УДК 65-235

Н.Г. Михалевич, Н.Н. Сильченко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЗМЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПЕРЕДАЧ

Рассмотрены динамические процессы, протекающие в автоматизированном механизме переключения, рассмотрены перспективы рационального управления коробкой передач.

Ключевые слова: *переключение передач, системы автоматического управления, математическое моделирование.*

Введение

На современном этапе развития автомобилестроения для повышения тягово-скоростных свойств и топливной экономичности транспортных средств широко используется автоматическое управление агрегатами трансмиссии, в частности – коробками передач. Все шире используются различные системы автоматизации процесса переключения передач. В настоящее время в автомобилестроении используют несколько видов трансмиссий и способов управления ими. Развитие электроники и создание многоразрядных микропроцессоров нового поколения, внедрение высокоскоростных коммуникационных бортовых сетей и разработка стандартов ISO по передаче данных между встроенными электронными модулями дали мощный толчок к созданию и внедрению на транспортных средствах мехатронных систем управления силовым агрегатом.

Анализ публикаций. Одним из наиболее перспективных направлений является разработка автоматизированной мехатронной системы управления силовым агрегатом на базе сухого фрикционного сцепления и механической ступенчатой коробки передач. По сравнению с механическими и гидромеханическими аналогами, автоматизированные коробки передач обладают лучшими показателями кпд, а также имеют меньшую удельную массу агрегата.

Опираясь на работы проведенные специалистами ХНАДУ [1], и проанализировав исследования, проведенные в ОИМ НАН Беларуси [2], а также ряда других источников [3–5] пришли к выводу, что значительная часть инноваций в автомобилестроении будет связано с созданием систем автоматизированного управления силовым агрегатом. Учитывая остроту вопроса по увеличению компактности и снижению массы коробок передач, связанную с тенденцией роста крутящего момента и мощности двигателей, можно утверждать, что механические автоматизированные КП являются весьма перспективными и получают все большее распространение.

Цель данной статьи. Целью исследования является математическое описание динамических процессов, протекающих в силовом электродвигателе механизма управления КП, построение графиков переключения передач и проверка работоспособности механизма управления КП.

На основании проведенного анализа публикаций определено, что механизмы переключения на базе электродвигателей постоянного тока используются в автомобильной технике.

Но в литературе нет описания методик управления такими двигателями, которые работают в паре с редуктором. Сложности в управлении вызывает наличие редуктора, который всегда будет иметь свою упругость или крутильную жесткость. Которая в свою очередь будет вносить значительный результат в работу всего механизма. Выполненная работа посвящена исследованию этого явления.

Исследование динамических процессов в элементах привода механизма переключения

Во время переключения передачи в коробке передач происходит выравнивание скоростей вращения синхронизатора и шестерни, на которую происходит переключение. Испытания экспериментального образца электромеханического механизма управления коробкой передач проводились на нагрузочном стенде в лабораторных условиях. Тестовые включения осуществлялись при работающем двигателе и имитации движения.

После проведения предварительных стендовых испытаний механизма переключения передач были получены зависимости перемещения ползунов коробки передач от времени [4].

Обработав полученные результаты эксперимента, выявилась особенность процесса переключения. Угол наклона кривой на участке AB более пологий, чем на участке CD рис. 1. Это говорит о том, что на этих участках скорость ползуна ко-

© Михалевич Н.Г., Сильченко Н.Н., 2017

робки передач не одинакова, а она увеличивается на участке CD.

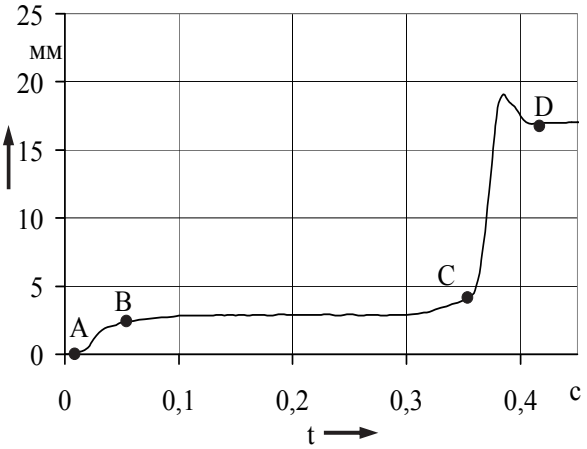

Рис. 1. График перемещения ползуна коробки передач при переключении

Подобный эффект наблюдался во всех случаях переключений с синхронизацией при стендовых испытаниях. Эффект наблюдался и после удаления штатных фиксаторов включения передач. Поэтому была предложена гипотеза о существенном влиянии крутильной жесткости редуктора силового электродвигателя на процесс переключения.

