

Выбор оптимальных параметров гидропривода вентилятора для системы охлаждения двигателя транспортного средства

07, июль 2013

DOI: 10.7463/0713.0590873

Труханов К. А., Попов Д. Н.

УДК 62-522

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

trukhanov@mail.rupopov@bmstu.ru**Введение**

Для решения задачи выбора оптимальных параметров технических систем существует несколько хорошо зарекомендовавших себя методов. Широкое применение получили методы, основанные на использовании множества Парето [1-3], и связанный с ними ЛП_T-поиск оптимальных параметров [4]. Основная особенность данных методов состоит в том, что конструктор по результатам численных экспериментов выбирает наилучший вариант, основываясь на своем опыте. При этом конструктор имеет возможность в интерактивном режиме учитывать неформализуемые критерии качества системы.

В последнее время при решении задач оптимального проектирования технических систем обращается внимание на трудоемкость используемого метода. Основанные на генетических алгоритмах (далее ГА) и модифицированных генетических алгоритмах (далее МГА) методы, позволяют сократить объем вычислений и найти оптимальные параметры системы [5, 6].

Для системы охлаждения двигателя транспортного средства большой грузоподъемности предварительно была выбрана схема гидропривода с дискретным гидрораспределителем [7]. Описывающая динамику данной системы математическая модель представлена в работе [8]. Результаты математического моделирования и физического эксперимента показали, что оптимальные переходные процессы обеспечиваются настройкой клапанов управления гидрораспределителя и поэтому не нужно применять дополнительные устройства

для корректирования динамики выбранной системы гидропривода [8, 9]. Необходимо оптимизировать при выборе только параметры, выпускаемых фирмами элементов, которые используются в гидроприводе.

1. Выбор целевой функции

Для выбора целевой функции при решении задачи проектирования оптимальной системы следует предварительно определить показатели ее качества. Число показателей качества при оценке эффективности проектного варианта гидропривода целесообразно, по возможности, ограничивать. Численные значения показателей качества могут быть назначены так, что лучшему проектному варианту будут соответствовать максимальные значения одних и минимальные значения других.

Массогабаритные показатели и энергетические характеристики обычно публикуются фирмами-изготовителями элементов гидропривода. Они широко используются в практике проектирования технических систем. Для сравнения проектных вариантов лучше применять безразмерные показатели, вычисляемые в виде некоторых чисел подобия. В случае гидропривода с неограниченным по углу вращательным движением выходного звена такое число определяет формула [10]

$$\mu_{mv} = \frac{m \cdot \Omega_B^2 \cdot q^{2/3}}{M_B}, \quad (1)$$

в которой m – масса всего устройства вместе с рабочей жидкостью, Ω_B – угловая скорость выходного звена, q – характерный объем гидромотора, равный $q = \frac{V_0}{2 \cdot \pi}$, где V_0 – рабочий объем гидромотора, M_B – максимальный вращающий момент, действующий на выходное звено. Индексы “m” и “v” указывают на связь числа с массой и вращательным движением выходного звена устройства, соответственно.

Входящие в формулу (1) величины зависят от конструкции и размеров элементов гидропривода, что исключает возможность указать зависимости этих величин друг от друга. При решении задачи выбора параметров гидропривода для системы охлаждения двигателя транспортного средства необходимо найти такой проектный вариант, чтобы предложенная в виде (1) целевая функция имела бы минимальное значение.

Для вычисления параметров гидропривода в проектном варианте, заменим в формуле (1) величину Ω_B диаметром D_B рабочего колеса вентилятора и его окружной скоростью u_B на радиусе $D_B/2$. В результате получим

$$\mu_{mv} = \frac{m \cdot \left(\frac{u_B}{D_B}\right)^2 \cdot V_0^{2/3}}{2^{2/3} \cdot \pi^{2/3} \cdot M_B}. \quad (2)$$

При применении генетических алгоритмов, необходимо формулу (2) преобразовать, представив совокупность варьируемых параметров в виде

$$X = (x_0, x_1, x_2, x_3, x_4), \quad (3)$$

где $x_0 \equiv u_B$ (м/с), $x_1 \equiv D_B$ (м), $x_2 \equiv V_0$ (м³), $x_3 \equiv M_B$ (Нм), $x_4 \equiv m$ (кг)..

