

Применение виртуальных испытаний при проектировании колесных погрузчиков

Дюжнев А. А.¹, канд. техн. наук; Яцкевич О. К.², канд. техн. наук;
Шапорова Е. В.^{1,2}

¹ОАО «АМКОДОР»-управляющая компания холдинга» Научно-технический центр

220013, Беларусь, г. Минск, ул. Петруся Бровки, 8

²Белорусский национальный технический университет

220013, Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 65

E-mail: mtools@bntu.by

Аннотация. Показана возможность применения цифровых моделей для виртуальных испытаний колесных погрузчиков. Коррекции параметров цифровой модели по экспериментальным результатам позволила достичь ее адекватности для поставленных задач исследования и получить доступ к внутренним параметрам динамической системы привода хода. В результате разработанная модель позволяет имитировать переходные и установившиеся режимы работы, включая механические нагрузки, кинематические и тепловые параметры компонентов.

Ключевые слова: цифровая динамическая модель, режимы работы, гидромеханическая передача.

Application of virtual tests in the design of wheel loaders

Djuzhev A. A.¹, Yatskevich O. K.², Shaporova E. V.^{1,2}

¹Joint Stock Company AMKODOR, holding managing company

²Belarusian National Technical University

Annotation. The article shows the possibility of using digital models for virtual tests of wheeled loaders. Correction of the parameters of the digital model based on experimental results made it possible to achieve its adequacy for the assigned research tasks and gain access to the internal parameters of the dynamic travel drive system. As a result, the developed model allows simulating transient and steady-state operating modes, including mechanical loads, kinematic and thermal parameters of components.

Keywords: digital dynamic model, operating modes, hydromechanical transmission.

Введение. В 2019 г. были отмечены неоднократные претензии потребителей и рекламации из-за перегрева гидромеханической передачи (ГМП) при транспортных переездах погрузчиков «Амкодор 334С», оснащенных гидротрансформаторами без муфты свободного хода (МСХ). По настоянию маркетинга штатные гидротрансформаторы были доработаны с установкой МСХ, после чего замечания прекратились. В 2022 г. затруднения в закупке комплектации актуализировали вопрос возможности исключения МСХ для погрузчиков грузоподъемностью 4 т.

Поскольку тягово-скоростные расчеты используются для оценки потенциала машин при максимальном нагружении, их результаты не позволяют выполнить

корректный прогноз влияния особенностей трансмиссии на потребительские качества погрузчика. Поэтому эта оценка выполнена путем проведения натурных и виртуальных исследований. Объектом сравнительных исследований определен погрузчик «Амкодор 342С4» с ГМП 342.17.010, оснащенной гидротрансформаторами: ГТ 320 с МСХ и без нее, в сравнении с серийным ГТ 350 с МСХ. Оформлена карта опыта № 123-2021 с программой испытаний.

Исследования цифровой модели. Цифровая динамическая модель силовой установки и приводов погрузчика «АМКОДОР» (рис. 1) выполнена по методике Siemens (модуль AMESIM, [1–3]), которая верифицирована разработчиками применительно ко всем отраслям машиностроения. Она предусматривает задание экспериментальных характеристик: ДВС в виде серии кривых «частота вращения-момент» с интерполяцией по уровню загрузки, гидротрансформатора в форме диаграмм $I_{гт} - M_{н}$, $I_{гт} - K_{т}$ в том числе с учетом температуры масла, вентилятора и радиатора системы охлаждения ГМП, упруго-массовые характеристики всех элементов приводов, параметры и закон изменения коэффициента трения фрикционов, законы управления.