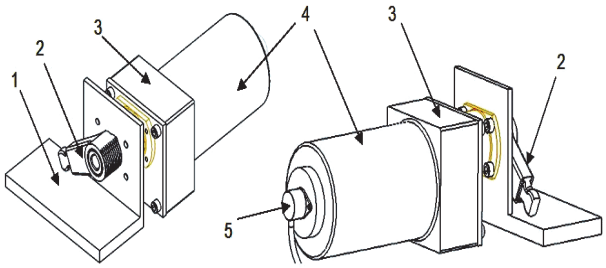

Рис. 2. Общий вид стенда определения крутильной жесткости:
1 – станина стенда; 2 – рычаг переключения передач; 3 – редуктор; 4 – электродвигатель; 5 – датчик частоты вращения

На установке рис. 2 были проведены дополнительные экспериментальные исследования определения крутильной жесткости редуктора силового электродвигателя в процессе нагружения. В результате эксперимента была получена зависимость угла поворота силового электродвигателя от силы тока подаваемой на его обмотки рис. 3.

Как это видно из полученных результатов эксперимента при остановке рычага переключения в упор во время синхронизации, ротор электродвигателя за счет крутильной жесткости его редуктора закручивается на существенный угол.

Физическая модель, использованная при построении математической модели, имеет вид, представленный на рис. 4. Для упрощения представленная модель была сведена к упрощенной модели имеющей следующий вид рис. 5.