С помощью (3) формулу (2) можно представить как

$$F(X) = \frac{x_4 \cdot x_0^2 \cdot x_2^{2/3}}{2^{2/3} \cdot \pi^{2/3} \cdot x_1^2 \cdot x_3}. \quad (4)$$

2. Применение МГА при решении задачи

Сначала заменим в формуле (4) переменные x_0, x_1, x_2, x_3, x_4 , нормированными параметрами [11]:

$$y_i = \frac{x_i - x_{i,\min}}{x_{i,\max} - x_{i,\min}}. \quad (5)$$

В соотношении (5), x_i – варьируемое значение параметра, а $x_{i,\max}$ и $x_{i,\min}$ – максимальное и минимальное значения параметра, соответственно.

Ограничения варьируемых при выборе оптимальных параметров системы примем, исходя из каталогов фирм-изготовителей гидрооборудования и рекомендаций в практике ее использования. Эти ограничения как начальные $x_{нач}$ и конечные $x_{кон}$ значения параметров следующие:

$$\begin{aligned} x_{нач} &= (70 \quad 0,55 \quad 2 \cdot 10^{-5} \quad 60 \quad 5), \\ x_{кон} &= (110 \quad 0,70 \quad 5 \cdot 10^{-5} \quad 90 \quad 10). \end{aligned} \quad (6)$$

После применения соотношения (5) к совокупности ограничений на варьируемые параметры (6), нормированные ограничения примут вид

$$y_{\text{нач}} = (0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

$$y_{\text{кон}} = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1).$$

Применяя алгоритм МГА [12], получили значения совокупности нормированных параметров:

$$Y_{\text{МГА}} = (1,076 \cdot 10^{-5} \ 0,506 \ 0,107 \ 0,351 \ 0,640).$$

3. Применение ГА при решении задачи

Рассмотренная задача выбора параметров системы с гидроприводом была решена также с помощью встроенного в Matlab ГА [6, 13, 14]. В результате получили

$$Y_{\text{ГА}} = (2,015 \cdot 10^{-5} \ 0,547 \ 0,063 \ 0,380 \ 0,632).$$

4. Решение задачи с помощью ЛП_τ-поиска

Для оценки результатов решения задачи по выбору параметров с помощью одного глобального критерия, используемого в генетическом алгоритме, был применен ЛП_τ-поиск при двух критериях: решающего [4] – функции вида (4) и мощности, развиваемой гидромотором.

Полученные выше решения параметров исследуемой системы доставляют минимум одному критерию (4), который вследствие этого является решающим. Чтобы выяснить, потребуется ли варьировать значения параметров, если независимо от критерия (4) изменять полезную мощность гидромотора, был использован ЛП_τ-поиск для определения оптимальных параметров системы в соответствии с принципом Парето.

Размерное значение мощности, развиваемой гидромотором $N_{\text{ГМ}}$, определяет соотношение:

$$N_{\text{ГМ}} = M_{\text{ГМ}} \cdot \omega_{\text{ГМ}} = M_{\text{ГМ}} \cdot \frac{2 \cdot u_{\text{В}}}{D_{\text{В}}}. \quad (7)$$

Для дальнейшего исследования результатов оптимизации параметров системы представим соотношение (7) в безразмерной форме:

$$\overline{N}_{ГМ} = \frac{M_{ГМ}}{(M_{ГМ})_{\max}} \cdot \frac{2 \cdot u_B / (u_B)_{\max}}{D_B / (D_B)_{\max}}$$

В этом случае

$$\overline{F} = \frac{x_4 / (x_4)_{\max} \cdot (x_0 / x_{0\max})^2 \cdot (x_2 / x_{2\max})^{2/3}}{2^{2/3} \cdot \pi^{2/3} \cdot (x_1 / x_{1\max})^2 \cdot (x_3 / x_{3\max})}$$

Критерием оптимальности служит минимальное расстояние выбранной точки в пространстве нормированных критериев от начала координат.

Найденному значению соответствует точка в пространстве размерных параметров, определяемая совокупностью (3):

$$X_{\text{лит}} = (75,28 \quad 0,671 \quad 2,15 \cdot 10^{-5} \quad 72,24 \quad 8,65)$$

Результаты оптимизации системы приведены на рисунке 1.

