

УДК 631.3.072

Т. А. Варфоломеева¹, Н. А. Поздняков², Г. И. Гедроць¹, С. В. Занемонский¹, А. С. Новик¹

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОЛЕСНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ В СОСТАВЕ МТА

¹ Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск, Республика Беларусь² Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь. E-mail: kaf.tia@bsatu.by

Аннотация. В статье рассмотрена математическая модель колесного сельскохозяйственного трактора, работающего с тяговой нагрузкой, в среде MATLAB/Simulink. Приведены результаты компьютерных испытаний машинно-тракторных агрегатов (МТА) в составе трактора «Беларус-1025» и навесного культиватора.

Ключевые слова: колесный трактор, математическая модель, тяговая нагрузка, MATLAB/Simulink, двигатель, механическая трансмиссия, ведущее колесо, буксование

Введение. Интенсивное развитие агропромышленного комплекса республики на основе внедрения высокоэффективных технологий невозможно без создания высокопроизводительных, надежных и экономичных МТА с широким комплексом современных многооперационных орудий. Оценка эффективности работы трактора в условиях эксплуатации имеет большое значение для анализа поведения трактора и его систем в различных эксплуатационных условиях и на различных режимах работы а также для оценки агрегатируемости трак-

тора как с точки зрения производительности так и экономичности МТА.

Составлена динамическая модель колесного сельскохозяйственного трактора, работающего с тяговой нагрузкой, в среде MATLAB/Simulink [1].

Математическая модель представляет собой описание составных элементов колесного сельскохозяйственного трактора и их взаимодействие с учетом действия систем автоматического управления и регулирования. Вид модели сельскохозяйственного колесного трактора и двигателя представлен на рис. 1, 2.

