

УДК 629.34:62-235:165.41

И.А.Таран

Национальный горный университет

СИСТЕМА ИНТЕГРАЛЬНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств модернизированы и обобщены интегральные стохастические критерии по тяговой динамике, КПД и мощности тепловыделений. Предложен новый интегральный стохастический критерий по топливной экономичности.

Ключевые слова: *бесступенчатая трансмиссия, интегральный критерий, тяговая динамика, мощность тепловыделений, КПД, топливная экономичность.*

Введение. В каждом транспортном средстве, независимо от массово-габаритных характеристик, типа используемого движителя 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 [1].

Состояние вопроса. Математическая формализация критериев оптимальности по тяговой динамике, КПД 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]. Остановимся кратко на сути этих критериев с целью их существенной модернизации и обобщения на случай как бесступенчатых гидрообъемно-механических, так и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий.

В указанных работах введены и используются три основных критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов \bar{W}_{Dp} , $\bar{W}_{\eta p}$ и $\bar{W}_{\Delta Np}$, тесно связанных соответственно с интегральным стохастическим критерием по тяговой динамике W_{Dp} , интегральным стохастическим критерием по КПД ГОМТ $W_{\eta p}$ и интегральным стохастическим критерием по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$. Указанные формализованные критериальные объемы \bar{W}_{Dp} , $\bar{W}_{\eta p}$ и $\bar{W}_{\Delta Np}$ выражались в виде:

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

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

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

В формулах (1) – (3) $D(\Gamma, \bar{V}, q, f)$, $\eta(\Gamma, \bar{V}, q, f)$ и $\Delta \bar{N}(\Gamma, \bar{V}, q, f)$ – 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 $\bar{V} = V/V_{\max}$ и рабочего объема гидромашин q ;

\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 (нормированная по амплитуде $(\sigma\sqrt{2\pi})^{-1}$ нормального закона распределения) 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} .

Материалы исследования. В работе [4] не совсем корректно утверждается, что «пределы интегрирования, удельная сила тяги тягово-транспортной машины, КПД и относительная мощность тепловыделений в ГОМТ в выражениях (1)–(3) 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 КПД 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 \bar{W}_{Dp} , по КПД ГОМТ $\bar{W}_{\eta p}$ и по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $\bar{W}_{\Delta Np}$ предлагается записывать в виде:

$$\bar{W}_{Dp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} D(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 5)$$

$$\bar{W}_{\eta p} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \eta(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 6)$$

$$\bar{W}_{\Delta Np} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \Delta \bar{N}(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}. \quad 7)$$

Как уже указывалось в приведенных выражениях для интегральных стохастических критериев качества для бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий и для бесступенчатых электромеханических трансмиссий 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 предложенных стохастических критериев по тяговой динамике \bar{W}_{Dp} , по КПД $\bar{W}_{\eta p}$ и по мощности тепловыделений $\bar{W}_{\Delta Np}$ определенный для двухдиапазонной бесступенчатой ГОМТ. Построение поверхностей удельной силы тяги, КПД ГОМТ и мощности тепловыделений удобно проводить в единичном кубе с осями в виде относительной скорости \bar{V} , относительной плотности распределения вероятности $\bar{p}(\bar{V})$ эксплуатационных скоростей 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}_{Dp} , $\bar{W}_{\eta p}$ и $\bar{W}_{\Delta Np}$ совпадает с геометрическим смыслом интегралов в выражениях (5) – (7). Это – объемы прямых неправильных призм $\bar{V}_1 \bar{V}_2 CEGFC' E'$ 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 , поверх-

ностью 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 $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$.

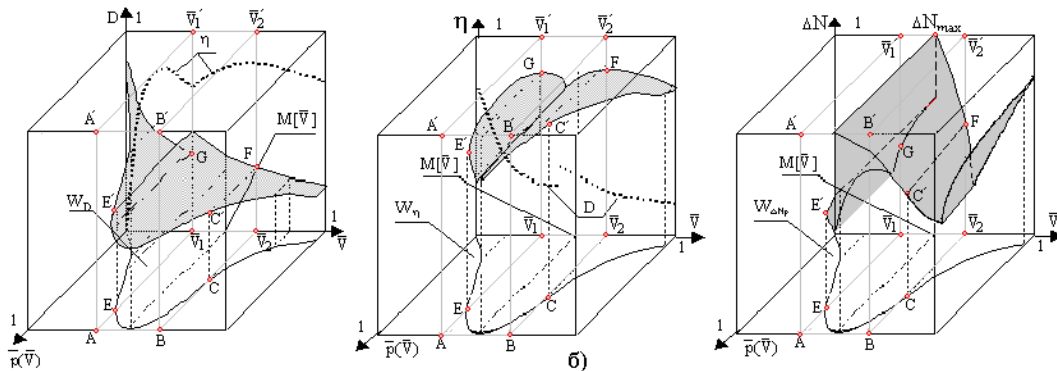


Рис.1. К задаче о модернизации интегральных стохастических критериев W_{Dp} , W_{np} и W_{Dnp} для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств .