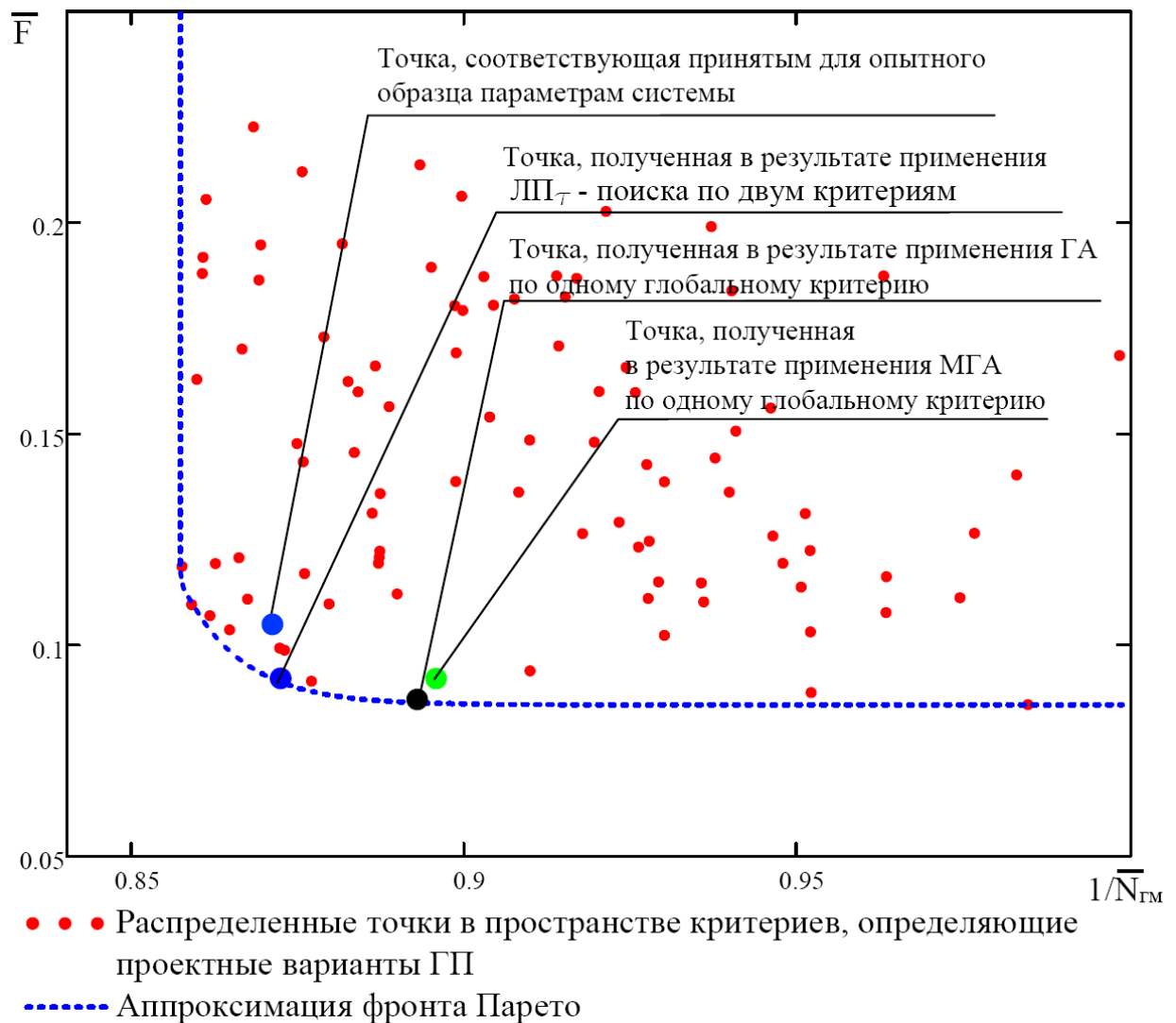


Рис. 1. Результаты определения оптимальных параметров системы с гидроприводом различными способами.

4. Сравнение результатов определения оптимальных параметров тремя способами с выбранными параметрами при интерактивном проектировании системы

При проектировании рассматриваемой системы, кроме целевой функции и параметрических ограничений, требовалось учитывать такие неформализуемые условия, как возможности использования в гидроприводе реально существующих элементов. Вследствие этого, окончательно были приняты параметры вентилятора и гидромотора, указанные в последней строке таблицы 1. Полученные в результате оптимизации параметры системы приведены в первых строках таблицы 1.

Таблица 1. Параметры системы охлаждения двигателя транспортного средства

Способ определения \ Параметры	u_b , м/с	D_b , мм	V_0 , см ³	M_b , Нм	m , кг
Значения параметров, полученных при использовании ГА с помощью одного глобального критерия	70,00	631,9	21,90	71,39	8,16
Значения параметров, полученных при использовании МГА с помощью одного глобального критерия	70,00	625,9	23,20	70,54	8,20
Значения параметров, полученных при использовании принципа Парето с применением ЛП _τ -поиска по двум критериям	75,283	671,3	21,46	72,24	8,65
Значения параметров, принятые с учетом неформализуемых критериев и используемых в разработанной системе с гидроприводом	74,88	650,0	26,00	70,4	8,82

При указанных в таблице 1 значениях параметров u_b , D_b , M_b полезная мощность гидромотора, вычисленная с помощью формулы (7), приведена в таблице 2.

