

УДК 629.34:62-235:165.41

В. Б. САМОРОДОВ, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», Харьков;
И. А. ТАРАН, д-р техн. наук, доц., ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск

МОНИТОРИНГ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ТРАНСМИССИЙ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ

В результате исследования, в режиме диалога с компьютером, на основании максимизации критериев по динамическому фактору и к.п.д. трансмиссии, и минимизации критериев по тепловыделениям и расходу топлива определен рациональный вектор конструктивных параметров для бесступенчатой электромеханической трансмиссии. Применительно к трансмиссиям транспортных средств работающих в относительно стабильном технологическом процессе, предложенная система критериев позволяет: а) определить наиболее рациональное множество конструктивных параметров трансмиссии с точки зрения максимума среднеинтегрального к.п.д.; б) применить на основе известных регулярных методов оптимизации технологию структурного и параметрического синтеза бесступенчатых трансмиссий; в) производить мониторинг альтернативных вариантов схемных решений трансмиссий еще на этапе проектирования и научно обосновано выбирать наиболее эффективную трансмиссию.

Ключевые слова: трансмиссия, система критериев, конструктивный параметр, критерий качества.

Введение. В каждом транспортном средстве, независимо от массово-габаритных характеристик, типа используемого двигателя и функционального предназначения, для трансформации крутящего момента и угловой скорости двигателя применяется трансмиссия. При мониторинге и оценке рациональных векторов Γ [1] конструктивных параметров трансмиссий, так и при оценке эффективности трансмиссий в целом, необходимо учитывать наиболее вероятные режимы движения транспортного средства, близкие к математическому ожиданию эксплуатационных скоростей, а на этих скоростях – при наиболее вероятных коэффициентах сцепления, то есть реальные технологические режимы загрузки транспортного средства.

Анализ последних достижений и публикаций. Математическая формализация критериев оптимальности по тяговой динамике, к.п.д. гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ) и по суммарной мощности тепловыделений в ГОМТ как функции векторного аргумента $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$ основных конструктивных параметров впервые предложена для ступенчатой механической трансмиссии в работах [2, 3] и для двухпоточных ГОМТ – в работе [4]. В указанных работах введены и используются три основных критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов \bar{W}_{Dp} , \bar{W}_{np} и $\bar{W}_{\Delta Np}$, тесно связанных соответственно с интегральным стохастическим критерием по тяговой динамике W_{Dp} , интегральным стохастическим критерием по КПД ГОМТ W_{np} и интегральным стохастическим критерием по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$.

Цель исследования, постановка задач. Разработать и апробировать интегральную систему критериев оценки работы бесступенчатых трансмиссий транспортных средств для объективного сравнения альтернативных вариантов. Существующая математическая формализация критериев оптимальности предложена без учета топливной экономичности. Без формализации и трансформации этого важнейшего показателя в интегральный стохастический критерий качества предложенная система критериев не является полной.

Материалы исследования. В работе [4] не совсем корректно утверждается, что «пределы интегрирования, удельная сила тяги тягово-транспортной машины, к.п.д. и

© В. Б. Самородов, И. А. Таран, 2014

относительная мощность тепловыделений в ГОМТ являются функциями варьируемых переменных – всех или большей части передаточных отношений и рабочего объема гидромашин, используемых в ГОП». Некорректность состоит в том, что на удельную силу тяги тягово-транспортной машины, на его к.п.д. и относительную мощность тепловыделений в его трансмиссии, на расход топлива дизельного двигателя и производительность в целом влияют не только передаточные отношения и рабочий объем гидромашин, а и наиболее вероятный коэффициент сцепления в интервале скоростей $V \in [V_1; V_2]$, масса транспортного средства и номинальная эксплуатационная мощность двигателя. Более корректно и обобщенно интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по к.п.д. ГОМТ $W_{\eta p}$ и по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$ предлагается записывать в виде:

$$\bar{W}_{Dp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} D(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V} \quad (1)$$

$$\bar{W}_{\eta p} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \eta(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V} \quad (2)$$

$$\bar{W}_{\Delta Np} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \Delta \bar{N}(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V} \quad (3)$$