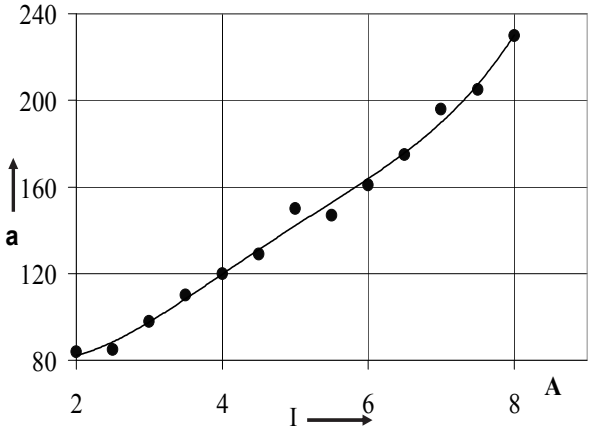

Рис. 3. Зависимость угла закрутки редуктора от силы тока

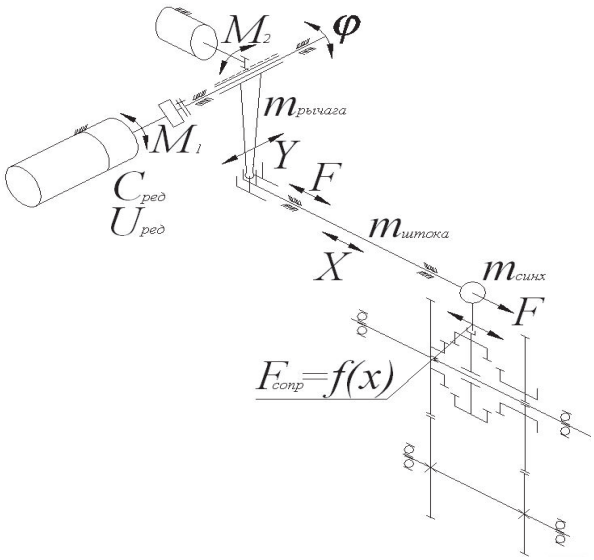

Рис. 4. Физическая модель механизма переключения передач

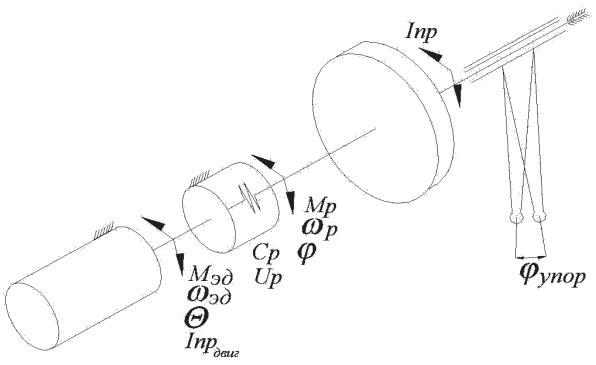

Рис. 5. Приведенная упрощенная модель

Обработав результаты дополнительных экспериментов, была составлена математическая модель механизма переключения передач, которая учитывала крутильную жесткость редуктора, имеющая следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{di}{dt} = \dfrac{R_m \cdot i + K_m \dfrac{d\Theta}{dt} - U(t)}{L_m}; \\ \dfrac{d^2\Theta}{dt^2} = \dfrac{K_\tau \cdot i \cdot \eta - M_c - C_p \cdot \left(\Theta - U_p \cdot \phi\right)}{I_{прдвиг}}; \\ \dfrac{d^2\phi}{dt^2} = \dfrac{C_p \cdot \left(\Theta - U_p \cdot \phi\right) \cdot U_p - C_{упор} \cdot \left(\phi - \phi_{упор}\right) - F_d}{I_{пр}}, \end{cases} \quad (1)$$

где i – сила тока на обмотках двигателя;

R_m – активное сопротивление якорной цепи;

L_m – индуктивность якорной цепи;

K_m – коэффициент пропорциональности между скоростью и ЭДС;

Θ – угол поворота вала электродвигателя;

K_τ – коэффициент пропорциональности между электромагнитным моментом и током якоря;

F_d – сила демпфирования;

$\phi_{упор}$ – угол поворота рычага до касания конических поверхностей синхронизатора (пространственно временная зависимость ограничения перемещений рычага);

C_p – жесткость редуктора;

U_p – передаточное число редуктора;

φ – угол поворота выходного вала редуктора;

$C_{упор}$ – жесткость упора;

$I_{пр}$ – приведенный суммарный момент инерции;

$I_{пр_{двиг}}$ – приведенный момент инерции ротора двигателя;

$U(t)$ – напряжение питания электродвигателя.

Коэффициент K_τ, использованный в расчетах, был определен, исходя из зависимости, полученной из проведенных экспериментальных исследований (рис. 6) по такой зависимости:

$$K_\tau = \frac{F \cdot h_{рычага}}{i \cdot \eta}, \quad (2)$$

где F – сила на рычаге переключения;

$h_{рычага}$ – длина рычага;

i – сила тока на обмотках двигателя; η – КПД.

Жесткость редуктора была определена по зависимости

$$C_p = \frac{K_\tau \cdot i \cdot \eta}{\Theta}. \quad (3)$$

Полученные данные были подставлены в уравнения модели и записаны в среде Simulink. Результаты математического моделирования подтверждают существенное влияние крутильной жесткости редуктора на работу спроектированного механизма переключения передач. И совпадают с результатами экспериментальных исследований, что видно из наложения графиков, полученных экспериментальным путем с графиком математического моделирования рис. 7.

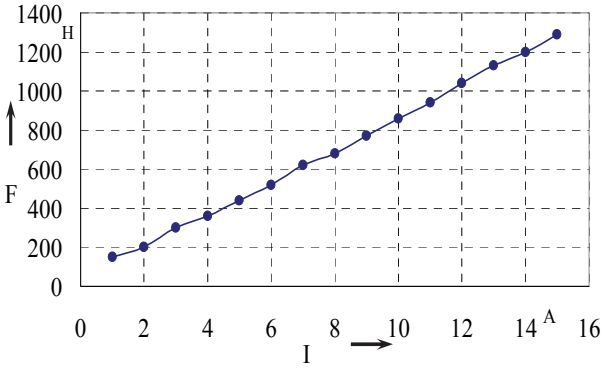

Рис. 6. Зависимость усилия на рычаге механизма переключения от силы тока на обмотках силового двигателя

