
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.8

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ САМОЛЕТОВ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

С. И. Золотухин*, Т. В. Азарнова**, Д. Е. Барабаш*

*ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж)

**Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 20.06.2018 г.

Аннотация. В статье исследуется применение инструментов математического моделирования для определения параметров эффективных наземных мобильных систем гидравлического обеспечения самолетов пятого поколения, способных создавать необходимую величину давления в гидроприводах элементов управления планером. На основании анализа факторов, обеспечивающих величину давления гидравлической жидкости, разработана имитационная модель наземных мобильных систем гидравлического обеспечения и на ее базе сформирована математическая модель, отражающая взаимосвязь требуемого давления с возможностями наземной мобильной системы гидравлического обеспечения. Математическая модель записывается в виде нелинейной задачи условной оптимизации, решение которой позволяет найти оптимальные параметры установки: частоту вращения приводного двигателя и рабочий объем аксиально-поршневого насоса.

Ключевые слова: гидравлическая установка для самолетов пятого поколения, параметрическая оптимизация, задача условной оптимизации со смешанными ограничениями.

Annotation. The article explores the use of mathematical modeling tools to determine the parameters of effective ground-based mobile hydraulic systems for fifth-generation airplanes capable of creating the necessary pressure in the hydraulic actuators of glider controls. Based on the analysis of factors that ensure the magnitude of the hydraulic fluid pressure, an imitation model of ground mobile hydraulic systems has been developed and a mathematical model has been formed on its basis reflecting the relationship of the required pressure with the capabilities of the ground mobile hydraulic system. The mathematical model is written in the form of a nonlinear conditional optimization problem, the solution of which allows us to find the optimal installation parameters: the rotational speed of the drive motor and the displacement of an axial-piston pump.

Keywords: hydraulic system for the fifth generation aircrafts the conditional optimization task with mixed constraints.

ВВЕДЕНИЕ

Возросшие требования к маневренности авиации Воздушно-космических сил, обусловили повышение нагрузки на элементы управления летательных аппаратов (ЛА), что привело к возникновению несоответствия между летно-техническими характеристиками современных самолетов пятого поколения

и возможностями существующих наземных мобильных систем гидравлического обеспечения (гидравлических установок) [1, 2].

Анализ результатов предшествующих работ

В период, начинающийся с 1960 года и продолжающийся до настоящего времени, наблюдается неуклонный рост номинальной мощности бортовых гидросистем самолетов, стоящих на вооружении Воздушно-космических сил Российской Федерации [1, 2] (рис. 1).