В формулах (1) – (3) $D(\Gamma, \bar{V}, f)$, $\eta(\Gamma, \bar{V}, f)$ и $\Delta \bar{N}(\Gamma, \bar{V}, f)$ – соответственно законы изменения удельной силы тяги тягово-транспортной машины, КПД ГОМТ и относительной мощности тепловыделений в ГОМТ как функции вектора $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$ конструктивных варьируемых параметров, относительной скорости $\bar{V} = V/V_{max}$; \bar{V}_1, \bar{V}_2 – минимальная и максимальная относительные скорости, соответствующие заданному интервалу реальных эксплуатационных скоростей V_1 и V_2 ; f – коэффициент сопротивления движению; $\bar{p}(\bar{V})$ относительная плотность распределения относительных эксплуатационных скоростей движения

$$\bar{p}(\bar{V}) = \exp \left\{ -0,5 \left[\frac{(\bar{V} - M(\bar{V}))}{\sigma(\bar{V})} \right]^2 \right\}, \quad (4)$$

где $M(\bar{V})$ и $\sigma(\bar{V})$ – математическое ожидание и среднеквадратичное отклонение случайной величины \bar{V} .

В приведенных выражениях интегральных стохастических критериев качества для бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий (ЭМТ) предлагается использовать соответственно собственные векторы конструктивных параметров $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma'(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_i, m, N_d)$ вместо предложенного ранее работах [1-4] вектора $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, \dots)$.

На рис. 1 приведена пространственная иллюстрация стохастических критериев по тяговой динамике W_{Dp} , по КПД $W_{\eta p}$ и по мощности тепловыделений $W_{\Delta Np}$ определенная для двухдиапазонной бесступенчатой ГОМТ. Построение поверхностей удельной силы тяги, КПД ГОМТ и мощности тепловыделений удобно проводить в

єдиничному кубі с осями в виді відносительної шкорути \bar{V} , відносительної щільности розподілення вероятности $\bar{p}(\bar{V})$ експлуатаційних шкорути и динамического фактора D , который также ограничен единицей. Величина ΔN также нормирована своим максимальным значением ΔN_{\max} и по оси $\Delta \bar{N}$ также откладываются относительные значения мощности тепловыделений, не превосходящие единицу. Геометрический смысл формализованных объемов $\bar{W}_{\text{Др}}$, $\bar{W}_{\text{нр}}$ и $\bar{W}_{\Delta \text{Нр}}$ совпадает с геометрическим смыслом интегралов в выражениях (1) – (3). Это – объемы прямых неправильных призм $\bar{V}_1 \bar{V}_2 \text{CEGFC}'\text{E}'$ под выделенными поверхностями, ограниченные в основании единичного куба плоскостью между кривой относительной плотности распределения $\bar{p}(\bar{V})$ и осью OV , двумя плоскостями $EE'G\bar{V}_1$ и $CC'F\bar{V}_2$, перпендикулярными основанию и оси OV , пересекающими ее в точках \bar{V}_1 и \bar{V}_2 , поверхностью ее вертикальных образующих и частью $GF\bar{V}_2\bar{V}_1$ наиболее удаленной грани куба (рис. 1 б). Рассмотренные прямые неправильные призмы под выделенными поверхностями входят в параллелепипеды $AB\bar{V}_2\bar{V}_1A'B'\bar{V}_2'\bar{V}_1'$ с единичными высотами, объемы W_{12} которых численно равны разности $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$.