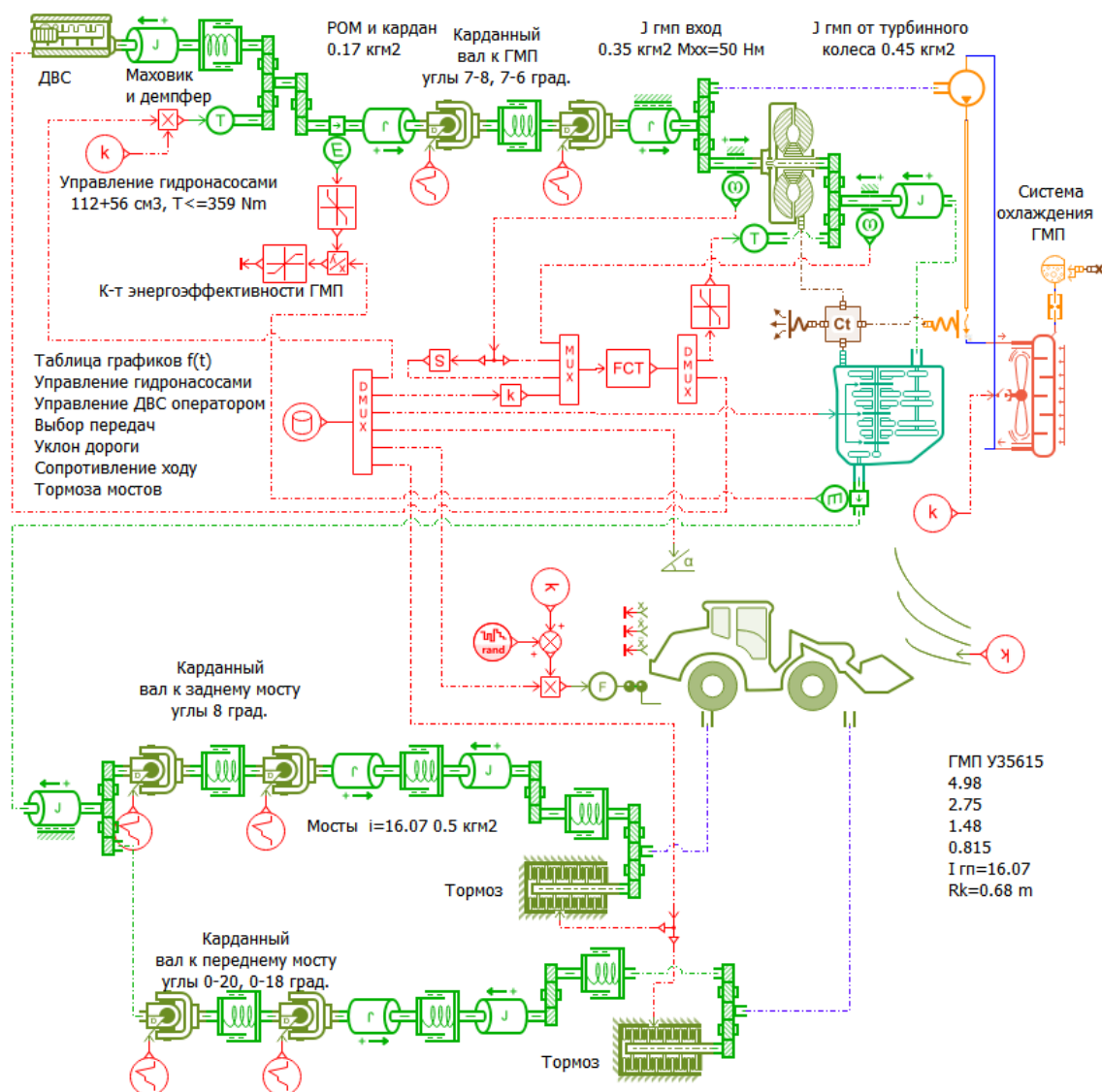


Рис. 1. Цифровая модель погрузчика «Амкодор 342С4»
Fig. 1. Digital model of Amkodor 342S4

Выбор передач, процент загрузки ДВС, изменение уклона дороги, изменение сопротивления ходу, включение тормозов, управление гидронасосами заданы как функция времени (табл. 1). Массовые характеристики машины и компонентов задаются как константы.

