

мыми, наличие несобственных точек – расположением прообраза относительно предельной прямой. Для того, чтобы конструируемая кривая была замкнутой, необходимо, чтобы окружность-прообраз не пересекала предельную прямую.

Для использования данного способа в практике реального конструирования на алгоритмическом языке Турбо Паскаль разработана программа, которая позволяет строить кривые, отвечающие наперед заданным требованиям.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов Г.С. Конструирование технических поверхностей (математическое моделирование на основе нелинейных преобразований). – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
2. Sturm R. Die Lehre von den geometrischen Verwandtschaften. – Leipzig und Berlin: Druck und Verlag von B.G. Teubner, 1908. – Bd. 4. – 484 S.

Поступила 02.06.2006 г.

УДК 629.11.012(075.8)

### ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОСНАЩЕНИЯ КАРЕТОК ТРАКТОРА ДТ-75М РЕКУПЕРАТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В.И. Посметьев, Е.А.Тарасов, Е.В. Снятков, М.А. Латышева

Воронежская государственная лесотехническая академия  
E-mail: bertolt@mail.ru

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

Снижение потерь энергии на преодоление инерционных и сил тяжести при вертикальных и горизонтальных перемещениях лесных почвообрабатывающих агрегатов – одно из перспективных и актуальных направлений повышения их эффективности. Наиболее целесообразным способом снижения указанных 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 [1]. Рекуперативный элемент здесь играет роль демфера и уменьшает горизонтальные и вертикальные колебания корпуса трактора в процессе движения по лесным объектам с большим количеством препятствий и неровностями поверхности.

Для того, чтобы в модели наиболее полно учесть все особенности работы агрегата изучался не изолированный трактор, а агрегат полностью в снаряженном состоянии – вместе с навешенным на него дисковым орудием (рис. 1).

Имитационная модель была построена в соответствии с методикой [2]. В основе математической модели лежит система из 34-х дифференциальных уравнений. Для составления системы уравнений на основе уравнений Лагранжа I рода с неопределенными множителями использован конечноэлементный подход [3]. При этом агрегат рассматривался как совокуп-

ность семи плоских твердых тел, соединенных между собой в некоторых контактных точках связями в виде шарниров, невесомых нерастяжимых тяг и пружин. Для численного интегрирования полученной системы дифференциальных уравнений использовался модифицированный метод Эйлера. Компьютерные эксперименты проводились с помощью специально составленной программы в среде Borland Delphi 7.

Внешние возмущения в системе задавались через силы, действующие со стороны почвы и препятствий на катки кареток, ведущий и направляющий катки и на дисковый рабочий орган. Так как 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),  $H_i$  (высота препятствия) и  $\sigma_i$  (среднеквадратичное отклонение, задающее ширину препятствия).

Гауссовские пики распределялись по длине контрольного участка случайным образом по равномерному закону. При этом параметры  $H_i$  и  $\sigma_i$  также выбирались случайным образом по равномерному закону из интервалов:  $[0; 0,1 \text{ м}]$  для  $H_i$  и  $[0,05 \text{ м}; 0,15 \text{ м}]$  для  $\sigma_i$ . 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, была использована общепринятая вязкоупругая модель почвы [4].