© Золотухин С. И., Азарнова Т. В., Барабаш Д. Е., 2018

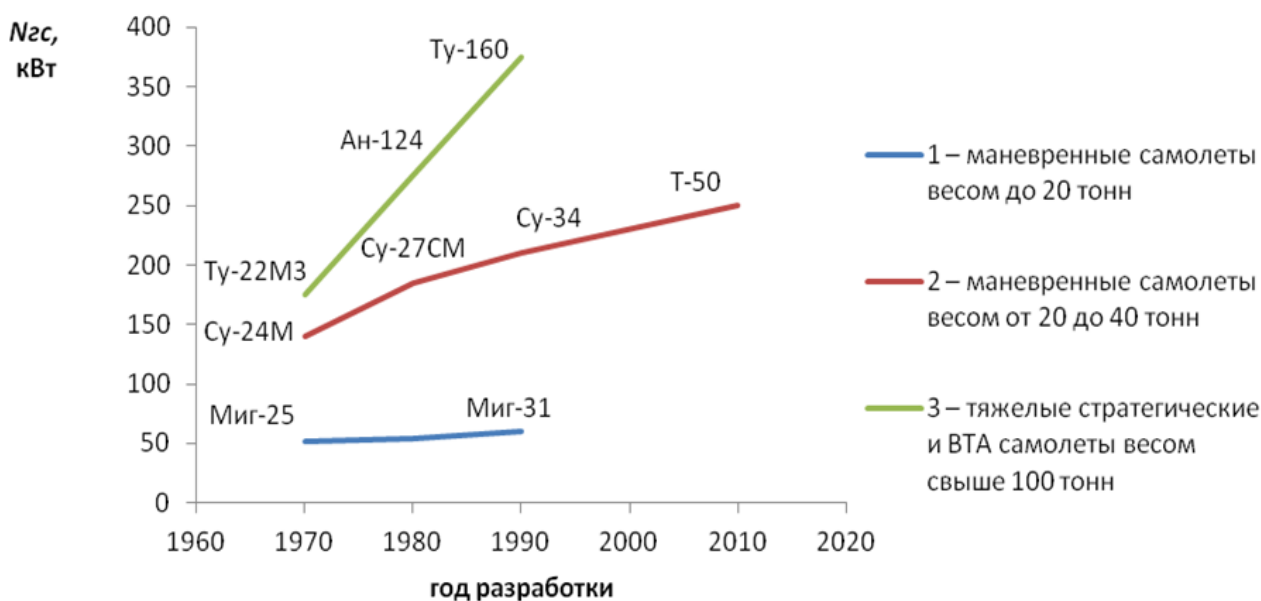


Рис. 1. Значения номинальной мощности бортовых гидросистем самолетов

Согласно требованиям руководства по эксплуатации (РЭ) бортовые гидравлические системы самолета необходимо проверять (отрабатывать) при проведении технического обслуживания (ТО) и регламентных работ (РР). Процессы проверки качества функционирования бортовых гидравлических систем самолета осуществляются за счет штатной наземной гидравлической установки (наземной мобильной системы гидравлического обеспечения), при этом мощность гидравлической установки, как минимум, должна превышать или соответствовать мощности бортовой гидравлической системы самолета. Бурное развитие истребительной и бомбардировочной авиации не привело к столь же значимому технологическому скачку в области наземных гидравлических установок. Указанное обстоятельство в конечном итоге вылилось в противоречие между возможностями штатных гидравлических установок и потребностями бортовых гидравлических систем самолетов. Разрешение указанного противоречия состоит в обосновании технических требований к новой наземной мобильной системе гидравлического обеспечения современных и перспективных самолетов пятого поколения. Увеличение давления в системах управления перспективных ЛА неразрывно связано с расширением их возможностей, в том числе и возможностей ударных беспилотных ЛА [3].

В рамках структурно-параметрического обоснования технических требований к новой наземной мобильной системе гидравлического обеспечения перспективных самолетов пятого поколения в работе были выделены и систематизированы факторы, непосредственно влияющие на значение её номинальной мощности и соответственно на величину давления гидравлической жидкости, создаваемого указанными системами [4, 5, 6, 7].

С учетом значимости каждого фактора в среде MATLAB+Simulink R13 была разработана имитационная модель наземной мобильной системы гидравлического обеспечения самолетов пятого поколения [7, 8, 9]. Структура имитационной модели указанной системы без внутренней детализации представлен на рис. 2.

Разработанная имитационная модель наземной мобильной системы гидравлического обеспечения состоит из трех основных блоков: силовой установки, основных функциональных агрегатов, системы управления. В блок модели силовой установки входят следующие элементы: газотурбинный силовой агрегат, стартер, муфта, раздаточная коробка. Блок основных функциональных агрегатов представлен аксиально-поршневым насосом, системой регулирования расхода и давления. Блок системы управления осуществляет контроль параметров, вывод их на функциональ-