В целом в работах [1-4] введены и используются только три критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов \bar{W}_{Dp} , \bar{W}_{np} и \bar{W}_{Dnp} . 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 этого, 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 $\Gamma(i1, i2, \dots, im, k1, k2, \dots, kn, q, m, Nd)$ и $\Gamma(i1, i2, \dots, im, k1, k2, \dots, kn, ku, ki, m, Nd)$. На рис. 2 впервые приведена предлагаемая автором пространственная иллюстрация четвертого, интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp} .

Интегральный стохастический критерий W_{Qp} по топливной экономичности предлагается записывать в виде

$$\bar{W}_{Qp} = \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} Q(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \tag{8}$$

где $Q(\tilde{A}, \bar{V}, f)$ – 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.

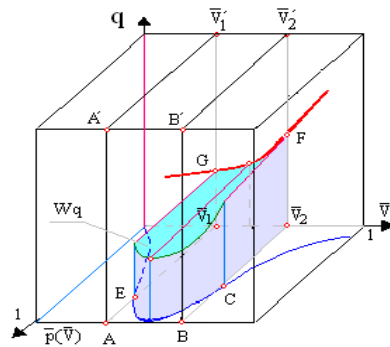


Рис 2. Пространственная иллюстрация интегрального стохастического критерия по топливной экономичности W_{Qp} .

Относительные интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по КПД ГОМТ $W_{\eta p}$, интегральный стохастический критерий по мощности тепловыделений в трансмиссии $W_{\Delta Np}$ и введенный нами интегральный стохастический критерий W_{Qp} по топливной экономичности представим в следующем виде:

$$W_{Dp} = \frac{\bar{W}_{Dp}}{W_{12}} = \frac{1}{\bar{V}_2 - \bar{V}_1} \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} D(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 9)$$

$$W_{\eta p} = \frac{\bar{W}_{\eta p}}{W_{12}} = \frac{1}{\bar{V}_2 - \bar{V}_1} \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \eta(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 10)$$

$$W_{\Delta Np} = \frac{\bar{W}_{\Delta Np}}{W_{12}} = \frac{1}{\bar{V}_2 - \bar{V}_1} \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} \Delta \bar{N}(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 11)$$

$$W_{Qp} = \frac{\bar{W}_{Qp}}{W_{12}} = \frac{1}{\bar{V}_2 - \bar{V}_1} \int_{\bar{V}_1}^{\bar{V}_2} Q(\tilde{A}, \bar{V}, f) \cdot \bar{p}(\bar{V}) d\bar{V}, \quad 12)$$

что геометрически соответствует отношениям объемов рассмотренных прямых неправильных призм – интегральным объемам по соотношениям (3) – (8) – к объемам параллелепипедов $AB\bar{V}_2\bar{V}_1A'B'\bar{V}'_2\bar{V}'_1$ с единичными высотами, объемы W_{12} которых численно равны разности $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$. Очевидно, чем выше значения относительных критериев (9) – (12), тем выше в целом технико-экономические показатели трансмиссии и транспортного средства. Физический смысл введенных критериев отражает возможности транспортного средства по тяговой динамике и КПД ГОМТ, характеризует мощность тепловыделений в заданном скоростном диапазоне реальных эксплуатационных скоростей $V \in [V_1; V_2]$ и оценивают топливную экономичность ДВС, например при сравнении альтернативных вариантов трансмиссий с учетом того, что транспортное средство чаще находится в зоне математического ожидания $M[\bar{V}]$ относительной эксплуатационной скорости. Анализируя первые два критерия, в работе [3] справедливо отмечается, что множества варьируемых параметров при вычислении функционалов W_{Dp} и $W_{\eta p}$ “сильно” пересекаются, максимума они достигают при различных векторах Γ конструктивных параметров трансмиссии, так как между динамическим фактором D как удельной силой тяги $D(\Gamma, \bar{V}, q, f)$ и КПД ГОМТ $\eta(\Gamma, \bar{V}, q, f)$ из-за наличия потерь в трансмиссии существует сложная нелинейная связь

$$D(\tilde{A}, \bar{V}, q, f) = \frac{N_{\tilde{A}}}{V_{\max}} \cdot \frac{\eta(\tilde{A}, \bar{V}, q, f)}{\bar{V}},$$

где: $N_{\tilde{A}}$ – мощность ДВС, соответствует заданным \bar{V} , f . Например, для трактора в технологичном режиме вспашки при $f=0,45-0,5$; $V = 2,0 - 2,8$ м/с (7,2 – 10 км/ч) ГОМТ должна быть оптимизирована по критериям (1.2), (1.6), (1.10) и (1.12), так как в этом случае, когда технологический про-

цесс достаточно стабилен, особенно важен КПД трансмиссии и топливная экономичность (рис. 1 б и 2).

Выводы

1. Для бесступенчатых гидрообъемно-механических и электромеханических трансмиссий транспортных средств модернизированы и обобщены интегральные стохастические критерии по тяговой динамике W_{Dp} , по КПД W_{np} , по мощности тепловыделений ΔN в трансмиссии $W_{\Delta Np}$. Уточнены векторы конструктивных варьируемых параметров $\Gamma_r(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, q, m, N_d)$ и $\Gamma_3(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_u, k_i, m, N_d)$ соответственно для ГОМТ и ЭМТ.

2. Введен новый интегральный стохастический критерий по топливной экономичности.

3. Для бесступенчатых гидрообъемно-механических и электромеханических трансмиссий 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.

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.