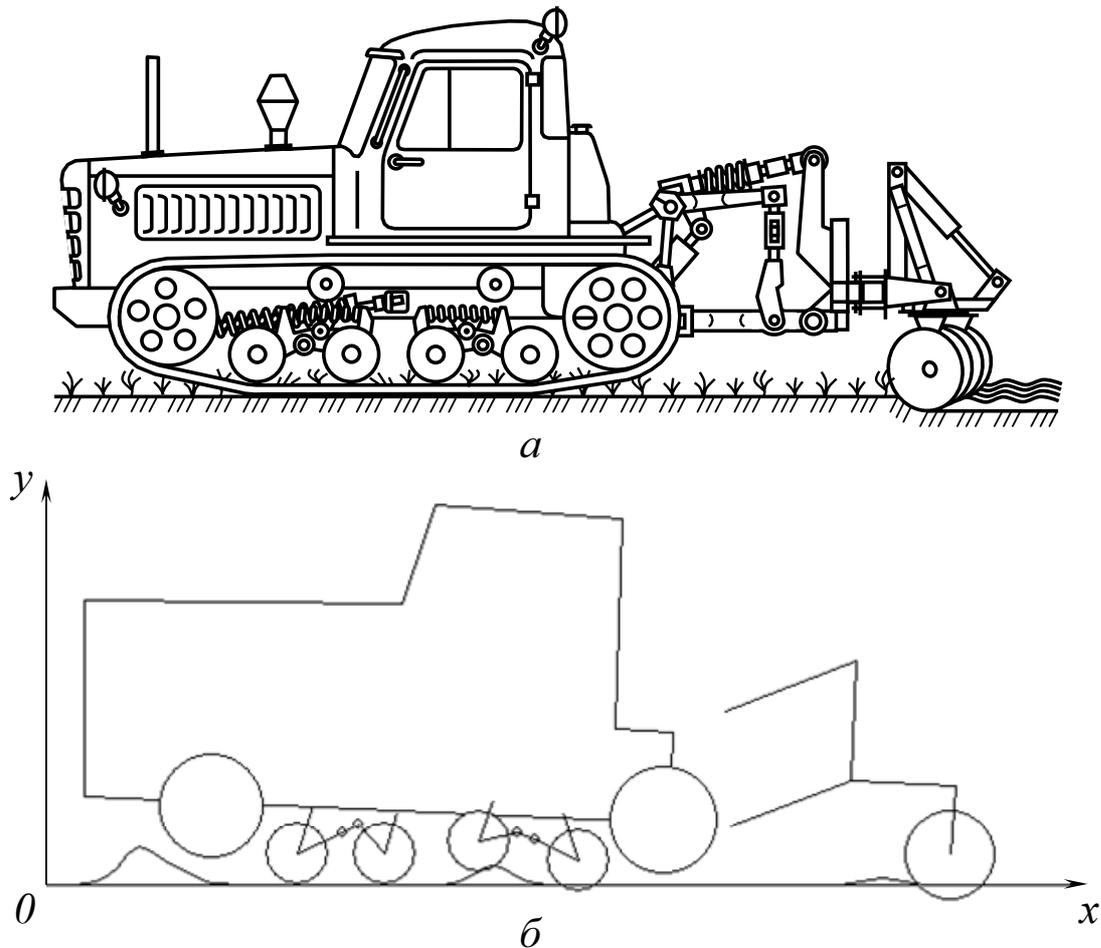


Рис. 1. Исследуемый почвообрабатывающий агрегат на основе трактора ДТ-75 М (а) и представление агрегата в модели (б)

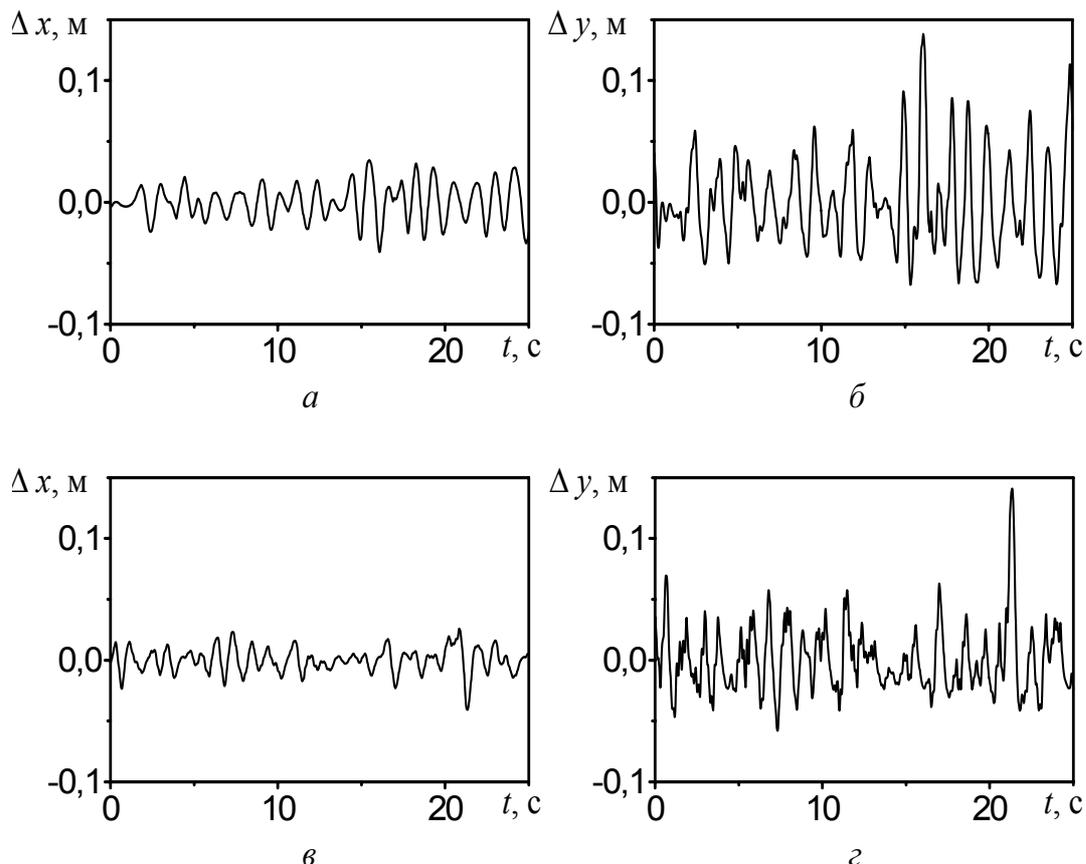
Предлагаемые рекуперативные элементы должны быть расположены в каретках трактора и работать параллельно с серийными пружинами каретки. Поэтому в модели рекуперативный элемент представлялся в виде дополнительного демпфера серийных амортизаторов. Основной задачей компьютерного исследования являлось изучение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