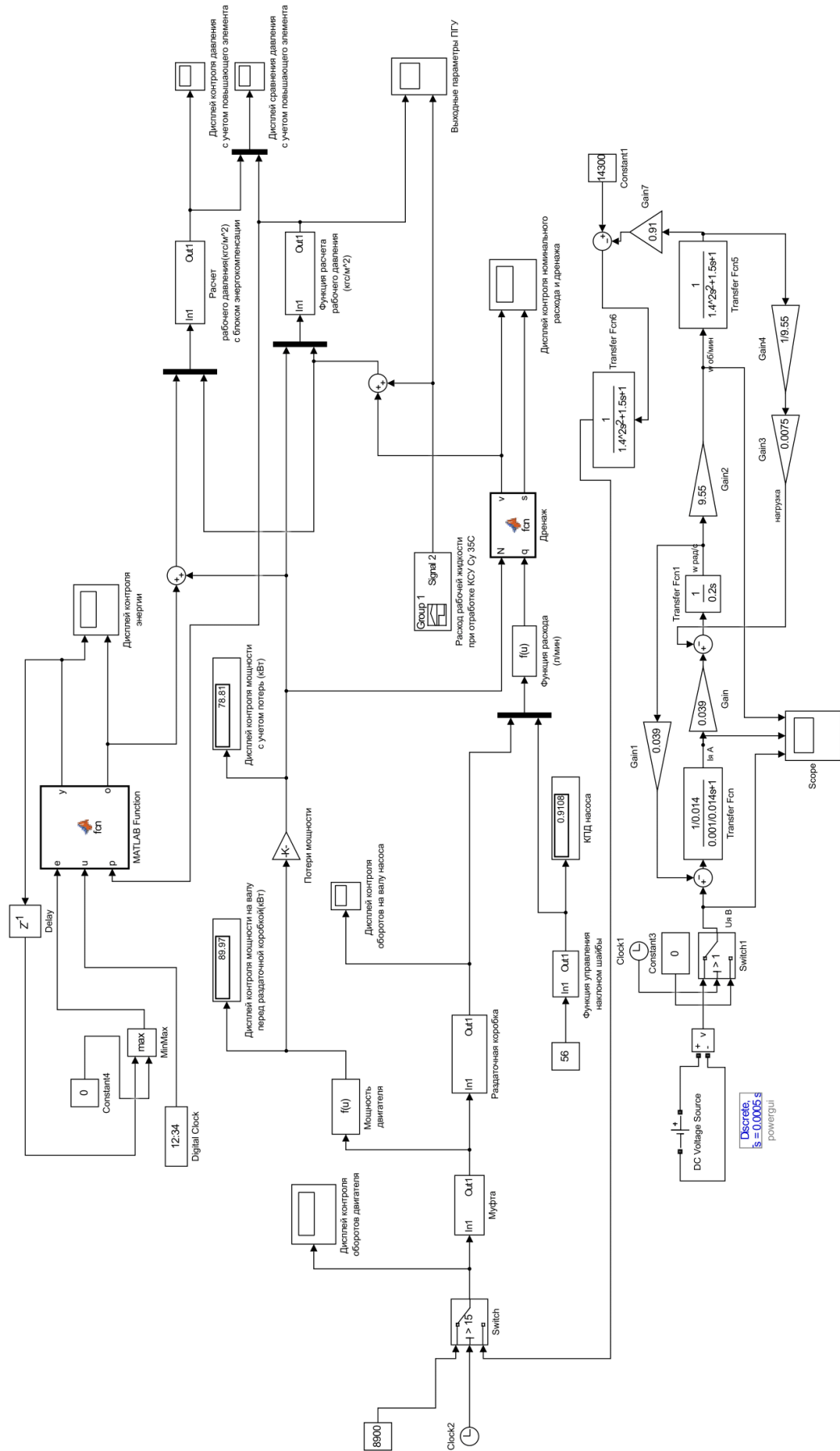


Рис. 2. Структура имитационной модели наземной мобильной системы гидравлического обеспечения самолетов пятого поколения

ные дисплеи и корректировку работы в случае каких-либо отклонений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с полученной имитационной моделью была построена математическая модель, отражающая взаимосвязь требуемого давления с возможностями наземной мобильной системы гидравлического обеспечения самолетов пятого поколения. Переменными математической модели (управляемыми параметрами) являются: частота вращения приводного двигателя – x_1 и рабочий объем аксиально-поршневого насоса – x_2 . Целевая функция, подлежащая минимизации, отражает мощность приводного двигателя $f(x_1, x_2)$:

$$f(x_1, x_2) = \frac{Px_{2\max}}{k_2\eta_m\eta_n} \times \frac{\left(\frac{x_1}{k_1} - n_{2\max} \left(1 - (k_3 \ln(x_2) + k_4)\right)\right)}{\left(\frac{x_1}{n_{1\max}} + \left(\frac{x_1}{n_{1\max}}\right)^2 - \left(\frac{x_1}{n_{1\max}}\right)^3\right)} \quad (1)$$

