

3. Таран И.А. Квазистатический анализ полнопоточной электромеханической трансмиссии шахтного дизелевоза / И.А. Таран // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2010. – Вип. 85. – С. 69 – 76.

4. Таран И.А. Результаты автоматизованого аналізу гідрооб'ємно-механічної трансмісії шахтного дизелевоза / И.А. Таран // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2010. – Вип. 7. – С. 172 – 177.

УДК 629.34:62-235:165.41

## АЛГОРИТМ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ТРАНСМИССИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

**И.А. Таран**, доктор технических наук, доцент кафедры управления на транспорте Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [taran\\_70@mail.ru](mailto:taran_70@mail.ru)

**И.Ю. Клименко**, ассистент кафедры управления на транспорте Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [iryna\\_klymenko@mail.ru](mailto:iryna_klymenko@mail.ru)

**Аннотация.** 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.

## ALGORITHM OF BENCHMARKING TRANSMISSIONS OF TRANSPORT VEHICLES

**I.O. Taran**, Doctor of technical Sciences, Associate Professor of Department of Transportation Management State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [taran\\_70@mail.ru](mailto:taran_70@mail.ru)

**I.Y. Klymenko**, Assistant of Department of Transportation Management State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [iryna\\_klymenko@mail.ru](mailto:iryna_klymenko@mail.ru)

**Abstract.** For the stepless transmissions of transport vehicles modernized and generalized integral stochastic criteria on a hauling dynamics and powers of exotherm. A new stochastic integral criterion is offered for a fuel economy.

*Keywords:* stepless transmission, integral criteria, a hauling dynamics, powers of teplovydeleniy, fuel economy.

**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  $\Gamma$  [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]. 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  $\Delta N$  в трансмиссии  $W_{\Delta Np}$ .

**Цель работы.** Разработать и апробировать интегральную систему критериев оценки работы бесступенчатых трансмиссий транспортных средств для объективного сравнения альтернативных вариантов.

**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 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

$W_{Dp}$ , по КПД ГОМТ  $W_{\eta p}$  и по мощности тепловыделений  $\Delta N$  в трансмиссии  $W_{\Delta Np}$  предлагается записывать в виде:

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

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

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

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 :

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

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 единичном кубе с осями в виде относительной скорости  $\bar{V}$ , относительной плотности распределения вероятности  $\bar{p}(\bar{V})$  эксплуатационных скоростей и динамического фактора  $D$ , кото-

рый также ограничен единицей. Величина  $\Delta N$  также нормирована своим максимальным значением  $\Delta N_{\max}$  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 (1) – (3). Это – объемы прямых неправильных призм  $\bar{V}_1\bar{V}_2CEGFC'E'$  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  $\bar{V}_2 - \bar{V}_1$ .

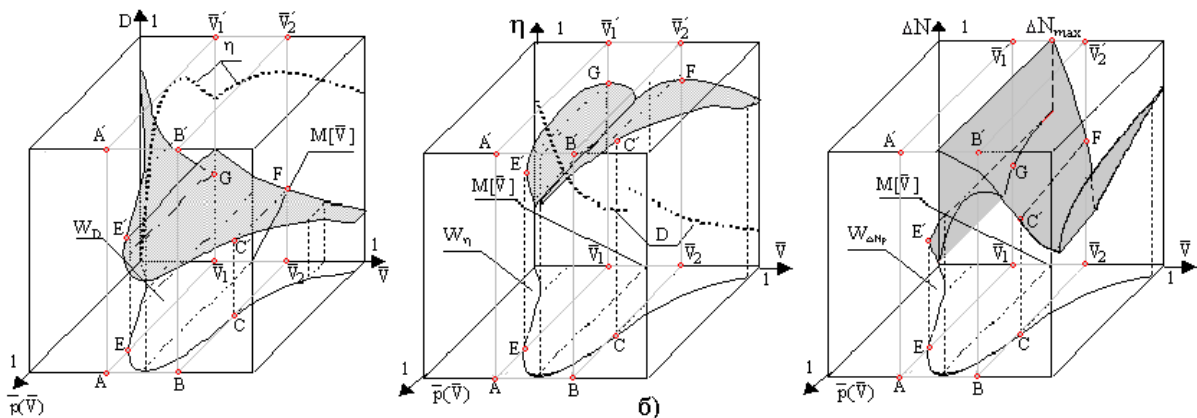


Рисунок 1 – К задаче о модернизации интегральных стохастических критериев  $W_{Dp}$ ,  $W_{\eta p}$  и  $W_{\Delta Np}$  для бесступенчатых трансмиссий транспортных средств

В целом в работах [1-4] введены и используются только три критерия оптимальности ГОМТ в виде формализованных критериальных объемов  $\bar{W}_{Dp}$ ,  $\bar{W}_{\eta p}$  и  $\bar{W}_{\Delta Np}$ . 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, учи-

тывать 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  $W_{Qp}$  по топливной экономичности предлагается записывать в виде

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

где  $Q(\Gamma, \bar{V}, f)$  – мгновенный часовой расход ДВС транспортного средства, как функция вектора  $\Gamma$  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 автором пространственная иллюстрация четвертого, интегрального стохастического критерия по топливной экономичности  $W_{Qp}$ .