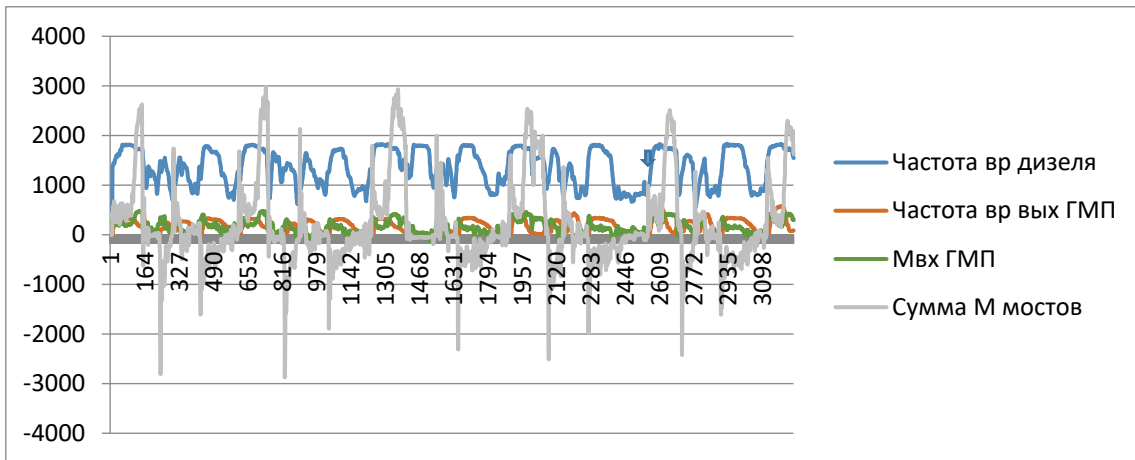
Таблица 1. Сравнительные результаты исследований
Table 1. Comparative results of studies

Параметры	Результаты опытов		Результат ЦМ	
	ГТ350 с МСХ	ГТ320 с/без МСХ	ГТ350 с/без МСХ	ГТ320 с /без МСХ
Максимальная скорость на 1-й передаче, км/ч	6,95	6,73/6,62	6.46/6,47	6,48/6/46
Максимальная скорость на 4-й передаче, км/ч	39,4	36/33,5	39/38.5	35,8/37,9
Время цикла погрузки, с	26	27/30	27/27,2	29/30
Кинетическая энергия массы машины к началу врезания, кДж	12,6	8,4/8,36	10,9/10,87	7,5/7,4
Удельный расход топлива в цикле погрузки на 1 т, %	100	98,8/104.2	–	–
Удельный расход топлива на 1 км пробега, %	100	117/122	–	–
Температура ГМП, приведенная к 40 °С при переезде, °С	109	117/117	108,7/108,3	119,2/114,4

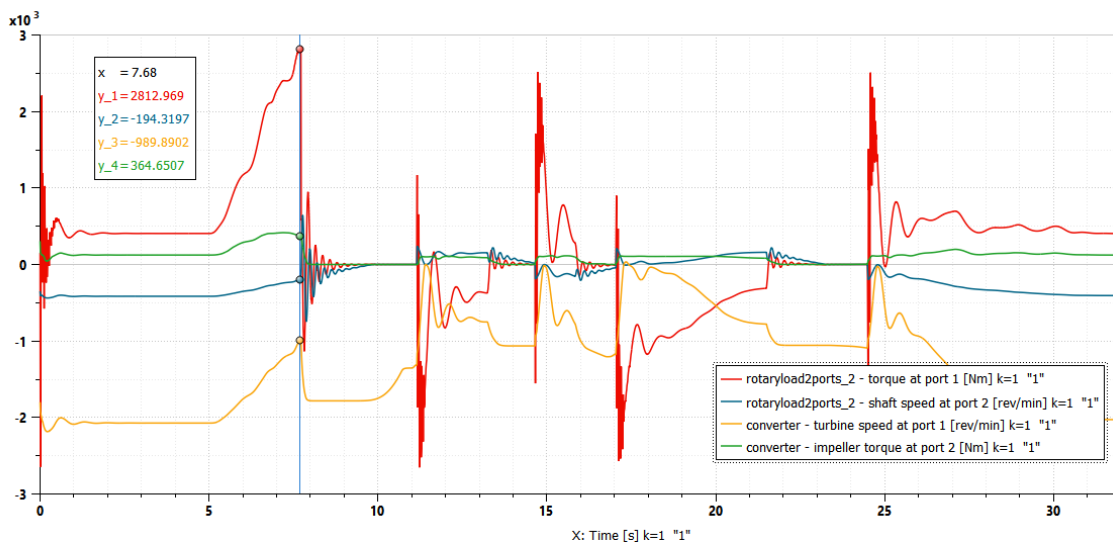
Моделирование работы в цикле. В результате коррекции параметров цифровой модели по экспериментальным результатам и валидации позволило достичь ее адекватности для обозначенных задач исследования и получить доступ к внутренним параметрам динамической системы привода хода. В результате разработанная ЦМ позволяет имитировать переходные и установившиеся режимы работы, включая механические нагрузки, кинематические и тепловые параметры компонентов. Пример результатов имитации работы в цикле погрузки представлен ниже (рис. 2). Расхождение с экспериментальными значениями максимальных нагрузок на входе и выходе ГМП не превышает 5 %.