где x_1 – частота вращения приводного двигателя, x_2 – рабочий объем аксиально-поршневого насоса, P – требуемое давление, $x_{2\max}$ – максимальный рабочий объем аксиально-поршневого насоса, k_1 – коэффициент передаточного отношения, $n_{2\max}$ – максимальная частота вращения вала аксиально-поршневого насоса, k_2 – переводной коэффициент для мощности, η_m – коэффициент полезного действия муфты, η_n – коэффициент полезного действия насоса, $n_{1\max}$ – максимальная частота вращения приводного двигателя, k_3, k_4 – константы определяющие параметры аксиально-поршневого насоса.

На константы и параметры, входящие в состав целевой функции, накладываются специальные ограничения, обусловленные техническими или технологическими требованиями. В соответствии с требованиями к самолетам пятого поколения, были определены следующие значения данных параметров:

$P = 350$ МПа, $n_{1\max} = 8000$ об/мин, $n_{2\max} = 3100$ об/мин, $k_1 = 3,58116$, $k_3 = 0,04548$, $k_4 = 0,7277$, $k_2 = 612$, $\eta_m = 0,88$, $\eta_n = 0,85$, $x_{2\max} = 90$, $x_{1\max} = 8000$. Переменные модели также должны удовлетворять определенным техническим ограничениям. С учетом всех необходимых требований к параметрам и переменным модели в работе была построена следующая оптимизационная модель с ограничениями равенствами и неравенствами:

$$f(x_1, x_2) = \frac{3,15}{46} \times \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3100 \cdot (1 - (0,05 \ln(x_2) + 0,73))\right)}{\left(\frac{x_1}{8000} + \left(\frac{x_1}{8000}\right)^2 - \left(\frac{x_1}{8000}\right)^3\right)} \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 (1 - (0,05 \cdot \ln(x_2) + 0,73)) = \frac{10^4}{9} \quad (3)$$

$$x_1 - 1500 \geq 0, \quad x_2 - 45 \geq 0.$$

Допустимое множество $(x_1, x_2) \in \Omega \subseteq R^2$ полученной модели описывается ограничениями (3). Краткая запись задачи имеет вид:

$$f(x_1^*, x_2^*) = \min_{(x_1, x_2) \in \Omega} f(x_1, x_2).$$

Для решения задачи составим обобщенную функцию Лагранжа [10]:

$$L(x_1, x_2, \lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \lambda_0 \cdot \frac{3,15}{46} \times \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 (1 - (0,05 \cdot \ln(x_2) + 0,73))\right)}{\left(\frac{x_1}{8000} + \left(\frac{x_1}{8000}\right)^2 - \left(\frac{x_1}{8000}\right)^3\right)} + \lambda_1 \left(\frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 (1 - (0,05 \cdot \ln(x_2) + 0,73))\right)}{\frac{100}{9}} - 100 \right) + \lambda_2 \cdot (x_1 - 1500) + \lambda_3 \cdot (x_2 - 45). \quad (4)$$

и, в терминах данной функции, сформулируем необходимые условия экстремума первого порядка:

а) условия стационарности:

$$\frac{\partial}{\partial x_1} L(x_1, x_2, \lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = \lambda_2 + 0,03 \cdot \lambda_1 +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{8,8 \cdot 10^3 \lambda_0}{3,2 \cdot 10^3 - \frac{229x_1^2}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229x_1}{4}} - \\
 & \frac{3,15 \cdot 10^4 \lambda_0 \left(\frac{229x_1}{1,6 \cdot 10^4} - \frac{687x_1^2}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229}{4} \right) \times}{\left(\frac{229x_1^2}{3,2 \cdot 10^3} - \frac{229x_1^3}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229x_1}{4} \right)^2} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\times (0,28 \cdot x_1 + 141 \cdot \ln(x_2) - 844) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial x_2} L(x_1, x_2, \lambda_0) = \lambda_3 + \frac{12,7 \lambda_1}{x_2} +$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{4,44 \cdot 10^6 \cdot \lambda_0}{x_2 \cdot \left(\frac{229x_1^2}{3,2 \cdot 10^3} - \frac{229x_1^3}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229x_1}{4} \right)} = 0; \quad (6)
 \end{aligned}$$