Для достижения приемлемого статистического качества результатов в процессе компьютерного эксперимента агрегат перемещался на длину 1000 м. При этом фиксировались относительные горизонтальное  $\Delta x(t)$  и вертикальное  $\Delta y(t)$  отклонения точки расположения точки трактора (рис. 2). Соответствующие АЧХ  $A_x(f)$  и  $A_y(f)$  (рис. 3) были получены с помощью преобразования Фурье-функций  $\Delta x(t)$  и  $\Delta y(t)$ .

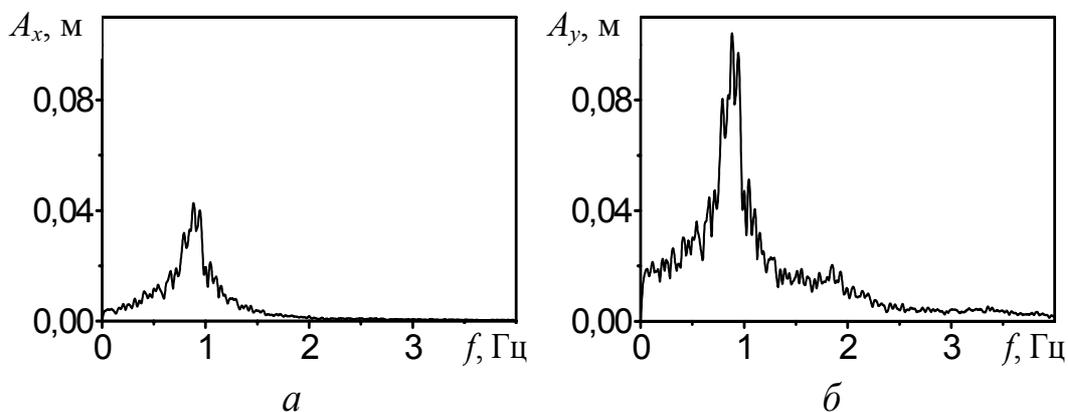
Было обнаружено, что при большем демпфировании амплитуда отклонений  $\Delta x(t)$  и  $\Delta y(t)$  уменьшается (рис. 2). Анализ АЧХ показал, что при различных коэффициентах демпфирования форма функций  $A_x(f)$  и  $A_y(f)$  качественно не изменяется, однако при увеличении коэффициента демпфирования функции уменьшаются по абсолютной величине.

Модель позволила подсчитать мощность, рассеиваемую в демпферах  $\theta$  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 (т. е. около 4 л.с.).

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



**Рис. 2.** Горизонтальные (а, в) и вертикальные (б, г) отклонения корпуса трактора ДТ-75 М при значениях коэффициента демпфирования  $\theta_1=300$  Н·с/м (а, б) и  $\theta_2=8000$  Н·с/м (в, г)



**Рис. 3.** Амплитудно-частотные характеристики горизонтальных (а) и вертикальных (б) отклонений корпуса трактора ДТ-75 М при значении коэффициента демпфирования  $\theta=300$  Н·с/м

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Посметьев В.И., Тарасов Е.А., Кухарев В.С. Перспективные рекуперативные системы для гидроприводов лесных почвообрабатывающих агрегатов // Сб. матер. МНПК: Наука и образование на службе лесного комплекса. – Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад., 2005. – С 132–136.
2. Посметьев В.И., Тарасов Е.А., Посметьев В.В., Лиференко А.В. Изучение на основе математического моделирования возможности оснащения почвообрабатывающего агрегата рекуперативным гидроприводом // Физико-математическое моделирование систем: Сб. матер. II Междунар. семина. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. – С. 73–76.
3. Расчет и проектирование строительных и дорожных машин на ЭВМ / Под ред. Е.Ю. Малиновского. – М.: Машиностроение, 1980. – 216 с.
4. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.

Поступила 19.07.2006 г.