

УДК 621.85-52

Вакуленко В.В., Толстолуцкий В.А., Муцинский Ю.М., Герасименко В.И.,  
Чучмарь И.Д.**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИЧНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ДВИГАТЕЛЕМ ЗТД-3А НА ИЗДЕЛИИ БТР-4**

К современной военной технике предъявляются высокие требования подвижности, маневренности и проходимости. Обеспечить данные требования удастся за счет повышения мощности энергетической установки, внедрения эффективных силовых установок и современных систем управления трансмиссией и двигателем. Автоматические системы управления трансмиссией позволяют оптимизировать время переключения передач, блокировки гидротрансформатора (ГТ), обеспечивают выбор экономичного или динамичного стиля переключения передач [1, 2]. Однако построить эффективное управление не возможно без согласования работы двигателя и трансмиссии. Таким образом, данная работа посвящена исследованию возможности экономичного управления двигателем ЗТД-3А на изделии БТР-4. Данное исследование является актуальным, поскольку позволит в дальнейшем построить комплексную систему автоматического управления движением БТР-4. Исследование проведено при помощи комплексной математической модели шасси БТР-4, выполненной в соответствии с [1,3].

Момент переключения передач напрямую зависит от положения педали подачи топлива (ППТ) или от частоты вращения вала двигателя, чем выше частота вращения вала двигателя, тем позже произойдет переключение на высшую передачу и тем интенсивнее будет разгон машины [2]. При этом, если намеренно задать системе управления низкую частоту вращения вала двигателя, при которой необходимо переключать передачу, разгон станет менее равномерным, увеличатся просадки частоты вращения вала двигателя, увеличится динамическая нагрузка на элементы трансмиссии при небольшой экономии топлива [1, 4]. Чтобы в полной мере обеспечить эффективность раннего переключения передач необходимо предусмотреть ограничение диапазона рабочих частот вращения вала двигателя при разгоне на низших передачах вплоть до 4-й. При этом верхняя граница диапазона должна соответствовать частоте вращения вала двигателя при максимальном моменте, что с небольшим запасом соответствует  $2000 \text{ мин}^{-1}$ . Подобное ограничение наряду с экономичностью обеспечит движение машины в любых дорожных условиях.

Для достижения максимальной скорости после включения в КП пятой передачи, необходимо плавно расширить диапазон рабочих частот вращения вала двигателя до максимального значения.

Другим направлением улучшения топливной экономичности является управление расходом топлива двигателем при движении в слабо изменяющихся дорожных условиях. На рисунках 1 и 2 приведены характеристики разгона БТР-4 со штатным управлением элементами трансмиссии и двигателем.

Как видно из рисунка 2 при движении с включенным гидротрансформатором крутящий момент двигателя используется на 40–60 % в данных условиях движения (бетонное шоссе). Поскольку блокировка ГТ происходит при переходе ГТ в режим гидромукфы, то крутящий момент на турбинном колесе равен крутящему моменту двигателя и для обеспечения разгона машины достаточным будет уровень потребления топлива двигателем равный 50 % от максимального.

Ограничение крутящего момента двигателя (рис. 3, 4) приводит к увеличению плавности разгонной характеристики машины и снижает расход топлива (табл. 1).