Определение рационального вектора конструктивных параметров в режиме диалога с ПЭВМ (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.

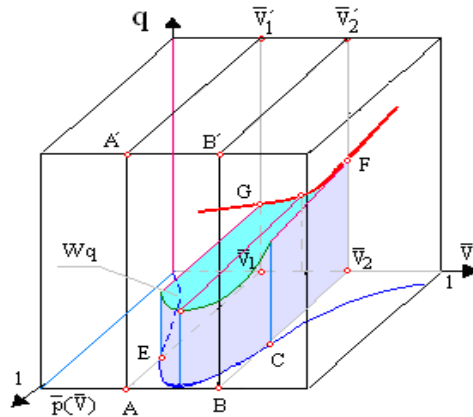


Рисунок 2 – Пространственная иллюстрация интегрального стохастического критерия по топливной экономичности  $W_{Qp}$

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 ГОМТ № 2 [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).

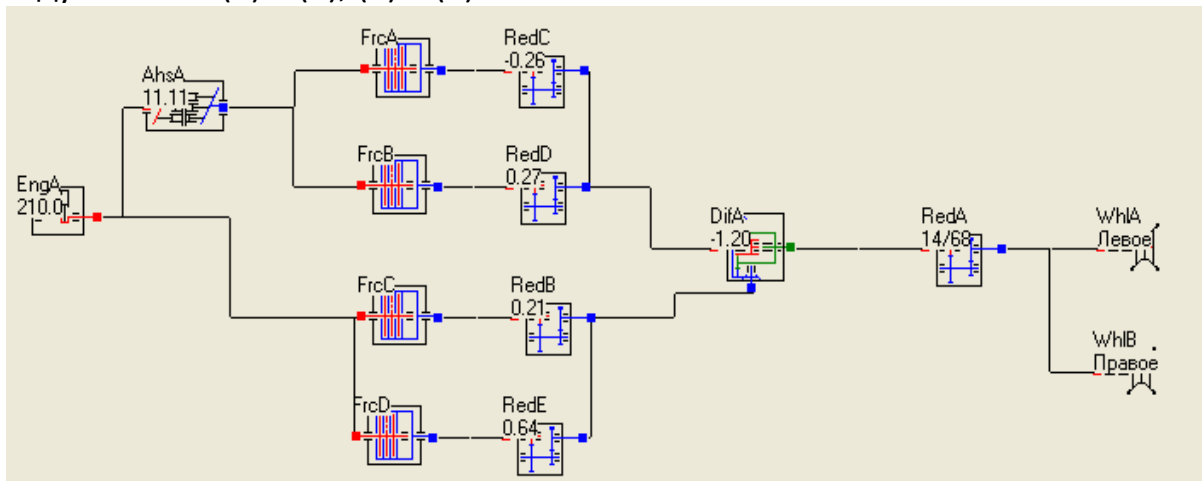


Рисунок 3 – Структурная схема бесступенчатой двухпоточной трансмиссии ГОМТ №2 и её конструктивные параметры: EngA – двигатель; AhsA – ГОП; RedA, RedB, RedC, RedD и RedE – редукторы; DifA – суммирующий планетарный ряд; WhIA и WhIB –ведущие оси, FrcA, FrcB, FrcC, FrcD – фрикционы

Результаты этих исследований приведены на рис. 4. 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 №2 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  $W_D, W_\eta, W_{\Delta N}, W_Q$  (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.

