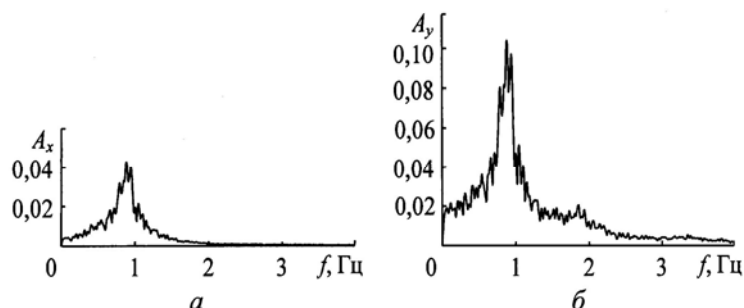


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики горизонтальных (а) и вертикальных (б) отклонений корпуса трактора ДТ-75М при коэффициенте демпфирования $\theta_1 = 300 \text{ Н}\cdot\text{с/м}$

Разработанная имитационная модель позволит в дальнейшем изучить возможность оснащения рекуперативными элементами другие части агрегата: навесной механизм трактора и предохранительное устройство почвообрабатывающего орудия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение, на основе математического моделирования, возможности оснащения почвообрабатывающего агрегата рекуперативным гидроприводом [Текст] / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.В. Посметьев, А.В. Лиференко // Физико-математическое моделирование систем: сб. науч. тр. / Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – Ч. 2. – С. 73–76.

2. *Посметьев, В.И.* Перспективные рекуперативные системы для гидроприводов лесных почвообрабатывающих агрегатов [Текст] / В.И. Посметьев, Е.А. Тарасов, В.С. Кухарев // Наука и образование на службе лесного комплекса: сб. науч. тр. / Воронеж: ВГЛТА, 2005. – Т. 2. – С. 132–136.

3. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ [Текст]: учеб. пособие / под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.

4. *Синеоков, Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин [Текст]: учеб. для вузов / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

5. *Тарасов, Е.А.* Совершенствование параметров ходовой части, навесного механизма и предохранителя, обеспечивающих топливную экономичность лесохозяйственных агрегатов [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Е.А. Тарасов. – Воронеж, 2007. – 16 с.

Поступила 15.05.07

E.A. Tarasov

Voronezh State Forestry Engineering Academy

Investigation of Recuperative Elements Efficiency of Tractor's Undercarriage by Simulation Dynamic Model

The possibility of equipping carriages of tractor DT-75M with recuperative elements is studied with the help of simulation dynamic model of forest soil cultivating aggregate. It is demonstrated that power removal in each carriage up to 0.7 kW doesn't impair the vibration spectra of the tractor's body.

Keywords: aggregate, recuperation, simulation model, disturbing function, gain-frequency characteristics, damping factor.