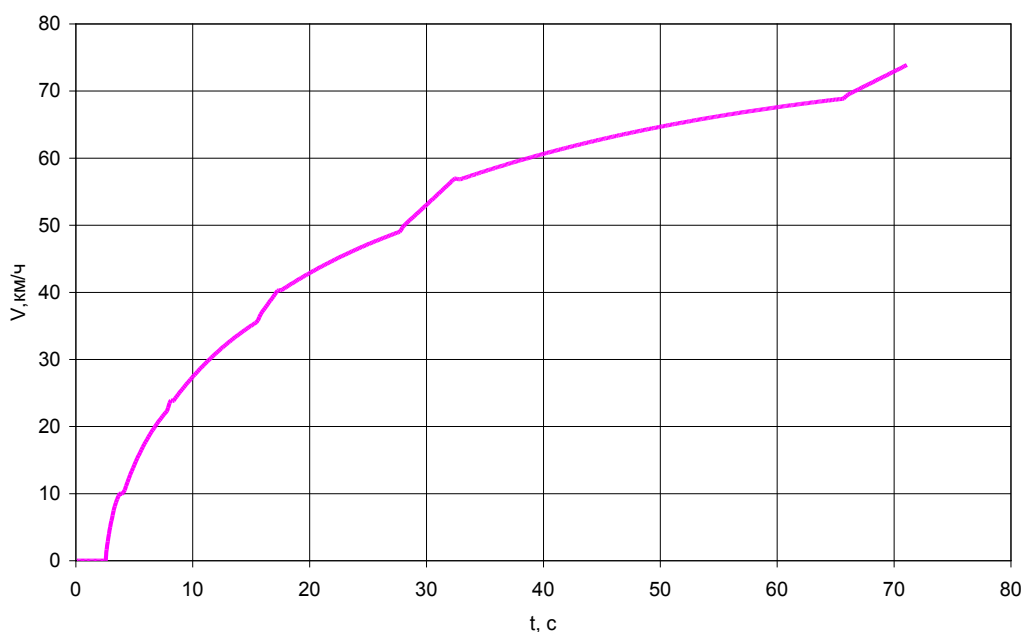


Рисунок 1 – Изменение скорости движения БТР-4 при прохождении дистанции 1000 м

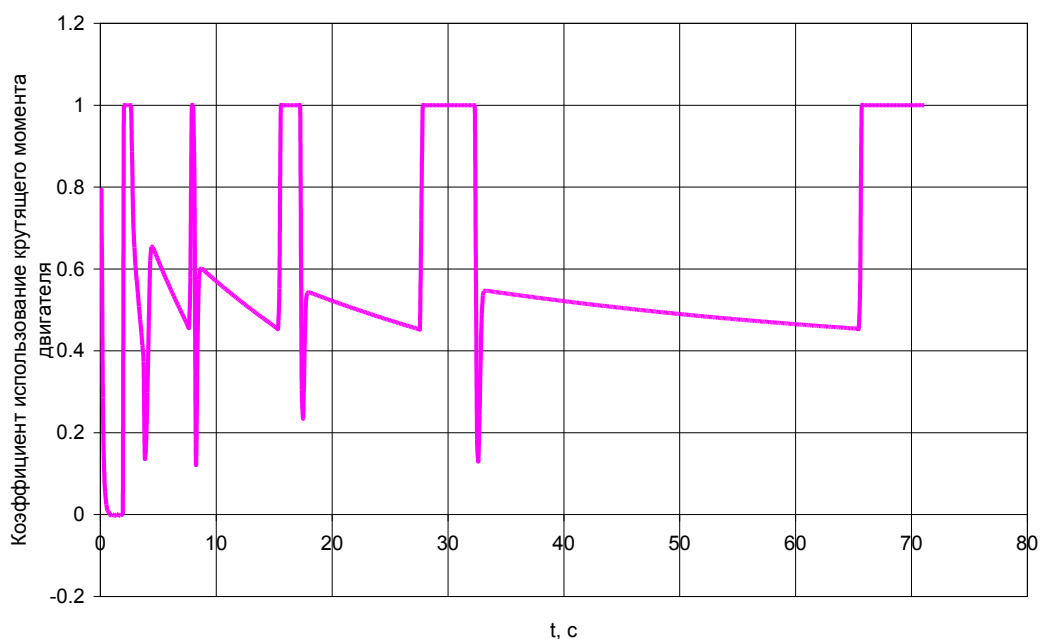


Рисунок 2 – Изменение коэффициента использования крутящего момента двигателя во время разгона БТР-4 на дистанции 1000 м

При формировании закона автоматического управления движением БТР-4 величина ограничения крутящего момента двигателя может быть определена в момент возникновения условия необходимости блокировки ГТ, когда коэффициент трансформации момента близок к единице.