Сравнение качеств погрузчиков с серийным ГТ 350 и ГТ 350 из партии (5 шт.) для сельхозмодификации показало при исследовании ЦМ различия скорости в цикле менее 3 % (рис. 3).

В результате испытаний в соответствии с данными (рис. 4) серийный ГТ350 показал большее проскальзывание при врезании, сопровождающееся на 10 % большим выделением тепла, и малое тепловыделение при низкой нагрузке. Тепловой режим приемлем.



a



b

Рис. 2. Пример результатов моделирования цикла погрузки:
a – тензограмма пяти циклов; *b* – цифровая модель одного цикла, где желтая линия – частота вращения дизеля, синяя – привода ведущих мостов, зеленая – момент на входе ГМП, красная – момент от ГМП на привод мостов
 Fig. 2. Example of Loading Cycle Simulation Results:
a – tensogram of five cycles; *b* – digital model of one cycle, where the yellow line is the diesel rotation speed, the blue line is the drive axle drive, the green line is the torque at the GMT input, the red line is the torque from the GMT to the axle drive

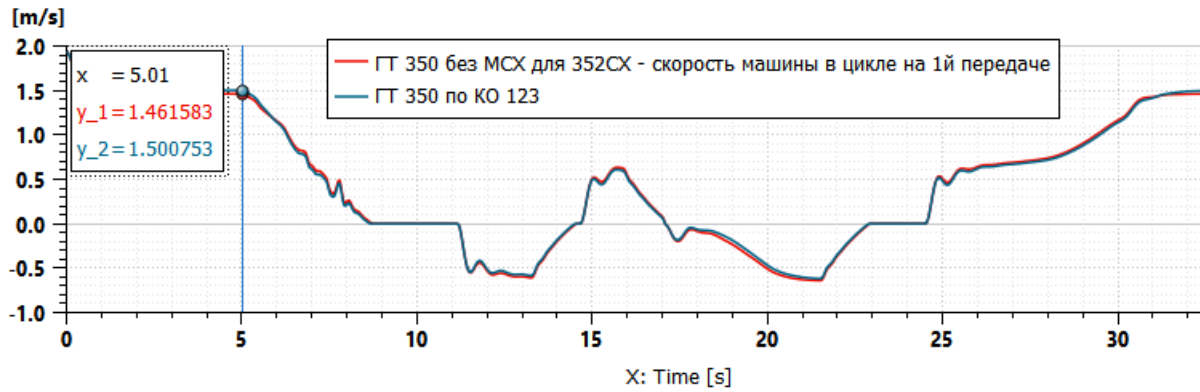


Рис. 3. Результат моделирования цикла погрузки:

Скорость в цикле погрузки на 1й передаче при 75 % загрузке дизеля для серийного ГТ 350 по КО 123-2021 (красная линия) и ГТ 350 без МСХ (синяя линия). Расчетная разница, в т. ч. в начале врезания в штабель, менее 3 %

Fig. 3. Result of Loading Cycle Simulation:

Speed in the loading cycle in 1st gear at 75 % diesel load for the serial GT 350 according to KO 123-2021 (red line) and GT 350 without MSKh (blue line). Estimated difference, incl. at the beginning of cutting into the stack, less than 3 %

