

Б.В. САМОРОДОВ

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ВЫБОР АДАПТИВНЫХ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРЯМОГО ПОИСКА ПРИ СИНТЕЗЕ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ

На прикладі альтернативного варіанту автотракторної трансмісії проведено аналіз ефективності та рекомендовані найбільш адаптивні оптимізаційні методи прямого пошуку у процесі синтезу гідрооб'ємно-механічних трансмісій.

By the example of the alternative version of the auto-tractor transmission the analysis of efficiency is carried out and the most adaptive optimization methods of direct search during synthesis of hydrovolume-mechanical transmissions are recommended.

Применение регулярных методов оптимизации позволяет решать задачу по определению оптимальных передаточных отношений редукторов, внутренних передаточных отношений планетарных механизмов, то есть вектора конструктивных параметров по критерию максимального среднеинтегрального КПД гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ). Серьезный научный интерес представляет собой вопрос: какие методы оптимизации нулевого порядка наиболее эффективны и могут быть рекомендованы к использованию в процессе параметрического синтеза ГОМТ с учетом специфики трансмиссионных задач.

В последние 30 лет в области исследования трансмиссий за исключением редких работ [1, 2, 4, 5, 6, 8] практически не применялись регулярные методы оптимизации как инструмент, который мог бы способствовать постановке и решению задачи выбора наилучших конструктивных параметров ГОМТ по соответствующим критериям качества.

Научный интерес представляет анализ эффективности и выбор наиболее адаптивных оптимизационных методов прямого поиска в процессе синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий.

В работе [7] предложена технология синтеза основных конструктивных параметров по критерию наивысшего среднеинтегрального КПД на примере двухпоточной ГОМТ перспективного лесотехнического трактора:

$$W_{\eta} = \frac{1}{V_2 - V_1} \int_{V_1}^{V_2} \eta(\Gamma, V, q, f) dV, \quad (1)$$

где $\eta(\Gamma, V, q, f)$ – закон изменения КПД ГОМТ как функции собственного вектора $\Gamma(i_1, i_2, \dots, i_m, k_1, k_2, \dots, k_n)$ конструктивных варьируемых параметров, и рабочего объема гидромашин q ; V_1, V_2 – минимальная и максимальная рабочие эксплуатационные скорости; f – наиболее вероятный коэффициент сопротивления движению в интервале рабочих скоростей $V \in [V_1; V_2]$.

На рис. 1 представлен альтернативный вариант кинематической схемы ГОМТ №2 для трактора, с обозначением угловых скоростей на звеньях трансмиссии, а также передаточных отношений ее элементов.

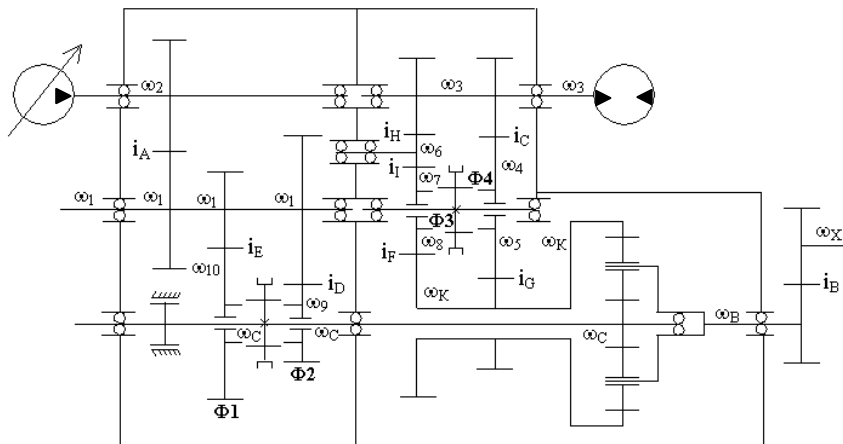


Рис. 1 Кинематическая схема ГОМТ №2

Регулировочная характеристика (РХ) ГОМТ №2 представлена на рис. 2.