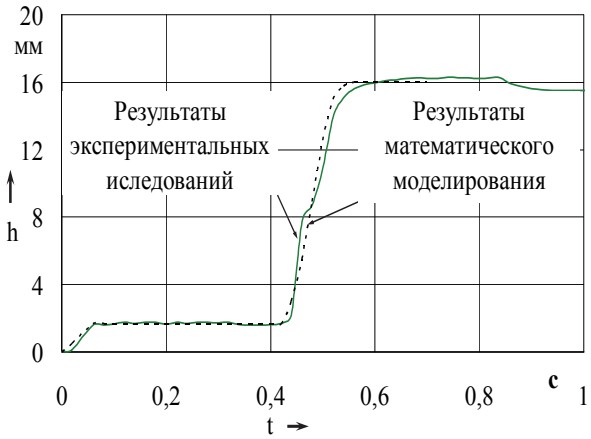

Рис. 7. Совмещение результатов теоретического и математического исследования

В ходе проведенных лабораторных экспериментов и математического моделирования получены результаты, которые являются исходными данными для формирования критериев системы управления. А именно: эффект приносимый крутильной жесткостью редуктора вызывает увеличение ударных нагрузок в КП что приведет к уменьшению срока службы синхронизатора. Поэтому, для уменьшения ударных нагрузок требуется преждевременное выключение питания на силовом электродвигателе, редуктор которого, находясь в упругом состоянии за счет своей жесткости, произведет включение передачи без высоких ударных нагрузок на детали КП. Выключение питания прежде достижения крайнего положения по результатам математического моделирования показали существенное уменьшения усилия на рычаге КП. Результаты роботы позволяют рационально построить алгоритм управления КП, позволяющий максимально эффективно переклю-

чать передачи, что повысит тягово-скоростные свойства транспортного средства.

Выводы

Из проведенного исследования следует, что данная тематика является перспективным направлением, требующей внимательной проработки выявленных зависимостей. Дальнейшие исследования по данному вопросу будут проведены в направлении оптимизации алгоритмов управления автоматизированным механизмом переключения передач путем определения оптимальных параметров системы. Разработанный механизм автоматизированного переключения передач также имеет возможность дополнительного ручного дублирования, что в значительной мере позволит повысить живучесть техники.

Список литературы

1. Анализ существующих конструкций трансмиссий / В.А Богомолов, В.И. Клименко, Н.Г. Михалевич, Н.Н. Сильченко // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – 2010. – № 27. – С. 17-21.

2. Кусяк В.А. Проектирование автоматизированных мехатронных систем управления силовым агрегатом грузовых автомобилей и автопоездов: моногр. / В.А. Кусяк, О.С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2015. – 295 с.

3. Гируцкий О.И. Электронные системы управления агрегатами автомобиля / О.И. Гируцкий, Ю.К. Есеновский-Лашков, Д.Г. Поляк. – М.: Транспорт, 2000. – 213 с.

4. Сосин Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы / Д.А. Сосин, В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с.

5. Недялков, А.П. Применение опережающих технических решений при создании механических ступенчатых коробок передач с автоматизированным управлением / А.П. Недялков, А.Н. Блохин // Наука и образование. – 2011. – № 2.

Поступила в редколлегию 3.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. М.А. Подригало, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Харьков.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ В МЕХАНІЗМІ ПЕРЕМИКАННЯ ПЕРЕДАЧ

М.Г. Михалевич, М.М. Сильченко

Розглянуто динамічні процеси протікаючи в автоматизованому механізмі перемикання, розглянуто перспективи раціонального керування коробкою передач.

Ключові слова: *перемикання передач, системи автоматичного керування, математичне моделювання.*

THEORETICAL RESEARCH OF WORKING PROCESS IN THE GEARSHIFT

N. Mikhalevich, N. Silchenko

Considered the most commonly used automated control system the gearbox in a production car, and analyzed prospects.

Keywords: *gearshift, automatic controls, mathematical modeling.*