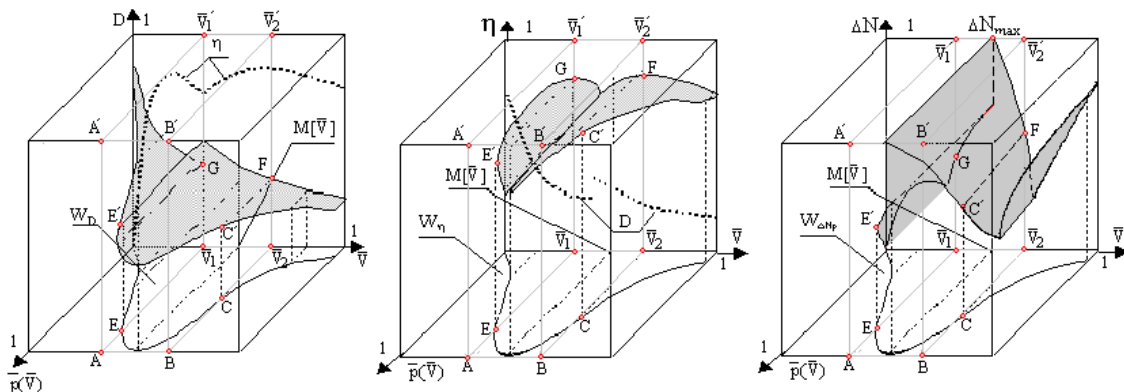


Рисунок 1 – Иллюстрация интегральных стохастических критериев $W_{\text{Др}}$, $W_{\text{нр}}$ и $W_{\Delta \text{Нр}}$ для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств

В целом в работах [1-4] введены и используются только три критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов $\bar{W}_{\text{Др}}$, $\bar{W}_{\text{нр}}$ и $\bar{W}_{\Delta \text{Нр}}$. К сожалению, авторы этих работ ничего не упоминают о таком важном технико-экономическом показателе как топливная экономичность. Без формализации и трансформации этого важнейшего показателя в интегральный стохастический критерий качества предложенная в работах [1-4] система критериев не является полной. Кроме того, обобщая предложенный подход по созданию критериев качества на случай как бесступенчатых гидрообъемно-механических, так и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий следует, как уже было сказано выше, учитывать только векторы конструктивных варьируемых параметров в виде $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma'(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_i, m, N_d)$.

Интегральный стохастический критерий $W_{\text{Qр}}$ по топливной экономичности предлагается записывать в виде

$$\bar{W}_{Qp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} Q(\Gamma, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V} \quad 5)$$

где $Q(\Gamma, \bar{V}, f)$ – мгновенный часовой расход ДВС транспортного средства, как функция вектора Γ конструктивных варьируемых параметров бесступенчатой трансмиссии, относительной скорости $\bar{V} = V/V_{\max}$, \bar{V}_1, \bar{V}_2 – минимальная и максимальная относительные скорости заданного интервала реальных эксплуатационных скоростей V_1 и V_2) и коэффициента сцепления f ; $\bar{p}(\bar{V})$ – относительная плотность распределения относительных эксплуатационных скоростей движения. Геометрически интегральный стохастический критерий W_{Qp} по топливной экономичности представляет объем фигуры, выделенной в координатах $\bar{p}(\bar{V}), \bar{V}$ и Q . На рис. 2 приведена предлагаемая авторами пространственная иллюстрация четвертого, интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp} .

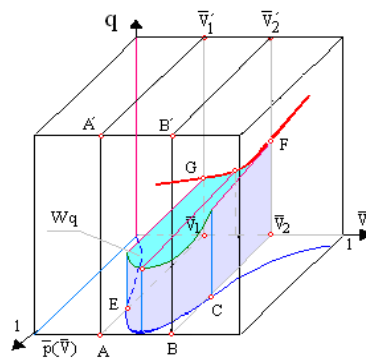


Рисунок 2 – Пространственная иллюстрация интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp}

Определение рационального вектора конструктивных параметров в режиме диалога с компьютером (или на основе адаптации и развития параметрического синтеза применительно к бесступенчатым ГОМТ и ЭМТ) строится на удовлетворении стохастических интегральных критериев, которые формализованы группами соотношений (1) – (3) и (5) – причем первые пары указанных соотношений – стохастические интегральные критерии по тяговой динамике и коэффициенту полезного действия – должны в процессе расчетно-теоретического обоснования бесступенчатых трансмиссий максимизироваться, а вторые пары этих соотношений – интегральные стохастические критерии по мощности тепловыделений в трансмиссии и введенный интегральный стохастический критерий по топливной экономичности, должны минимизироваться с учетом ограничений конструктивного и эксплуатационного порядка. Следует особо отметить, что только первый и четвертый критерии являются антагонистическими. Таким образом, поиск рационального вектора конструктивных параметров является в целом достаточно сложной и громоздкой задачей параметрического синтеза – многокритериальной оптимизационной задачей, в которой в будущем должны появиться системы экспертных оценок, логика определения весовых коэффициентов в аддитивном обобщенном функционале качества или их назначение лицом, принимающим решение.