Таблица 2. Полезная мощность гидромотора

Способ определения значения мощности	Значение мощности гидромотора, кВт
Получено при использовании ГА	15,82
Получено при использовании МГА	15,78
Получено при использовании принципа Парето с применением ЛП _τ -поиска	16,20
Значение, принятое в результате интерактивного проектирования системы	16,25

Заключение

Использование генетических алгоритмов (ГА и МГА) в задачах проектирования гидроприводов с дискретно управляемым движением выходного звена позволяет находить оптимальное проектное решение по основанной на формуле (1) одной целевой функции.

Рассмотренные в статье три способа выбора оптимальных параметров системы дают близкие значения параметров, но решение задачи с помощью ЛП_τ-поиска с двумя критериями является более трудоемким, чем решение с помощью генетических алгоритмов. В связи с этим, последний способ следует применять на заключительном этапе интерактивного проектирования при необходимости учета неформализуемых критериев.

Полезная мощность гидромотора, полученная при интерактивном проектировании системы, несколько превышает оптимальное значение, но обеспечивает создание гидропривода из стандартно выпускаемых фирмами изделий. Испытания опытного образца такого гидропривода подтверждают целесообразность его применения.

Список литературы

1. Боровин Г.К., Попов Д.Н. Многокритериальная оптимизация гидросистем: учеб. пособие для вузов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 94 с.
2. Карпенко А.П., Семенихин А.С. Аппроксимации множества Парето методами роя частиц и муравьиной колонии // 6-я международная научно-практическая конференция

"Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте" (Коломна, 16-19 мая 2011 г.): тез. докл. Коломна, 2011. С. 83-94.

3. Воронов Е.М. Многокритериальный синтез позиционного управления на основе многопрограммной стабилизации. Ч. 1 // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. № 2. С. 3-19.

4. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 176 с.

5. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. Харьков: Основа, 1997. 112 с.

6. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учеб. пособие. Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 88 с.

7. Труханов К.А. Гидропривод вентилятора для системы охлаждения автомобильного двигателя // Известия МГТУ «МАМИ». 2011. № 2 (12). С. 78-84.

8. Труханов К.А. Математическое моделирование гидропривода вентилятора для системы охлаждения автомобильного двигателя // Известия МГТУ «МАМИ». 2012. № 1 (13). С. 84-95.

9. Кригер А.М., Дискин М.Е., Новенников А.Л., Пикус В.И. Жидкостное охлаждение автомобильных двигателей. М.: Машиностроение, 1985. 176 с.

10. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов // Вестник машиностроения. 1986. № 9. С. 20-23.

11. Ежов А.А., Шумский С.А. Нейрокомпьютинг и его применения в экономике и бизнесе. Режим доступа: <http://www.intuit.ru/department/expert/neurocomputing/7/3.html> (дата обращения 21.12.2012).

12. Смирнов Н.И., Сабанин В.Р., Репин А.И. Модифицированный генетический алгоритм для задач оптимизации в управлении. Режим доступа: <http://www.neuroproject.ru/Papers/exponenta.doc> (дата обращения 08.10.2012).

13. Constrained Minimization Using the Genetic Algorithm // MathWorks : website. Режим доступа: <http://www.mathworks.com/help/gads/examples/constrained-minimization-using-the-genetic-algorithm.html> (дата обращения 22.11.2012).

14. Открытие инструментария генетического алгоритма // MATLAB.Exponenta : сайт. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/genalg/08_03_01.php (дата обращения 04.03.2013).

Selection of the optimum parameters for the hydraulic drive of a fan of the vehicle's engine cooling system

07, July 2013

DOI: [10.7463/0713.0590873](https://doi.org/10.7463/0713.0590873)

Truhanov K.A., Popov D.N.

Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, Russian Federation

trukhanov@mail.rupopov@bmstu.ru

The authors consider a problem of choosing optimal parameters for a hydraulic drive with a discrete control output link by the example of a hydraulic fan of a heavy-duty vehicle's engine cooling system. The objective function was selected in accordance with the efficiency criterion of the hydrostatic power drive. Limits of variable parameters' values were set to reflect the work of the hydraulic drive in the specified system. Results of the application of genetic and modified genetic algorithms for determining parameters of the hydraulic drive were described in this article. The obtained results were compared with the results based on the LP τ - search of hydraulic parameters, optimal by two criteria. Academic novelty of this article consists in consideration of different approaches to the problem of interactive design of technical systems with discrete controls which is composed of commercially available standard hydraulic units.