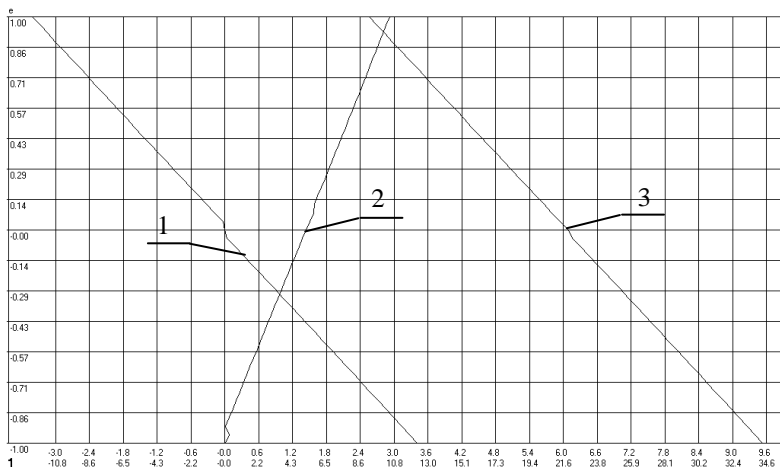


Рис. 2. Регулировочная характеристика ГОМТ №2

На рис. 2 первый скоростной диапазон реализуется нереверсивной РХ–2. Причем при $\epsilon \in [-1,0]$ ГОМТ №2 работает в режиме циркуляции мощности с обратным потоком мощности через ГОП, а при $\epsilon \in [0,+1]$ ГОП работает в прямом потоке мощности. РХ–3 соответствует второй транспортному

диапазону, здесь в режимах $e \in [+1,0]$ на втором транспортном диапазоне в ГОМТ №2 имеет место циркуляция мощности и обратный ее поток через ГОП, а при $e \in [0,-1]$ – параллельная передача мощности по гидравлической и механической ветвям трансмиссии. РХ–1 соответствует третьему скоростному диапазону, который является реверсивным диапазоном переднего и заднего хода.

Первый рабочий скоростной диапазон, рассчитанный на реализацию тягового усилия до 14 кН, реализуется включением фрикционов Ф1 и Ф4 при выключенных Ф2, Ф3 и Т. Поток мощности от двигателя раздваивается. С вала 1 (от двигателя) через редуктор i_A мощность проходит через регулируемый гидронасос 2, нерегулируемый гидромотор 3 и с его вала 4 через замкнутый фрикцион Ф4 и редукторы i_C и i_G поступает на коронную шестерню 7 суммирующего планетарного ряда. Второй поток мощности от двигателя с вала 1 через замкнутый фрикцион Ф1 и редуктор i_E поступает на солнечную шестерню планетарного ряда.

Второй транспортный диапазон предназначен для перемещения трактора со скоростями до 30–34 км/ч при коэффициенте сопротивления движению до 0.05. Второй скоростной диапазон обеспечивается включением фрикционов Ф2 и Ф3 и выключением Ф1, Ф4 и тормоза Т. Мощность по гидравлической ветви с вала 1 двигателя через редуктор i_A передается на ГОП (2,3) и далее через замкнутый фрикцион Ф3, редуктор i_H , i_I и i_F на коронную шестерню 7 планетарного ряда. Механический поток мощности проходит через замкнутый фрикцион Ф2 и редуктор i_D на солнечную шестерню 10. Оба потока мощности алгебраически суммируются на водиле 8 и передаются далее на ведущие колеса через бортовой редуктор i_B .

Третий скоростной диапазон — достигается включением фрикциона Ф4 и тормоза Т при выключенных фрикционах Ф1, Ф2 и Ф3. Этот диапазон с перерегулированием ГОП введен для расширения функциональных возможностей трактора и удобства управления. Процесс перерегулирования заключается в том, что при переходе с конца первого или с начала второго диапазона на реверсивный третий диапазон, сопровождается изменением параметра регулирования ГОП e с $+1$ до -1 . Это изменение в процессе переключения диапазонов должно происходить достаточно быстро в ручном режиме или с помощью автоматики.

На рис. 3 представлены результаты параметрического синтеза ГОМТ №2 с использованием оптимизационных процедур [3, 10] Хука-Дживса, Розенброка, деформируемого многогранника (метода Нелдера-Мида), Пауэлла, симплекса на «жалее» [9], метода «компаса», метода комплексов.