б) условия допустимости:

$$\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 (1 - (0,05 \ln(x_2) + 0,73)) = \frac{10^4}{9}, \quad (7)$$

$$x_1 - 1500 \geq 0, \quad (8)$$

$$x_2 - 45 \geq 0; \quad (9)$$

в) условия неотрицательности для условного минимума:

$$\lambda_2 \geq 0, \quad (10)$$

$$\lambda_3 \geq 0; \quad (11)$$

г) условия дополняющей нежесткости:

$$\lambda_2 \cdot (x_1 - 1500) = 0, \quad (12)$$

$$\lambda_3 \cdot (x_2 - 45) = 0. \quad (13)$$

Для исключения громоздкости, а также более наглядного восприятия проводимых расчетов в некоторых случаях будем вместо следующих выражений использовать буквенные обозначения K и R соответственно:

$$K = (1 - (0,05 \cdot \ln(x_2) + 0,73));$$

$$R = \frac{229 \cdot x_1^2}{3,2 \cdot 10^3} - \frac{229 \cdot x_1^3}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229 \cdot x_1}{4};$$

$$G = \frac{229 \cdot x_1}{1,6 \cdot 10^4} - \frac{687 \cdot x_1^2}{0,26 \cdot 10^9} + \frac{229}{4}.$$

В начале рассмотрим случай для $\lambda_0 = 0$. Для данного случая условия (5), (6) примут вид:

$$\lambda_2 + 0,025 \cdot \lambda_1 = 0, \quad (14)$$

$$\lambda_3 + \frac{12,689 \cdot \lambda_1}{x_2} = 0. \quad (15)$$

Условия (12), (13) дополняющей нежесткости порождают четыре ветви решения системы:

1) $\lambda_2 = 0, \lambda_3 = 0$, тогда $\lambda_1 = 0$ – необходимые условия минимума первого порядка не выполняются;

2) $\lambda_2 \neq 0, \lambda_3 = 0$, тогда $\lambda_1 = 0$ и $\lambda_2 = 0$, что приводит к противоречию с условием 3) $\lambda_2 \neq 0$;

4) $\lambda_2 = 0, \lambda_3 \neq 0$, тогда $\lambda_1 = 0$ и $\lambda_3 = 0$, что противоречит условию $\lambda_3 \neq 0$;

5) $\lambda_2 \neq 0, \lambda_3 \neq 0$, тогда система уравнений примет вид:

$$\begin{cases}
 \lambda_2 + 0,03 \cdot \lambda_1 = 0, \\
 \lambda_3 + \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} = 0, \\
 x_2 - 45 = 0, \\
 x_1 - 1500 = 0, \\
 9 \cdot \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 \cdot K \right)}{100} = 100.
 \end{cases} \quad (16)$$

Вариант $x_1 = 1500, x_2 = 45$ не удовлетворяет последнему ограничению системы (16).

Перейдем к рассмотрению второго случая $\lambda_0 \neq 0$. При соответствующих преобразованиях условие (5, 6) примет вид:

$$\begin{aligned}
 & \lambda_2 + 0,03 \cdot \lambda_1 + \frac{8,8 \cdot 10^3}{R} - \\
 & \frac{3,15 \cdot 10^3 \cdot G \times}{R^2} \quad (17)
 \end{aligned}$$

$$\times (0,28 \cdot x_1 + 141 \cdot \ln(x_2) - 844) = 0,$$

$$\lambda_3 + \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} + \frac{4,44 \cdot 10^6}{x_2 \cdot R} = 0. \quad (18)$$

Аналогично первому случаю, рассмотрим четыре варианта выполнения условий (12), (13) дополняющей нежесткости:

1) Для случая $\lambda_2 = 0, \lambda_3 = 0$ система уравнений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,03 \cdot \lambda_1 + \frac{8,8 \cdot 10^3}{R} - \\ - \frac{3,15 \cdot 10^4 \cdot G \times}{R^2} \\ \times (0,28x_1 + 141 \ln(x_2) - 844) = 0, \\ \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} + \frac{4,44 \cdot 10^6}{x_2 \cdot R} = 0, \\ 9 \cdot \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 \cdot K \right)}{100} = 100. \end{array} \right. \quad (19)$$