В качестве примера определим рациональный вектор конструктивных

параметров для бесступенчатой электромеханической трансмиссии [5] (рис.3) в режиме диалога с ПЭВМ на основании максимизации первых двух критериев по динамическому фактору и к.п.д. трансмиссии, и минимизации критериев по тепловыделениям и расходу топлива (1) – (2), (3) – (5).

Результаты этих исследований приведены на рис. 4.

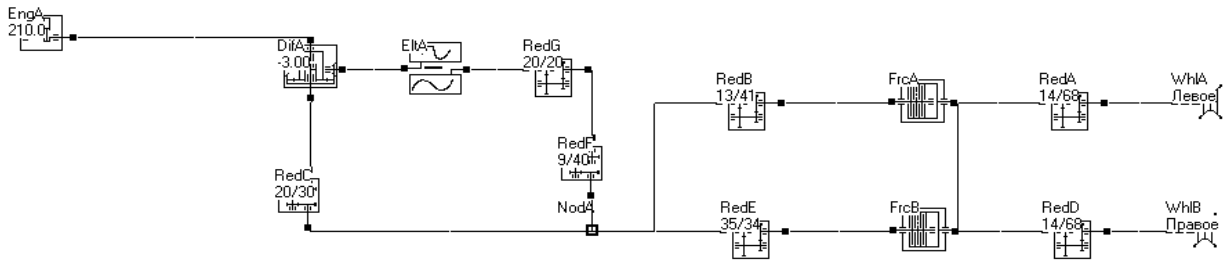


Рисунок 3 – Структурная схема бесступенчатой электромеханической трансмиссии: EngA – двигатель; DifA – планетарный ряд; EltA – электрическая передача; RedA, RedB, RedC, RedD, RedE, RedG и RedF – редукторы; WhlA и WhlB – ведущие оси, FrcA, FrcB – фрикционы

На рис. 4, а представлены зависимости полного к.п.д. (кривые 1), динамического фактора (кривые 2), мощности тепловыделений в трансмиссии (кривые 3), почасового расхода топлива (кривые 4) от скорости при работе ГОМТ №1 в составе дизелевоза массой 10 т на первом тяговом и втором транспортном диапазонах. При расчетах принято (первый столбец данных на рис. 4, б): математическое ожидание эксплуатационной скорости дизель-поезда – $M[V] = 18$ км/ч (5 м/с); скоростной интервал построения интегральных стохастических критериев качества $V_1 = 16$ км/ч (4,44 м/с); $V_2 = 20$ км/ч (5,56 м/с); среднеквадратическое отклонение $\sigma[V] = 2$ км/ч (0,56 м/с).

На рис. 4, б представлены значения среднеинтегральных критериев W_D , W_{η} , $W_{\Delta N}$, W_Q (второй столбец данных), вычисленные по результатам работ [6, 7]. На том же рисунке в третьем столбце данных приведены значения стохастических интегральных критериев, вычисленных по группе формул (1) – (3), (5) и их трехмерная визуализация.