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.000026	956
Deformable polyhedron method	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.000702	29993
PaueI method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	75529.093	60008
Kompas method	-0.136	-0.242	-3.617	-0.645	-0.155	1.061	-0.072	-4.842	0.110	-4.339	0.000124	7414
Complex method	0.025	0.100	-5.021	1.276	-1.341	-1.525	-1.529	-4.454	-2.356	-4.094	1358.3053	1923

а) $V1_{max} = 9.5$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000000	715
Rosenbroks method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.350	0.000052	646
Deformable polyhedron method	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.000280	27939
PaueI method	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000055	694
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	75243.258	60008
Kompas method	-0.377	-0.032	-5.024	-5.026	-1.441	-5.024	-0.149	-0.530	-0.541	-4.498	12.588303	60028
Complex method	0.027	0.100	-3.368	0.758	0.171	-4.343	-2.088	-1.703	-1.525	-1.547	28.386921	3241

б) $V1_{max} = 10$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000100	405
Rosenbroks method	-0.387	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000135	380
Deformable polyhedron method	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.000314	28001
PaueI method	-0.387	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.000135	404
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	74958.423	60008
Kompas method	-0.199	-0.247	0.121	-0.520	-0.135	2.320	1.697	-0.392	0.420	-3.293	0.000024	3488
Complex method	0.025	0.100	-0.808	1.778	0.374	-2.407	-1.971	-1.525	-2.873	-4.447	71.744976	2556

в) $V1_{max} = 10.5$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	390
Rosenbroks method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	365
Deformable polyhedron method	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.000775	27733
PaueI method	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000134	389
Sting method	-0.136	-0.821	-0.568	-1.048	-0.567	0.154	-0.519	-0.396	-0.396	-2.098	74674.588	60008
Kompas method	-0.102	-0.349	0.169	-0.387	-0.104	2.379	1.756	-0.382	0.563	-3.453	0.000049	3380
Complex method	0.042	0.100	-0.709	0.781	0.210	-1.915	-4.504	-1.542	-1.866	-1.573	0.006796	1570

г) $V1_{max} = 11$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч

Рис. 3. Сводные результаты применения методов оптимизации нулевого порядка при определении оптимальных векторов конструктивных параметров Γ^* для ГОМТ №1

На рис.4 показаны результаты исследования эффективности методов оптимизации нулевого порядка, в случае, когда для трех указанных методов меняется величина начального ребра симплекса a ($a = 1$ на рис.4а, б, в, г и $a=0.1$ на рис.4д).

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.432	0.100	-0.750	1.270	0.305	1.645	0.283	0.528	0.525	-3.342	0.000409	897
Deformable polyhedron method	0.635	0.101	0.512	1.265	0.304	1.054	0.279	-0.237	1.236	-3.354	0.000244	26726
PaueI method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	-0.565	-0.068	-0.881	-1.716	-0.425	-0.803	-0.285	-0.803	-0.803	-2.976	0.159091	15871
Kompas method	-0.660	-0.461	-0.173	-0.279	-0.067	-0.347	-0.173	1.162	0.160	-3.410	0.000119	7908
Complex method	0.025	0.100	-0.862	0.962	0.221	-4.481	-4.519	-1.529	-1.767	-2.270	31.132795	5821

а) $V1_{max} = 9.5$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч, $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.407	0.100	-0.721	1.294	0.323	1.722	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000000	718
Rosenbroks method	-0.407	0.100	-0.721	1.288	0.322	1.714	0.328	0.525	0.525	-3.350	0.000035	351
Deformable polyhedron method	0.643	0.101	0.536	1.279	0.320	0.937	0.275	-0.246	1.285	-3.359	0.000309	26897
PaueI method	-0.407	0.100	-0.721	1.294	0.324	1.722	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.000144	694
Sting method	-0.530	-0.070	-0.897	-1.731	-0.454	-0.804	-0.308	-0.804	-0.804	-3.063	0.295987	16690
Kompas method	-0.184	-0.271	0.168	-0.401	-0.100	3.117	1.212	-0.330	0.395	-2.673	0.000013	3618
Complex method	0.026	0.100	-1.387	0.740	0.176	-3.758	-3.406	-1.873	-1.528	-1.500	3.977076	6103