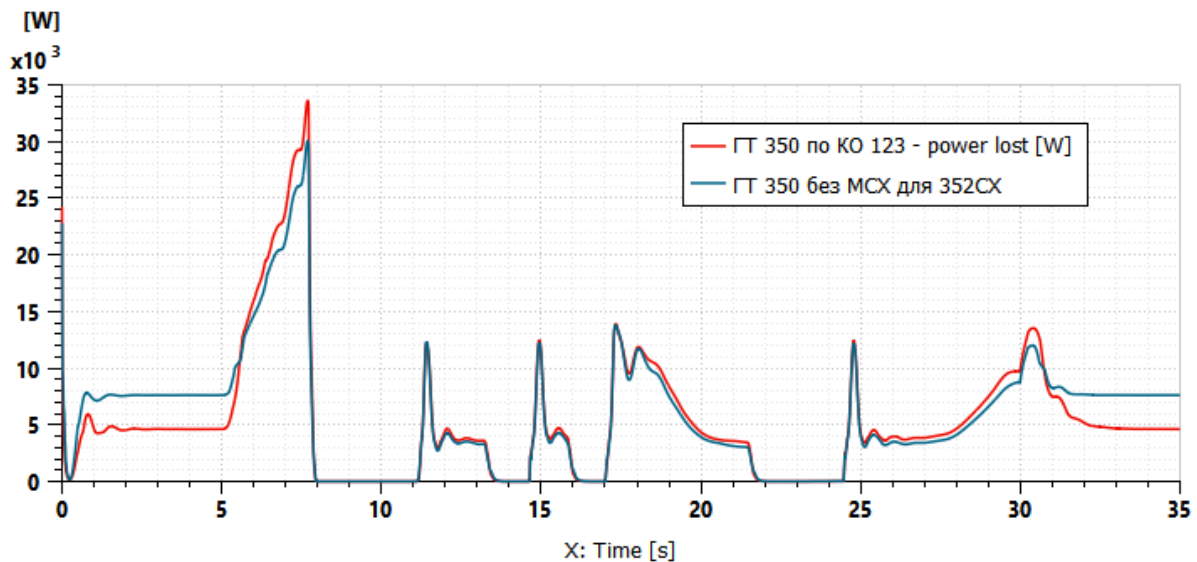


Рис. 4. Результат моделирования тепловыделения гидротрансформаторов для серийного ГТ 350 по КО 123-2021 (красная линия) и ГТ 350 без МСХ (синяя линия) в цикле погрузки

Fig. 4. The result of simulation of heat emission of torque converters for serial GT 350 according to KO 123-2021 (red line) and GT 350 without MSH (blue line) in the loading cycle

Заключение

1. Экспериментальные и полученные при моделировании тягово-скоростные качества погрузчика «Амкодор 342С4» с предложенным гидротрансформатором ГТ 320 ухудшают потребительские качества погрузчика и нарушают соответствие ТУ по транспортной скорости. Гидротрансформатор $Da = 320$ мм недостаточен для погрузчика «Амкодор 342С4», при сравнении с серийным вариантом разница заметна. Соответствие погрузчиков «Амкодор 342С4» с серийным ГТ 350 и с ГТ 320 не подтвердилось.

2. По имеющимся для моделирования данным ГТ 320 как с МСХ, так и без нее ухудшает температуру ГМП на 6–8 °С, и для приведения в норму требуется повысить теплоотдачу системы охлаждения ГМП не менее чем на 15 %, а с учетом разброса результатов проведенных ранее испытаний ГТ 320 на 20 %.

3. Виртуальные испытания погрузчика Амкодор 332С4 на основе разработанной модели с соответствующей коррекцией данных показали с ГТ 320 максимальную скорость 38,0 км/ч и температуру в пробеге до 105 °С. Однако натурные испытания при пробеге фиксируют большой нагрев.

4. Исключение МСХ из ГТ 350 на тягово-скоростные качества и тепловой режим погрузчиков грузоподъемностью 4 т, согласно расчетам, повлияло незначительно. Окончательный экспериментально обоснованный вывод будет сделан после окончания натурных испытаний в указанной конфигурации.

Литература

1. Пиляев, С. Н. Динамическое моделирование сложных технических систем / С. Н. Пиляев, С. В. Кузьменко, И. И. Аксенов // Наука, образование и инновации в современном мире (НОИ-2019) : Материалы Национальной научной конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I, Воронеж, 17–18 апреля 2019 года. Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2019. – С. 223–228.

2. Моделирование функции гидропривода программой «LMS Amesim» / С. Мирзалиев [и др.] // Материалы V Международной научно-практической конференции «Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве», Киров, 01–05 апреля 2019 года. – Киров : Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2019. – С. 308–311.

3. Хазеев, Е. В. Имитационное моделирование гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке в среде «Amesim» / Е. В. Хазеев, Д. Л. Стасенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 28–29 апр. 2022 г. В 2 ч. Ч. 1 / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – С. 56–59.

4. Отчеты об испытаниях погрузчика Амкодор 342С4 согласно карте опыта № 123-2021. ИЦИДМ, 2022.

5. Методики моделирования в модуле AMESIM Siemens support.sw.siemens.com.