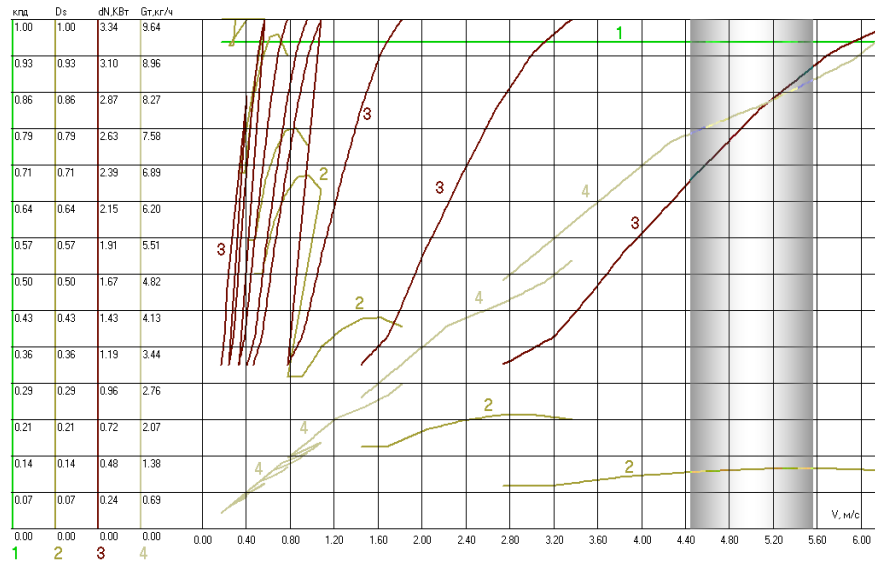
Таким образом, научная новизна работы заключается в следующем – за счет уточнения векторов конструктивных варьируемых параметров и предложенного нового интегрального критерия по топливной экономичности усовершенствована система критериев для оценки эффективности работы бесступенчатых трансмиссий транспортных средств, позволяющая объективно сравнивать основные технико-экономические параметры трансмиссий и определять их рациональные (оптимальные) конструктивные параметры. Практическая значимость заключается в использовании усовершенствованной системы критериев для обоснования типа трансмиссии, обеспечивающей необходимое тяговое усилие и бесступенчатое регулирование скорости движения транспортного средства в заданном диапазоне при работе дизельного двигателя с постоянной частотой вращения коленвала, обеспечивающей минимальные выбросы и потребление топлива.

Выводы и перспективы использования.

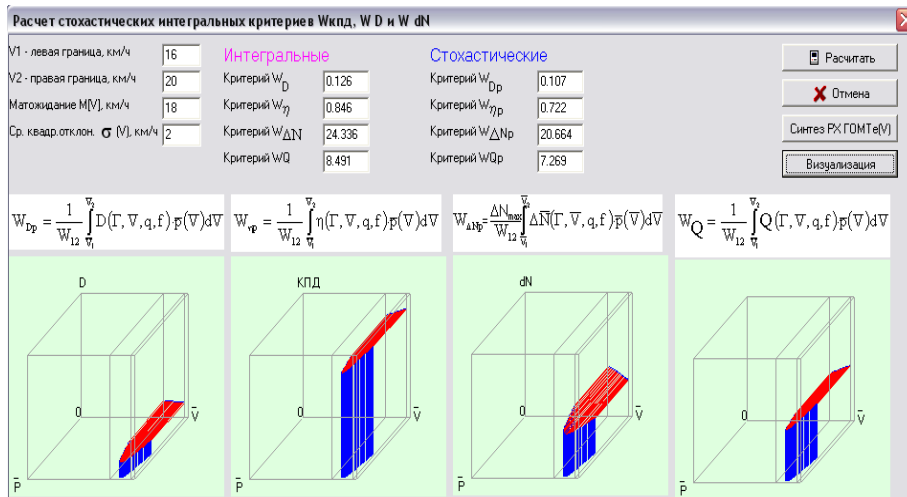
1. Для бесступенчатых гидрообъемно-механических и электромеханических трансмиссий колесных и гусеничных транспортных средств модернизированы и обобщены интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по к.п.д. W_{η} , по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$. Уточнены векторы

конструктивных варьируемых параметров $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_b, m, N_d)$ соответственно для ГОМТ и ЭМТ.

2. Введен новый интегральный стохастический критерий по топливной экономичности и предложена обобщенная интегрированная система критериев, позволяющая не только объективно сравнивать их основные технико-экономические параметры, но и определять по введенным выше критериям наиболее рациональные или оптимальные конструктивные параметры.



а



б

Рисунок 4 – Интегральные стохастические критерии для бесступенчатой электромеханической трансмиссии: а – полный к.п.д. (1), динамический фактор (2), мощность тепловыделений (3), почасовой расхода топлива (4); б – визуализация интегральных стохастических критериев

3. Для решения в будущем научной проблемы структурного и параметрического синтеза для перспективных бесступенчатых трансмиссий в составе тягового транспорта система предложенных интегральных стохастических критериев качества,

позволяющая провести объективное сравнение альтернативных вариантов трансмиссий, будет иметь решающее значение.