б) $V1_{max} = 10$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч, $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.386	0.101	-0.721	1.294	0.335	1.744	0.359	0.525	0.525	-3.353	0.000084	405
Rosenbroks method	-0.387	0.100	-0.721	1.304	0.338	1.759	0.362	0.525	0.525	-3.348	0.000000	353
Deformable polyhedron method	0.695	0.094	0.485	1.315	0.341	0.892	0.322	-0.292	1.114	-3.142	0.000291	21947
PaueI method	-0.387	0.101	-0.721	1.294	0.335	1.744	0.359	0.525	0.525	-3.353	0.000114	404
Sting method	-0.605	-0.072	-0.861	-1.680	-0.431	-0.761	-0.280	-0.761	-0.761	-2.990	0.042665	14766
Kompas method	-0.234	-0.456	0.037	-0.302	-0.078	3.145	2.522	-0.120	0.456	-3.592	0.000061	11448
Complex method	0.025	0.100	-0.884	1.638	0.420	-3.020	-4.315	-1.525	-1.565	-4.455	0.087310	3232

в) $V1_{max} = 10.5$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч, $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.366	0.102	-0.721	1.291	0.346	1.770	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000041	390
Rosenbroks method	-0.366	0.100	-0.721	1.320	0.354	2.049	0.400	0.461	0.529	-3.348	0.000620	357
Deformable polyhedron method	0.782	0.134	0.364	0.967	0.259	1.214	0.278	-0.185	0.777	-3.279	0.000759	23787
PaueI method	-0.366	0.102	-0.721	1.291	0.346	1.770	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.000041	389
Sting method	-0.501	-0.080	-0.851	-1.531	-0.416	-0.772	-0.322	-0.772	-0.772	-3.028	0.055524	14505
Kompas method	-1.083	-0.029	-4.278	-5.025	-2.489	-0.854	-0.117	-5.025	-0.136	-4.500	63.196404	60052
Complex method	0.025	0.100	-0.588	0.770	0.169	-2.627	-1.534	-3.995	-1.525	-1.500	134.047571	3970

г) $V1_{max} = 11$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч, $a = 1$

	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	μ*	N
Hook-Jeevs method	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.000115	752
Rosenbroks method	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.000026	956
Deformable polyhedron method	0.539	0.105	0.381	1.519	0.365	1.311	0.400	-0.379	0.661	-4.452	0.000284	31726
PaueI method	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.000292	746
Sting method	0.835	-0.228	-0.268	-0.526	-0.127	0.617	0.181	-0.393	-0.435	-3.100	0.003115	19660
Kompas method	-0.437	-0.027	-5.024	-5.023	-2.543	-0.539	-0.135	-0.548	-5.026	-4.498	53.685382	60010
Complex method	0.038	0.100	-1.480	1.607	0.387	-1.547	-1.539	-2.079	-1.527	-4.500	0.003096	3690

д) $V1_{max} = 9.5$ км/ч, $V2_{max} = 30$ км/ч, $a = 0.1$

Рис.4. Сравнение симплекс – методов для ГОМТ №2 с меньшим размером ребра начального симплекса

Для определенности рассмотрены четыре пилообразных регулировочных характеристики с разными максимальными скоростями

движения трактора на 1-ом рабочем диапазоне (9.5 км/ч, 10 км/ч, 10.5 км/ч и 11 км/ч) и одинаковой максимальной скоростью (30 км/ч) на втором транспортном диапазоне. Во всех случаях и для всех методов оптимизации начальный вектор конструктивных параметров был одинаков $\Gamma(i_A, i_B, i_C, i_D, i_E, i_F, i_G, i_H, i_I, k_1) = \Gamma(0,784; 0,10; 0,353; 1,286; 0,329; 1,0; 0,376; 0,50; 0,50; -3,347)$. Критерий оптимизации $W_{\eta} = f^*$ и число N обращений в том или ином методе оптимизации в процессе минимизации функционала (1) для каждого метода показаны в колонках 7 и 8 соответственно на рис 3.

Метод Хука-Дживса, метод Розенброка и метод Пауэлла дают очень близкие вектора конструктивных параметров, то есть обеспечивают функционалу (1) один и тот же локальный минимум.

Метод комплексов с учетом своей вероятностной основы не дает стабильных результатов для ГОМТ №2. Метод деформируемого многогранника, не смотря на большое число итераций, дает устойчивое решение задачи синтеза ГОМТ №2 и при этом в отличие от методов Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла дает качественно другой собственный вектор конструктивных параметров, меняя не только значения передаточных отношений, но и знаки у некоторых из них, что на практике означает введение промежуточных «паразитных» шестерен.