Из полученной системы:

$$\lambda_1 = \frac{-8,96 \cdot 10^{13}}{1,83 \cdot 10^6 x_1^2 - 229 x_1^3 + 1,47 \cdot 10^{10} x_1}, \quad (20)$$

$$x_1 = 7 \cdot 10^3 - 505 \cdot \ln(x_2). \quad (21)$$

Дальнейшие преобразования приводят к значению $x_2 = 1$, что не удовлетворяющим условию (9).

2) Для случая $\lambda_2 \neq 0, \lambda_3 = 0$, система уравнений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_2 + 0,03 \cdot \lambda_1 + \frac{8,8 \cdot 10^3}{R} - \\ - \frac{3,15 \cdot 10^4 \cdot G \times}{R^2} \\ \times \frac{(0,28x_1 + 141 \ln(x_2) - 844)}{1} = 0, \\ \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} + \frac{4,44 \cdot 10^6}{x_2 \cdot R} = 0, \\ 9 \cdot \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 \cdot K \right)}{100} = 100, \\ x_1 - 1500 = 0. \end{array} \right. \quad (22)$$

В результате решения данной системы получим $x_1 = 1500$; $x_2 = e^{13,9 - 0,002 \cdot x_1}$ не удовлетворяет всем ограничениям.

3) Рассмотрим случай $\lambda_2 = 0, \lambda_3 \neq 0$. Тогда система уравнений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,03 \cdot \lambda_1 + \frac{8,8 \cdot 10^3}{R} - \\ - \frac{3,15 \cdot 10^4 \cdot G \times}{R^2} \\ \times (0,28x_1 + 141 \ln(x_2) - 844) = 0, \\ \lambda_3 + \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} + \frac{4,44 \cdot 10^6}{x_2 \cdot R} = 0, \\ 9 \cdot \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 \cdot K \right)}{100} = 100, \\ x_2 - 45 = 0. \end{array} \right. \quad (23)$$

Системе соответствует решение: $x_2 = 45$; $x_1 = 5,08 \cdot 10^3$; $\lambda_3 = 0,318$; $\lambda_3 = 0,365$.

Таким образом, найдена первая условно стационарная точка А: $x_1^* = 5,08 \cdot 10^3, x_2^* = 45, \lambda_1^* = 0,318, \lambda_2^* = 0, \lambda_3^* = 0,365$.

4) Для случая $\lambda_2 \neq 0, \lambda_3 \neq 0$ система уравнений примет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_2 + 0,03 \cdot \lambda_1 + \frac{8,8 \cdot 10^3}{R} - \\ - \frac{3,15 \cdot 10^4 \cdot G \times}{R^2} \\ \times (0,28x_1 + 141 \ln(x_2) - 844) = 0, \\ \lambda_3 + \frac{12,7 \cdot \lambda_1}{x_2} + \frac{4,44 \cdot 10^6}{x_2 \cdot R} = 0, \\ 9 \cdot \frac{\left(\frac{x_1}{3,58} - 3,1 \cdot 10^3 \cdot K \right)}{100} = 100, \\ x_1 - 1500 = 0, \\ x_2 - 45 = 0. \end{array} \right. \quad (24)$$

Данная система не имеет решения.

Таким образом, найдена единственная условно стационарная точка А: $x_1^* = 5,08 \cdot 10^3, x_2^* = 45, \lambda_1^* = 0,318, \lambda_2^* = 0, \lambda_3^* = 0,365$. Для данной точки проверим достаточные условия экстремума второго порядка, при этом подставив значения $x_1^*, x_2^*, \lambda_0^*, \lambda_1^*, \lambda_2^*, \lambda_3^*$:

$$H = \begin{vmatrix} 8,22 \cdot 10^{-7} & -4,67 \cdot 10^{-5} \\ -4,67 \cdot 10^{-5} & -8,12 \cdot 10^{-3} \end{vmatrix} = -8,85 \cdot 10^{-9}.$$