Список литературы: 1. *Самородов В.Б.* Проблемы и направление теоретических исследований в области гидрообъемно-механических трансмиссий в Украине // *Механика и машиностроение.* –1998.–№1.– С.105-109. 2. *Самородов В.Б.* Оптимизация передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики транспортной машины // *Информационные технологии: наука, техника, технология, оборудование, здоровье.* – Харьков, 1997. –С.371-377. 3. *Самородов В.Б.* Алгоритм оптимизации передаточных отношений механической ступенчатой трансмиссии по критерию наилучшей тяговой динамики гусеничной машины // *Вісник ХДПУ. Збірник наукових праць.*– Харків: ХДПУ.– 1999.–Вип 36. – С.135-140. 4. *Самородов В.Б., Новикова Л.В., Полунин В.Г.* О рациональном выборе передаточных отношений планетарных рядов гидрообъемно-механической трансмиссии транспортной машины // *Конструирование и исследование тракторов.*– Харьков: Вища школа.– 1985.– Вып.6.–С.45-48. 5. *Таран И.А.* Конструктивные параметры двухпоточных гидрообъемно-механических и электрических бесступенчатых трансмиссий шахтных дизелевозов / И.А. Таран // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2011. – № 1. – С. 105 – 108. 6. *Таран И.А.* Система интегральных стохастических критериев для трансмиссий транспортных средств / И.А. Таран // *Наукові нотатки.* – 2010. – Вип. 28. – С. 519 – 523. 7. *Таран И.А.* Среднеинтегральный КПД бесступенчатых двухпоточных трансмиссий шахтного дизелевоза / И.А. Таран // *Матеріали Всеукр. міжвуз. наук.-техн. конф. «Сучасні технології в промисловому виробництві».* – Суми: Сумський державний університет, 2010. – Ч. II. – С. 155 – 156.

Поступила в редколлегию 11.03.2014

УДК 629.34:62-235:165.41

Мониторинг альтернативных вариантов трансмиссий на базе системы интегральных критериев / В. Б. Самородов, И. А. Таран // *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування.* – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 9 (1052). – С. 120-126. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2078-6840.

В результате дослідження, в режимі діалогу з комп'ютером, на основі максимізації критеріїв динамічного фактору і к.к.д. трансмісії, і мінімізації критеріїв тепловиділення і витрати палива визначений раціональний вектор конструктивних параметрів для безступінчастої електромеханічної трансмісії. Стосовно трансмісії транспортного засобу, що працює у відносно стабільному технологічному процесі, запропонована система критеріїв дозволяє: а) визначити найбільш раціональну множину конструктивних параметрів трансмісії з точки зору максимуму середньоінтегрального к.к.д.; б) застосовувати на основі відомих регулярних методів оптимізації технологію структурного і параметричного синтезу безступінчастих трансмісій; в) здійснювати моніторинг альтернативних варіантів схемних рішень трансмісій ще на етапі проектування і науково обгрунтовано обирати найбільш ефективну трансмісію.

Ключові слова: трансмісія, система критеріїв, конструктивний параметр, критерій якості.

Monitoring alternative variant transmissions on the base of the system of the integral criterion / V. B. Samorodov, I. A. Taran // *Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding.* – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 9 (1052). – P. 120-126. – Bibliogr.: 7. – ISSN 2078-6840.

Rational vector of design parameters for stepless electromechanical transmission is determined in a computer-interaction mode basing on maximization of criteria according to dynamic factor and transmission efficiency and minimization of criteria according to heat emission and fuel consumption. As for transmission of a vehicle operating in relatively stable technological process, the system of criteria allows: a) determining optimum set of transmission design parameters from the viewpoint of mean integral efficiency; b) applying a technique of structural and parametrical synthesis of stepless transmissions using known regular optimization methods; c) monitoring alternatives of transmission circuitry at a design stage applying scientific substantiation to select the most efficient transmission.

Keywords: transmission, criteria system, design parameter, quality criterion.