Нестабильно работает метод «компас» – на одной из четырех РХ (рис.3б) метод не обеспечивает кинематической стыковки скоростных диапазонов ($f^* = 12.58$). В методах Нелдера-Мида, симплекса на «жале» (Sting method), а также в методе «компас» размер ребра начального регулярного симплекса выбирался равным 2.

Стабильно работает метод Нелдера-Мида, несколько улучшается работа метода симплекса на «жале» и метода «компас», однако для их эффективного использования, по-видимому, необходима специальная подстройка по величине начального симплекса, коэффициенту его уменьшения, который должен быть поставлен в соответствие с точностью, при достижении которой производится выход из итерационной оптимизационной процедуры.

Возвращаясь к рис.3, как уже было отмечено выше, метод деформируемого многогранника, не смотря на большое число итераций, дает устойчивое решение задачи синтеза ГОМТ №2.

На рис. 5 приведены сравнительные результаты параметрического синтеза трансмиссий ГОМТ №2, полученные при использовании разных оптимизационных процедур для трех типоразмеров ГОП (Зауэр №21, №22 и №23) и значения среднеинтегрального КПД. Исследование применимости гидромашин типа «Зауэр» различного рабочего объема проведено с целью выявить влияние разных типоразмеров гидромашин на значение критерия средне-интегрального КПД ГОМТ (1).

№	method	speed	gop_serie	iA	iB	iC	iD	iE	iF	iG	iH	iI	k1	KPD
1	H-D	9.5	Zauer №23	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.8669
2	H-D	9.5	Zauer №22	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.8429
3	H-D	9.5	Zauer №21	-0.433	0.098	-0.793	1.300	0.313	1.678	0.271	0.527	0.525	-3.355	0.7956
4	Rozen	9.5	Zauer №23	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.8660
5	Rozen	9.5	Zauer №22	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.8412
6	Rozen	9.5	Zauer №21	-0.431	0.098	-0.753	1.300	0.313	1.678	0.287	0.530	0.525	-3.355	0.7826
7	Nel-M	9.5	Zauer №23	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.7931
8	Nel-M	9.5	Zauer №22	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.7385
9	Nel-M	9.5	Zauer №21	0.284	0.229	-0.296	0.558	0.134	1.022	-0.474	0.389	-0.759	-3.375	0.6340
10	PaueI	9.5	Zauer №23	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.8660
11	PaueI	9.5	Zauer №22	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.8431
12	PaueI	9.5	Zauer №21	-0.435	0.098	-0.785	1.299	0.312	1.675	0.272	0.525	0.525	-3.354	0.7878
13	Kompas	9.5	Zauer №23	-0.136	-0.242	-3.617	-0.645	-0.155	1.061	-0.072	-4.842	0.110	-4.339	0.5622
14	H-D	10	Zauer №23	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.8626
15	H-D	10	Zauer №22	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.8341
16	H-D	10	Zauer №21	-0.407	0.099	-0.721	1.295	0.324	1.723	0.329	0.525	0.525	-3.348	0.7610
17	Nel-M	10	Zauer №23	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8248
18	Nel-M	10	Zauer №22	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8322
19	Nel-M	10	Zauer №21	0.850	0.077	0.391	1.644	0.412	1.553	0.380	0.476	-0.402	-3.255	0.8274
20	H-D	10.5	Zauer №23	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.8561
21	H-D	10.5	Zauer №22	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.8134
22	H-D	10.5	Zauer №21	-0.386	0.101	-0.721	1.295	0.335	1.745	0.359	0.525	0.525	-3.354	0.7346
23	Nel-M	10.5	Zauer №23	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8156
24	Nel-M	10.5	Zauer №22	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8297
25	Nel-M	10.5	Zauer №21	0.948	0.082	0.421	1.536	0.399	1.552	0.315	0.661	-0.240	-3.176	0.8264
26	H-D	11	Zauer №23	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.8379
27	H-D	11	Zauer №22	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.8000
28	H-D	11	Zauer №21	-0.366	0.102	-0.721	1.292	0.346	1.771	0.392	0.525	0.525	-3.348	0.7121
29	Nel-M	11	Zauer №23	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8062
30	Nel-M	11	Zauer №22	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8250
31	Nel-M	11	Zauer №21	1.021	0.079	0.380	1.531	0.410	1.584	0.357	0.542	-0.273	-2.968	0.8289

Рис. 5. Сравнение результатов параметрического синтеза трансмиссии ГОМТ №2, полученных при использовании разных оптимизационных процедур (рис. 3) для трех типоразмеров ГОП и значения среднеинтегрального КПД

Сравнивая эти результаты, видно, что оптимальный вектор конструктивных параметров, найденный при помощи метода Нелдера-Мида, обеспечивает (в большинстве случаев) низший среднеинтегральный КПД (1) по сравнению с методами оптимизации Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла.