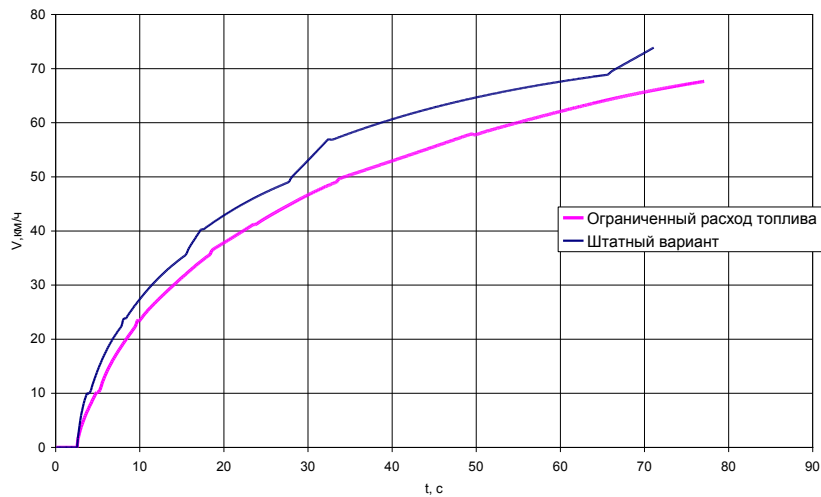


Рисунок 3 – Изменение скорости движения БТР-4 при прохождении дистанции 1000 м со штатным и ограниченным расходом топлива

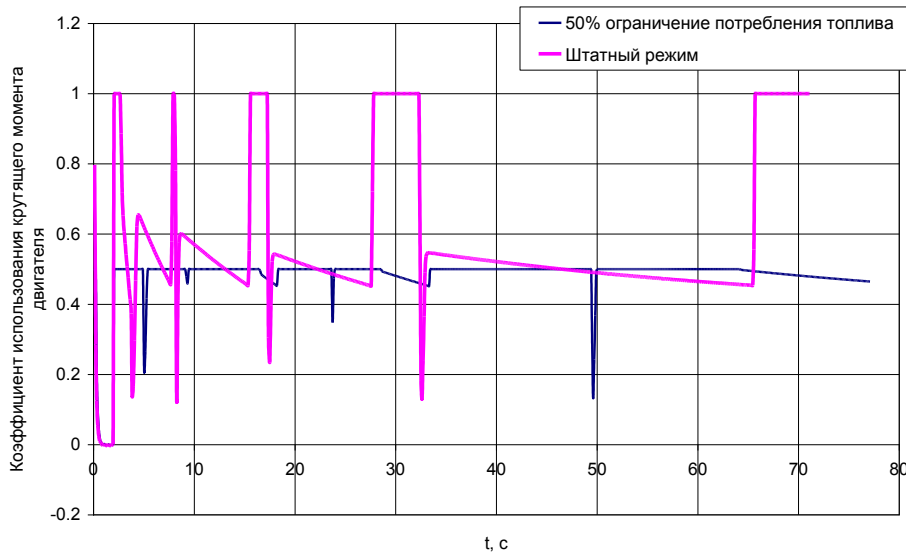


Рисунок 4 – Изменение коэффициента использования крутящего момента двигателя во время разгона БТР-4 на дистанции 1000 м

Таблица 1 – Сравнение характеристик движения БТР-4

Вариант	Путь, м	Расход топлива, кг	Время, с	Скорость, км/ч
Штатный режим	1000	0,664	71,1	74
50% ограничение потребления топлива		0,59	77	67,6
Изменение параметра	—	11 %	-8,2 %	9,5 %

Для оценки предложенных принципов управления двигателем проведен тестовый пробег по маршруту КП ХКБМ – окружная дорога г. Харькова, проходящий через проспект Московский (рис. 5).

Пробег осуществлялся по следующему алгоритму:

1. Трогание с места и начало движение.
2. Движение при фиксированном нажатии педали подачи топлива.

3. Переключение передач в соответствии с выбранным алгоритмом.
  4. В точке остановки производилось нажатие педали тормоза.
- После полной остановки движение возобновлялось.



Рисунок 5 – Схема тестового пробега

Для оценки эффективности предложенных принципов управления рассмотрены три алгоритма управления движением БТР-4:

1. Штатный. Данный алгоритм управления БТР-4 на данный момент используется в составе серийной машины.
2. Экономичный. Диапазон рабочих частот вращения вала двигателя ограничен сверху частотой  $2000 \text{ мин}^{-1}$ ; переключение передач производится с упреждением  $200 \text{ мин}^{-1}$ .
3. Динамичный. Диапазон рабочих частот вращения вала двигателя максимален. Переключение передач производится при точном соответствии частоты вращения вала двигателя заданному ППТ значению.