Publications with keywords: [optimization](#), [engine](#), [hydraulic drive](#), [the fan](#), [optimal parameters](#), [vehicle](#), [digital control](#), [objective function](#)

Publications with words: [optimization](#), [engine](#), [hydraulic drive](#), [the fan](#), [optimal parameters](#), [vehicle](#), [digital control](#), [objective function](#)

References

1. Borovin G.K., Popov D.N. *Mnogokriterial'naya optimizatsiya gidrosistem* [Multicriterion optimization of hydraulic systems]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2007. 94 p.
2. Karpenko A.P., Semenikhin A.S. *Approksimatsii mnozhestva Pareto metodami roya chastits i murav'inoy kolonii* [Approximation of the Pareto set by methods of particle swarm and ant colony]. *6-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Integrirovannye modeli i myagkie vychisleniya v iskusstvennom intellekte"* : tez. dokl. [The 6th International Scientific and Practical Conference "Integrated models and soft computing in artificial intelligence" : abstracts]. Kolomna, 16-19 May, 2011, pp. 83-94.

3. Voronov E.M. Mnogokriterial'nyy sintez pozitsionnogo upravleniya na osnove mnogoprogrammnoy stabilizatsii. Ch. 1 [Multiple-criteria synthesis of positional control based on multiprogram stabilization. Part 1]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Priborostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Instrument Engineering], 2012, no. 2, pp. 3-19.
4. Sobol' I.M., Statnikov R.B. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [Selection of the optimal parameters in multi-criterial problems]. Moscow, Drofa, 2006. 176 p.
5. Voronovskiy G.K., Makhotilo K.V., Petrashev S.N., Sergeev S.A. *Geneticheskie algoritmy, iskusstvennye neyronnye seti i problemy virtual'noy real'nosti* [Genetic algorithms, artificial neural networks and the problem of virtual reality]. Khar'kov, Osnova, 1997. 112 p.
6. Panchenko T.V. *Geneticheskie algoritmy* [Genetic algorithms]. Astrakhan', Publishing House "Astrakhanskiy universitet", 2007. 88 p.
7. Trukhanov K.A. Gidroprivod ventilyatora dlya sistemy okhlazhdeniya avtomobil'nogo dvigatelya [Hydraulic drive fan for cooling an automobile engine]. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2011, no. 2 (12), pp. 78-84.
8. Trukhanov K.A. Matematicheskoe modelirovanie gidroprivoda ventilyatora dlya sistemy okhlazhdeniya avtomobil'nogo dvigatelya [Mathematical modeling of hydraulic drive of a fan for automotive engine cooling system]. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2012, no.1 (13), pp. 84-95.
9. Kriger A.M., Diskin M.E., Novennikov A.L., Pikus V.I. *Zhidkostnoe okhlazhdenie avtomobil'nykh dvigateley* [Liquid cooling automobile engines]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 176 p.
10. Popov D.N. Otsenka effektivnosti i optimal'noe proektirovanie gidroprivodov [Evaluation of the effectiveness and optimal design of hydraulic drives]. *Vestnik mashinostroeniya*, 1986, no. 9, pp. 20-23.
11. Ezhov A.A., Shumskiy S.A. *Neyrokomp'yuting i ego primeneniya v ekonomike i biznese* [Neurocomputing and its Applications in Economics and Business]. Available at: <http://www.intuit.ru/department/expert/neurocomputing/7/3.html> , accessed 21.12.2012.
12. Smirnov N.I., Sabanin V.R., Repin A.I. *Modifitsirovannyi geneticheskiy algoritm dlya zadach optimizatsii v upravlenii* [Modified genetic algorithm for optimization problems in management]. Available at: <http://www.neuroproject.ru/Papers/exponenta.doc> , accessed 08.10.2012.
13. *Constrained Minimization Using the Genetic Algorithm*. MathWorks : website. Available at: <http://www.mathworks.com/help/gads/examples/constrained-minimization-using-the-genetic-algorithm.html> , accessed 22.11.2012.
14. *Otkrytie instrumentariya geneticheskogo algoritma* [Opening instrumentation of genetic algorithm]. MATLAB.Exponenta : website. Available at: http://matlab.exponenta.ru/genalg/08_03_01.php , accessed 04.03.2013.