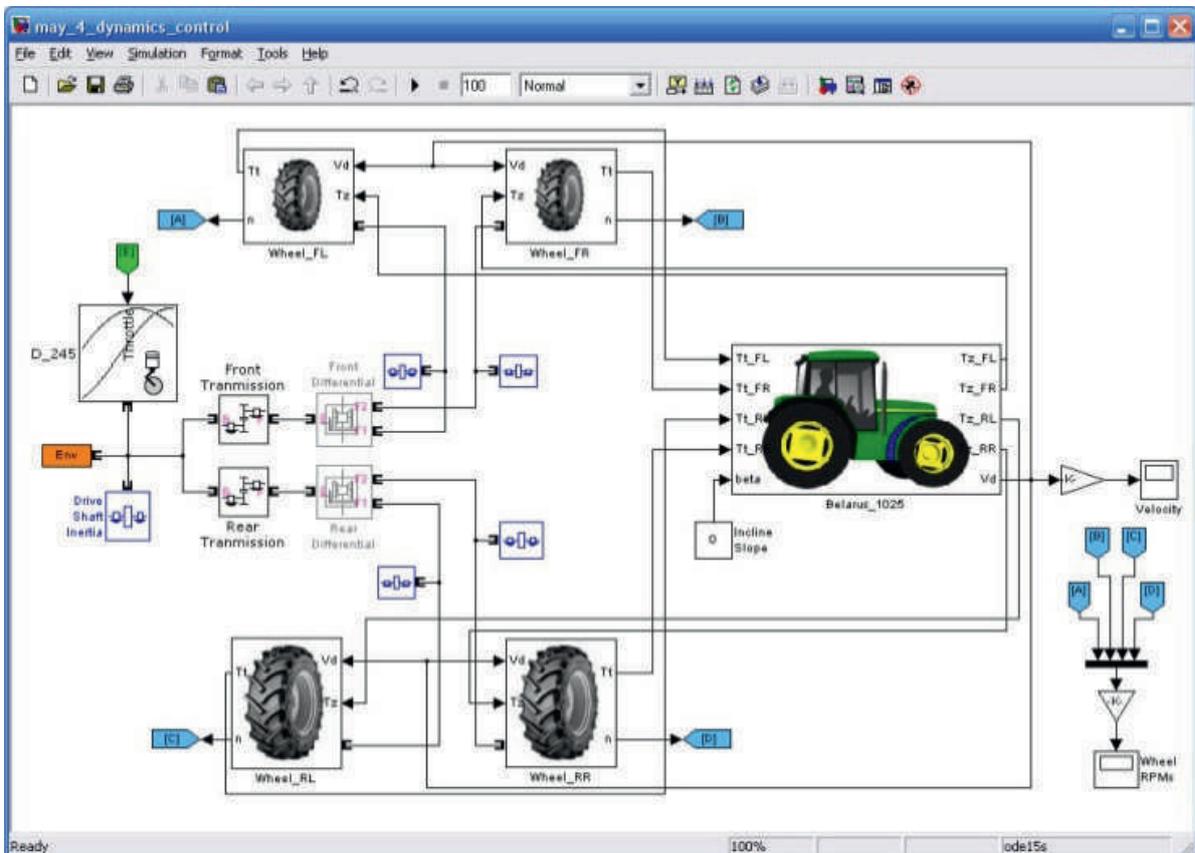


Рисунок 1. Общий вид модели трактора в среде Simulink

Выделены следующие составные элементы: двигатель, механическая трансмиссия, ведущее колесо с буксованием δ [2].

$$\delta = -\frac{\ln\left(1 - \frac{\varphi_i}{\varphi_{\max}}\right)}{k},$$

где φ_{\max} – максимально возможный коэффициент сцепления при 100 %-ном буксовании; k – параметр коэффициента сцепления φ_i .

Коэффициент сцепления на каждом шаге расчетного моделирования определяется как отношение вертикальной нагрузки T_z к касательной силе тяги T_k . Коэффициент φ_{\max} и параметр k должны быть получены по результатам испытаний пневматической шины на различных почвогрунтах. Колебания па-

раметров физических процессов взаимодействия ведущего колеса и почвогрунта также должны быть получены по результатам испытаний и заданы в модели в виде вероятностно-статистических данных для φ_{\max} . Результатами расчетного моделирования ведущего колеса является его частота вращения n и толкающая сила T_t , передаваемая на остова трактора и вызывающая изменение скорости его движения и определяемая как разность:

$$T_t = T_k - T_f - T_{кр},$$

где T_f – сила сопротивления качению, Н; $T_{кр}$ – часть общей силы тяги трактора приходящаяся на данное ведущее колесо, Н. Она пропорциональна вертикальной нагрузке T_z [3].

Подмодель ведущего колеса представлена на рис. 3.