Таблица 2 – Сравнение характеристик движения БТР-4 с разными вариантами управления элементами трансмиссии и двигателем

Вариант управления	Относительный угол нажатия ППТ	Время, с	Расход топлива, кг	Средняя скорость, км/ч	Расход на 100 км, кг
Штатное	1	749,5	8,22	60	65.76
	0,8	764,8	7,31	58,8	58.48
	0,6	819	6,46	54,9	51.68
Динамичное	1	<b>741</b>	8,48	60,7	67.84
	0,8	<b>758,6</b>	7,75	59,3	62
Экономичное	1*	847	<b>6,34</b>	53,13	<b>50.72</b>
	0,8**	916	<b>5,94</b>	49,13	<b>47.52</b>

\* – полное нажатие ППТ для экономичного варианта управления соответствует частоте вращения вала двигателя  $2000 \text{ мин}^{-1}$ .

\*\* – 80 % нажатия ППТ для экономичного варианта управления соответствует частоте вращения вала двигателя  $1800 \text{ мин}^{-1}$ .

По результатам тестового пробега (табл. 2) можно отметить эффективность применения динамичного и экономичного типов управления в сравнении с штатным, который в данный момент применяется на БТР-4.

Для реализации приведенных принципов управления движением бронетранспортера БТР-4 необходима установка информационно-управляющей аппаратуры в контур управления режимами работы двигателя ЗТД-3А и алгоритма «Топливо» [5].

**Выводы.** В результате проведенного исследования определены направления развития системы управления движением бронетранспортера БТР-4. Проведен комплекс численных экспериментов, благодаря чему определены основные принципы экономичного и динамичного управления движением БТР-4, которые показали бо́льшую эффективность в сравнении со штатной системой управления. Однако реализация данных принципов потребует разработки и внедрения дополнительных технических решений в области управления режимами работы двигателя ЗТД-3А.

#### Литература

1. Борисюк М.Д. Дослідження характеристик рухливості легкоброньованої колісної військової машини з гідромеханічною трансмісією / М.Д. Борисюк, В.О. Толстолуцький, С.В. Стрімовський, В.М. Соловйов // Інтегровані технології та енергозбереження.– 2010.– №4.– С. 102–108.
2. Автомобильный справочник BOSCH. Справ. Пособ. / Под общ. Ред. Robert Bosch GmbH. Второе издание переработанное и дополненное. Перевод с английского. – М.: За рулем, 2004. – 992 с.
3. Толстолуцький В.О. Аналіз і параметричний синтез механічних трансмісій сучасних швидкохідних гусеничних машин: Дис. канд. техн. наук: 05.22.02. – Харків, 2007.– 134 с.
4. Цыганков Э.С. Золотые правила безопасного вождения.– М.: Эксмо, 2007.– 48 с.
5. Технические условия. Дизель 6ТД-2Б 459М Б.ТУ. – Харьков: КП ХКБД, 2001. – 34 с.

УДК 621.85-52

Вакуленко В.В., Толстолуцький В.О., Мушинський Ю.М., Герасименко В.І.,  
Чучмарь І.Д.

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЕКОНОМІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ДВИГУНОМ ЗТД- 3А НА БТР-4**

В результаті проведеного комплексу чисельних експериментів визначені напрямки розвитку системи керування рухом бронетранспортера БТР-4, а також основні принципи економічного та динамічного керування рухом БТР-4, які показали більшу ефективність у порівнянні зі штатною системою керування.

Vakulenko V.V., Tolstolutskiy V.A., Muschinskiy U.M., Gerasimenko V.I., Chuchmar I.D.

#### **RESEARCH OF POSSIBILITY OF ECONOMIC ENGINE MANAGEMENT ЗТД-3А ON THE PRODUCT AN ARMORED TROOP-CARRIER-4**

As a result of complex numerical experiments directions of the future development of movement control system of the armored personnel carrier BTR-4 are determined. Cardinal principles of economic and dynamic movement control were investigated for BTR-4. It has shown more efficiency then present movement control system.