Обращает на себя внимание (рис. 5), что все три наиболее эффективных метода оптимизации – Хука-Дживса, Розенброка и Пауэлла – на максимальной скорости $V_{1max} = 9.5$ км/ч дают практически одинаковый оптимальный вектор конструктивных параметров, который для ГОМТ №2 с ГОП типа «Заур» №23 обеспечивает трансмиссии наивысший среднеинтегральный КПД, равный 0.866 (строки 1, 4, 10 на рис. 5). Хорошо видно, что при уменьшении рабочего объема гидромашин для заданной РХ, значение среднеинтегрального КПД трансмиссии ГОМТ №2 с применением указанных выше методов падает.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно рекомендовать для использования в процессе параметрического синтеза ГОМТ методы Хука-Дживса, Розенброка, Пауэлла, а также с минимальной подстройкой метод Нелдера-Мида. Однако при этом в процессе параметрического синтеза ГОМТ по критерию максимального среднеинтегрального КПД должен учитываться рабочий объем гидромашин.

Вторым важнейшим выводом на основе проведенного исследования является вывод о том, что разные методы оптимизации в процессе параметрического синтеза ГОМТ могут приводить к разным собственным векторам конструктивных параметров. Это означает, что заданная РХ ГОМТ может быть реализована не одним вектором, а некоторым множеством собственных векторов конструктивных параметров. В этом смысле конструктор получает более широкие возможности для конструктивной реализации кинематической схемы разрабатываемой трансмиссии.

Список литературы: 1. Автоматизированное управление гидрообъемными трансмиссиями и механизмами поворота гусеничных машин: Монография / Е.Е. Александров, М.Д. Борисюк, Я.В. Грота, В.А. Кононенко. – Харьков: ХГПУ, 1995. – 176 с. 2. Александров Е.Е., Самородов В.Б. Проблемы многокритериальной оптимизации трансмиссий транспортных средств // В кн.: "Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века", т.1. – Донецк. – 1999. – С. 26 – 29. 3. Г. Реклейтис, А.Рейвиндран, К.Рээсдел. Оптимизация в технике. Кн. 1. Изд. "Мир", Москва 1986. 4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных транспортных машин / Александров Е.Е., Лебедев А.Т., Самородов В.Б. и др.-Харьков:ХГАДТУ, 2001. – 642 с. 5. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О.М. Бабаев, Л.И. Игнатов, Е.С. Кисточкин и др.:–Л.: Машиностроение, 1987.– 256 с. 6. Самородов В.Б. Алгоритм оптимизации параметров гидрообъемно-механических трансмиссий транспортных средств. // Прочностные динамические характеристики машин и конструкций, Пермь, ППИ, 1985. – С. 59 – 63. 7. Самородов В.Б., Самородов В.Б. Постановка задачи параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий для транспортных средств, выполняющих относительно стабильные технологические процессы. – Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2003. – № 1. С.112-118. 8. 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. 9. Самородов В.Б., Гужва В.А., Самородов В.Б. Метод симплекса на «жале» как модификация оптимизационных методов прямого поиска Спендли-Хекста-Химсворта и Нелдера-Мида. – Вісник НТУ «ХП» 36. наук. пр. Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків: НТУ «ХП». –2002. № 13. С. 79-86. 10. Химмельбау Д.М. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975.

Поступила в редколлегию 16.11.06УДК 658.012.011.56

В. М. ЛЕВЫКИН, д-р техн. наук, **М. С. КУДРЯВЦЕВА**, аспирант
ХНУРЭ

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВАРИАНТОВ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В роботі з застосуванням теорії нечітких множин розроблено моделі оцінок використання методів для діагностики порушень роботи трансформаторного обладнання, які дають можливість