Таким образом, полученная точка удовлетворяет достаточному условию второго по-

рядка и является точкой локального минимума. Данной оптимальной точке соответствует значение мощности приводного двигателя в 97,7 кВт, и значения параметров перспективной гидравлической установки: частота вращения приводного двигателя – 5080 об/мин; рабочий объем аксиально-поршневого насоса – 45 см³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в рамках исследования математическая модель позволяет находить оптимальные параметры наземной мобильной системы гидравлического обеспечения. Исследование проводилось для набора установленных значений, соответствующих существующим (штатным) гидравлическим установкам. Однако, предложенная математическая модель позволяет использовать не только указанный набор констант, но и ряд других, вводимых в модель с учетом перспектив развития систем гидравлического обеспечения БАК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулик, А. С. Оценка потенциальных возможностей противоперегрузочных средств по повышению переносимости перегрузок маневрирования / А. С. Кулик, П. С. Кропоткин // Проблемы безопасности полетов. – 2011. – № 7. – С. 31–33.
2. Ильинов, Е. В. Истребительная авиация России / Е. В. Ильинов, В. И. Горбунов // Военная мысль. – 2013. – № 9. – С. 66–72.
3. Золотухин, С. И. Прогноз увеличения рабочего давления в гидравлической системе высокоманевренных летательных аппаратах / С. И. Золотухин, М. Ю. Синёв, В. С. Логойда // Приоритетные направления и актуальные проблемы развития средств наземного обслуживания общего применения: сб. тр. науч.-практич. конф. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. – С. 97–112.
4. Зиненков, Ю. В. Оптимизация параметров рабочего процесса ТРДД высотного беспилотного летательного аппарата / Ю. В. Зиненков, А. В. Луковников // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2015. – Т. 19, № 1(67). – С. 13–21.
5. Золотухин, С. И. Модификация метода анализа иерархий Т. Саати для расчета весов альтернатив при синтезе оптимальной структуры энергетической системы гидравлической установки / С. И. Золотухин, М. Ю. Синёв, А. О. Шмойлов // Журнал «Фундаментальные исследования». – 2016. – Ч. 2, № 12. – С. 284–290.
6. Корогодова, И. В. Усовершенствование процесса технического обслуживания гидросистемы транспортного самолета / И. В. Корогодова, И. Н. Бойко // Потенциал современной науки. – 2016. – № 7 (24). – С. 8–11.
7. Никитин, О. Ф. Гидравлика и гидропривод / О. Ф. Никитин. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010 – 414 с.
8. Мусаева, А. А. Применение инновационных технологий при создании многоцелевых самолётов пятого поколения / А. А. Мусаева // Гагаринские чтения – 2018: сб. тез. докл. XLIV Междунар. молодёж. науч. конф. – М. : МАИ, 2018. – С. 198–199.
9. Методы проектирования перспективных энергосистем силового привода летательных аппаратов / А. М. Матвеевко [и др.]; под ред. А. М. Матвеевко. – М. : МАИ, 2010. – 312 с.
10. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах: уч. пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. – 3-е издание, стереотип. – М. : Высшая школа, 2008. – 544 с.

Золотухин С. И. – научный сотрудник НИЦ (образовательных и информационных технологий) Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина».

E-mail: sx1188@rambler.ru

Азарнова Т. В. – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой математических методов исследования операций факультета ПММ Воронежского государственного университета.

E-mail: ivdas92@mail.ru

Барабаш Д. Е. – д-р техн. наук, профессор, начальник 31 кафедры Изыскания и проектирования аэродромов Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина».

E-mail: barabash60170@yandex.ru

Zolotukhin S. I. – researcher. Research Center (educational and information technology), Military Educational and Scientific Centre of the Air Force «N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin Air Force Academy».

E-mail: sx1188@rambler.ru

Azarnova T. V. – head. Department of mathematical methods of operations research faculty PMM VSU, Assoc., Ph.d.

E-mail: ivdas92@mail.ru

Barabash D. E. - chief. Chair of research and designing of airfield, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy», Prof., Ph.d.

E-mail: barabash60170@yandex.ru