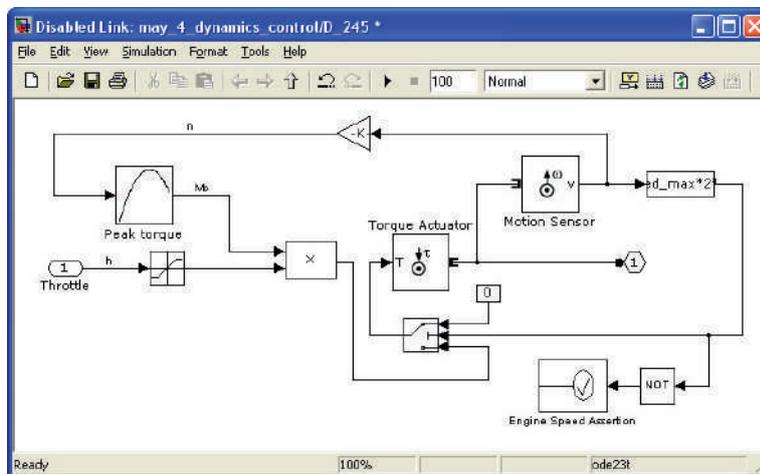


Рисунок 2. Подмодель двигателя трактора в среде Simulink

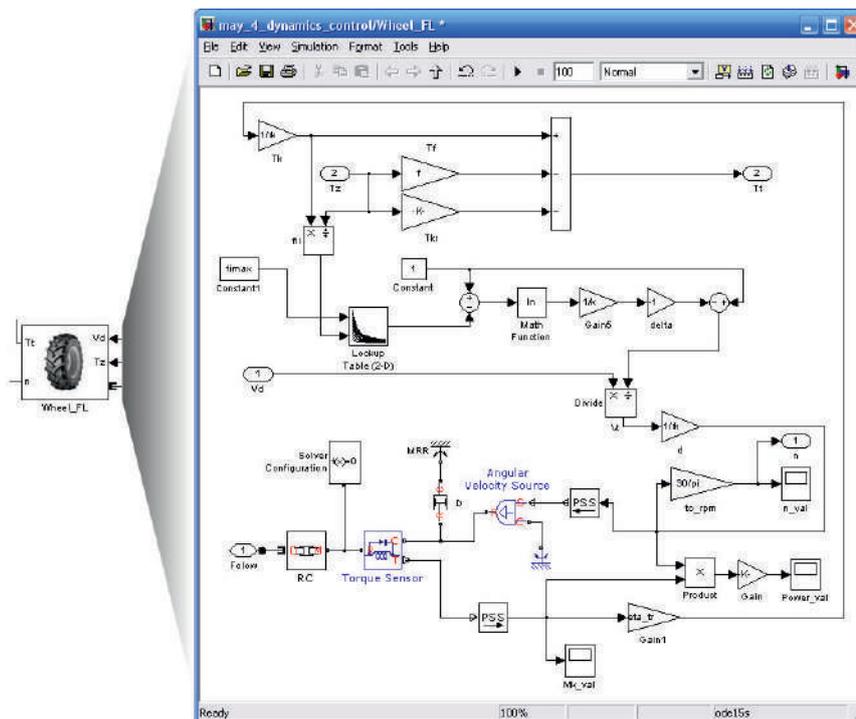


Рисунок 3. Подмодель ведущего колеса в среде Simulink

Остов трактора представляет собой подмодель (рис. 4) взаимодействия с ведущими колесами и окружающей средой с учетом среднего уклона макропрофиля поля. Результатами расчетного моделирования

остава трактора является его скорость движения, а также вертикальные нагрузки на колеса T_z , вычисляемые по заданным координатам положения центра тяжести и точки приложения тяговой нагрузки $T_{кр}$.

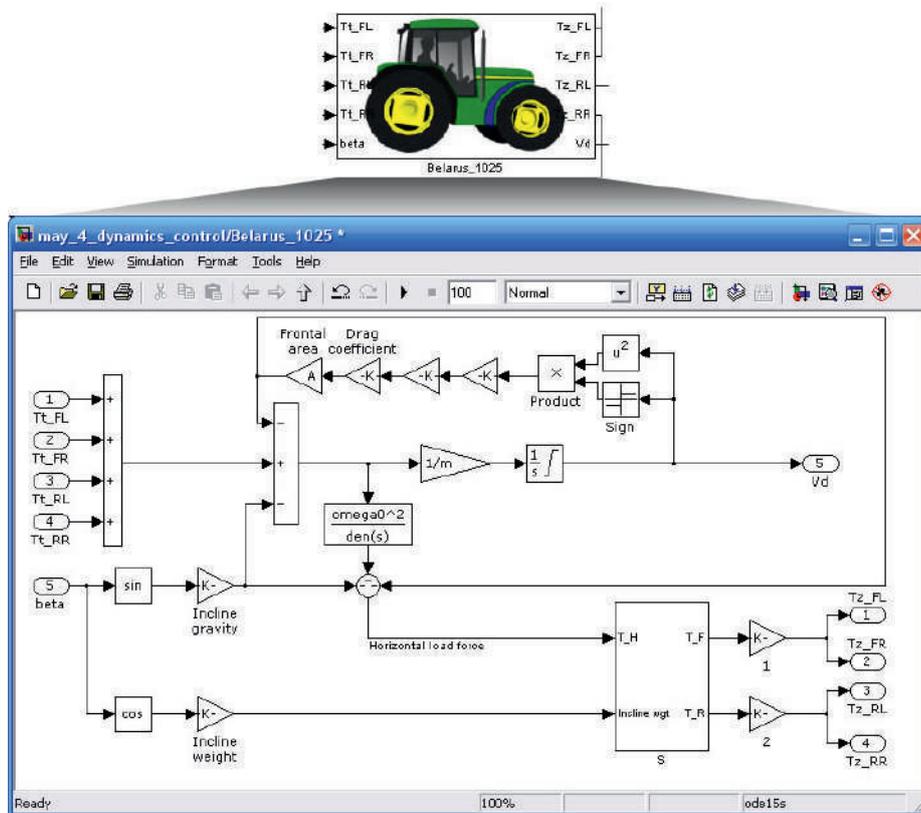


Рисунок 4. Подмодель остова трактора в среде Simulink

Циклограмма скоростей движения задается в виде зависимости требуемой скорости движения МТА от пройденного пути. Пройденный путь вычисляется путем интегрирования скорости движения по времени. Необходимо задать рабочую скорость и длину гона, а также скорости и пути движения на поворотах (разворотах) и холостых переездах.