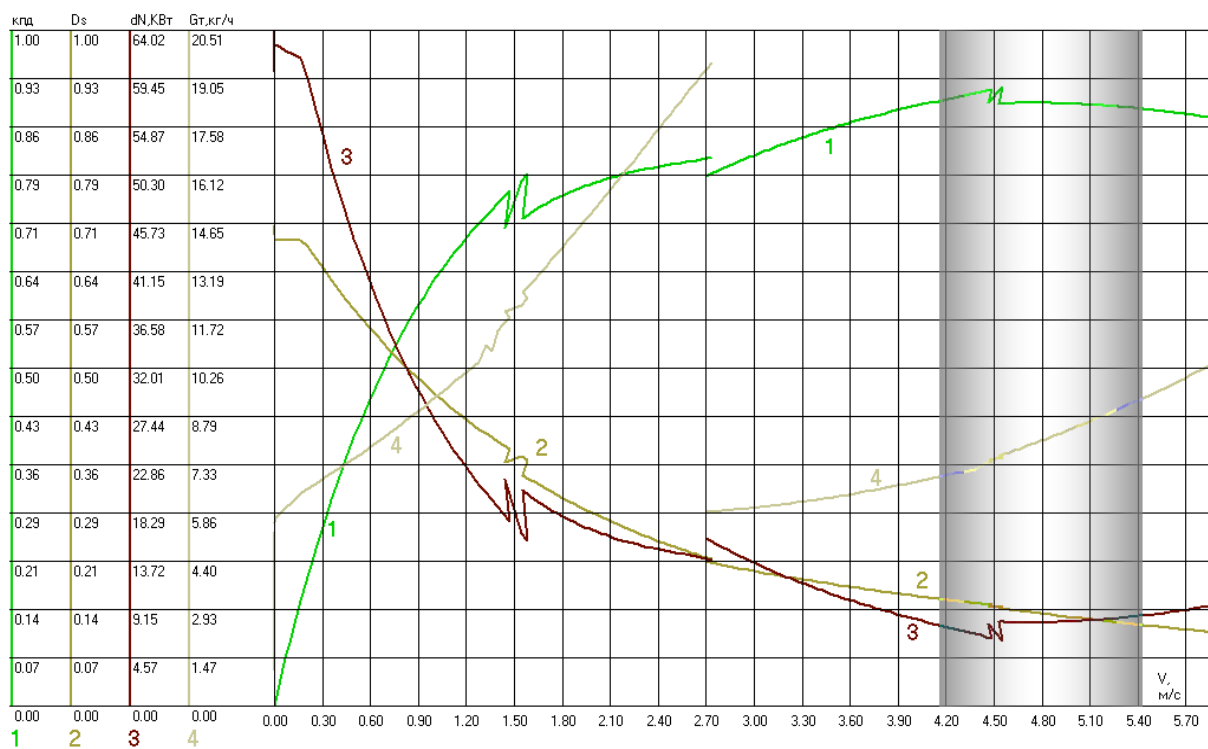


Рисунок 4, а) среднеинтегральные критерии: полный к.п.д. (1), динамический фактор (2), мощность тепловыделений (3), почасовой расхода топлива (4) для ГОП с  $q=89$  см<sup>3</sup>

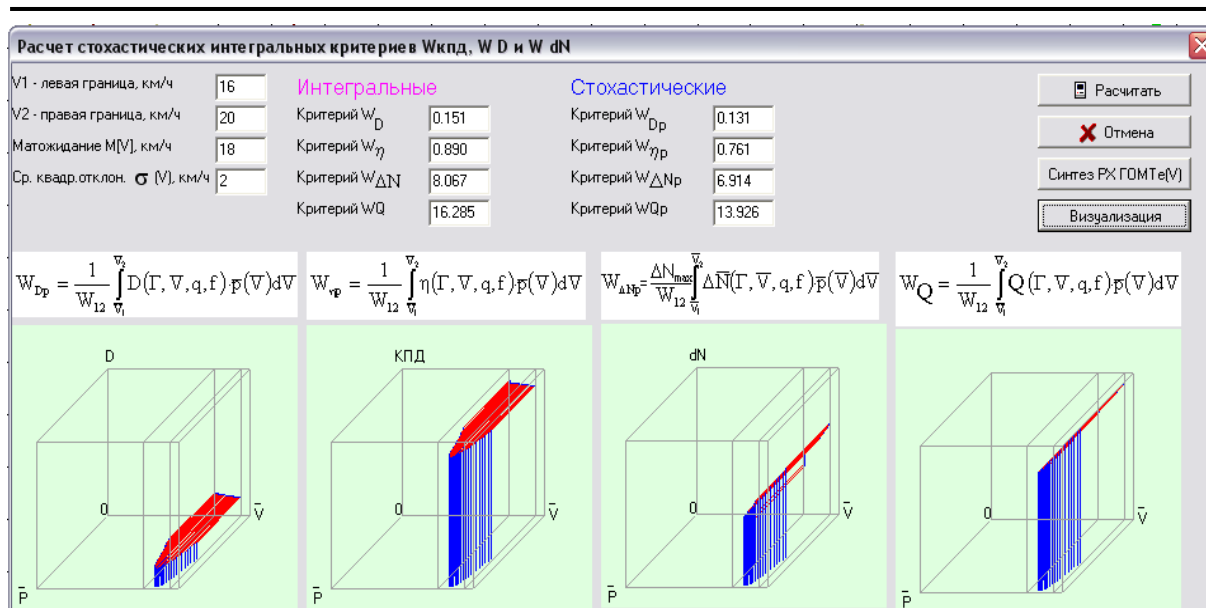


Рисунок 4, б) визуализация интегральных стохастических критериев

Рисунок 4 – Интегральные стохастические критерии ГОМТ №2

### 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.  $W_{\eta p}$ , по мощности тепловыделений  $\Delta N$  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  $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n, k_w, k_i, m, N_d)$  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.

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.



## ЛИТЕРАТУРА

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.

УДК 622.271.64, 62-791.2

### УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ГЛУБОКОВОДНОГО ГРУНТОРАЗРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Т.В. Шепель**, аспирант

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [sarat.dp@mail.ru](mailto:sarat.dp@mail.ru)

**А.В. Сычев**, инженер-проектировщик

ООО «Smart System», г. Днепропетровск, Украина, e-mail: [antonysychoy@gmail.com](mailto:antonysychoy@gmail.com)

**Аннотация.** В работе приведено обоснование инженерных решений по созданию устройства для исследования кинематики и динамики глубоководного грунторазрабатывающего оборудования применительно к канатно-ковшовым средствам пробоотбора научно-исследовательских судов типа «Профессор Водяницкий» и «Владимир Паршин».