Имитация действий оператора МТА при выполнении технологического процесса. Эта имитация реализована в диаграмме состояний Stateflow.

Расходомер топлива (рис. 5) получает сигналы от «датчиков» крутящего момента M_k и частоты вращения n_d двигателя а также положения педали h и по характеристике удельного расхода топлива в виде $g_e = f(h, n_d)$.

Результатом работы расходомера является вычисление значений и построение графиков удельного g_e , часового G_r , интегрального Q_r , и поектарного $G_{ра}$ расходов топлива за время компьютерных испытаний [3].

В качестве примера моделирования взят МТА в составе трактора «Беларус-1025» и навесного культива-

тора. Исходные данные для моделирования режимов работы МТА представлены в табл. 1.

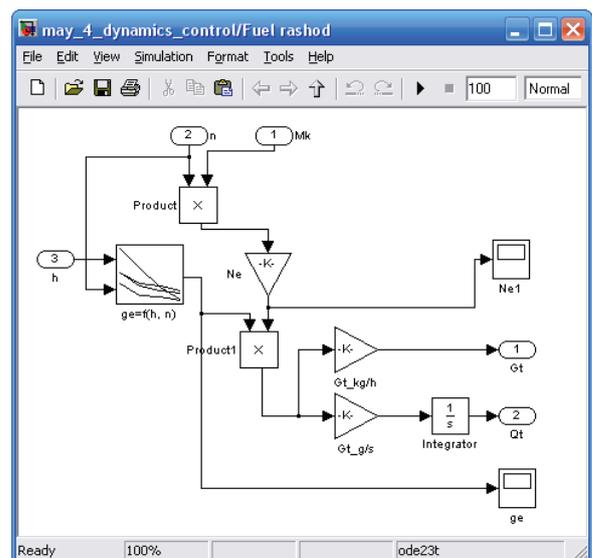


Рисунок 5. Подмодель расходомера топлива

Таблица 1 – Параметры трактора «Беларус 1025» и условия работы

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ЗНАЧЕНИЕ
Масса трактора, кг	7500
Колесная база, мм	2570
Координаты центра тяжести мм: по горизонтали от оси задних колес по вертикали от опорной поверхности	1007 1100
Передаточное число трансмиссии переднего моста	47,0237
Передаточное число трансмиссии заднего моста	74,2630
Радиус динамический, м: передних колес задних колес	0,496 0,650
Коэффициент сопротивления качению	0,85
Максимально возможный коэффициент использования сцепного веса	0,65
Масса плуга, кг	670
Средний уклон местности, %	2
Среднее тяговое сопротивление, Н	14000
Высота точки результирующей тягового сопротивления, м	0,4
Номинальная мощность двигателя, кВт	77,0
Номинальная частота вращения двигателя, мин ⁻¹	2200
Номинальный удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч)	236,0
Средняя длина гона, м	110
Способ движения	челночный
Путь, проходимый агрегатом за время поворота, м	30
Относительная влажность почвы, %	40

В качестве результатов испытаний использовались осциллограммы параметров МТА за время выполнения технологического процесса.

Результаты испытаний представлены на рис. 6...8.

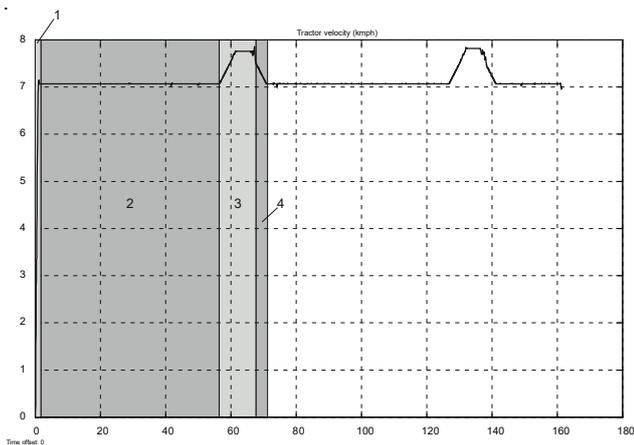


Рисунок 6. Фрагмент осциллограммы скорости движения МТА (в км/ч) в технологическом цикле: 1 – разгон МТА с места до рабочей скорости; 2 – движение на рабочей длине гона; 3 – движение на разворотной полосе; 4 – заглушение рабочих органов и выход на рабочую длину гона

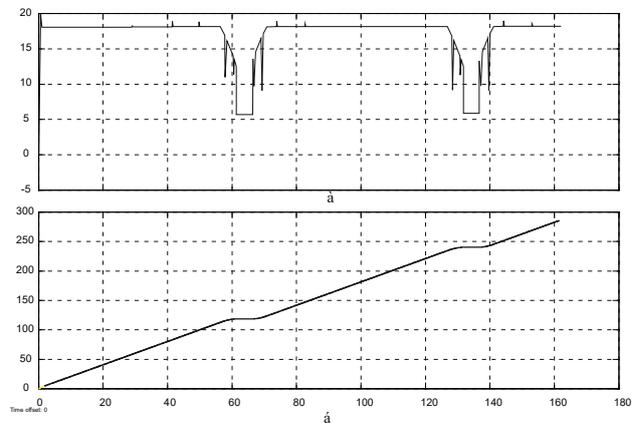


Рисунок 7. Фрагмент осциллограммы часового, а (в кг/ч) и интегрального, б (в гр.) расходов топлива МТА в технологическом цикле

На данных осциллограммах рис. 6, 7, 8 наблюдаются некоторые высокочастотные отклонения, связанные с особенностями используемых численных методов решения дифференциальных уравнений и выбранным шагом расчета. На осциллограмме буксования резкие колебания исследуемого параметра связаны со всплесками «паразитной» мощности из-за кинематического несоответствия в приводе передних и задних колес трактора рис. 8.

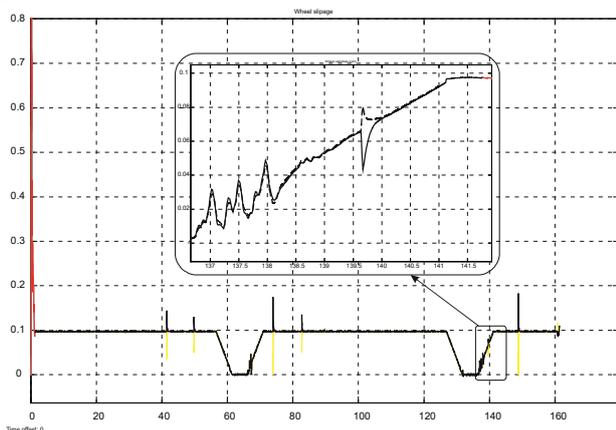


Рисунок 8. Фрагмент осциллограммы буксования передних (---) и задних (—) колес трактора в технологическом цикле

Выводы.

Предложена динамическая модель колесного сельскохозяйственного трактора, работающего с тяговой нагрузкой, в среде MATLAB/Simulink/.

С помощью математической модели, учитывая механическую трансмиссию, ведущие колеса, остов трактора, расход топлива, буксование ведущих колес с учетом разгона, движения на рабочей скорости, движения на разворотной полосе, заглубливание рабочих органов, возможно проводить расчетные исследования по оптимизации кинематических параметров трансмиссии сельскохозяйственного колесного трактора при выполнении основных видов работ.

Библиографический список

1. Черных, И. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. Черных. – М.: Диалог МИФИ, 2003. – 491 с.
2. Гуськов, В. В. Тракторы: ч. II. Теория. – Минск: «Высшая школа», 1977. – 384 с.
3. Поздняков, Н. А. Моделирование режимов работы сельскохозяйственного трактора в составе МТА / Н. А. Поздняков, В. В. Шилов, Т. А. Варфоломеева // Агропанорама. – 2019. – № 3. – с 35–38.