

УДК 621.01(833)

Х. С. САМИДОВ, А. Б. АХАДОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИВодОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН МЕТОДОМ "ОБОБЩЕННЫЕ БЕЗРАЗМЕРНЫЕ ПАРАМЕТРЫ"

Робота присвячена оптимізації параметрів динамічних машин, в тому числі металорізальних верстатів. Запропонована методика дозволяє за допомогою нескладних аналітичних виразів встановити зв'язок між конструктивними, експлуатаційними параметрами та динамічними характеристиками проєктованої машини, прогнозувати очікуваний рівень вібрації, створювати машини з заданими динамічними характеристиками та машини з найкращими конструктивними параметрами.

Ключові слова: технологічні машини, оптимізація, проєктування, динамічні процеси, вібрація, конструкція.

Работа посвящена оптимизации параметров динамических машин, в том числе металлорежущих станков. Предлагаемая методика позволяет при помощи несложных аналитических выражений установить связь между конструктивными, эксплуатационными параметрами и динамическими характеристиками проектируемой машины, прогнозировать ожидаемый уровень вибрации, создавать машины с заданными динамическими характеристиками и машины с наилучшими конструктивными параметрами.

Ключевые слова: технологические машины, оптимизация, проектирования, динамические процессы, вибрация, конструкция.

The work is dedicated to the optimization of dynamic machine parameters, including machine tools. Compiled and simplified dynamic models of electromechanical drives of technological cars, taking into account the elastic damping properties of structures, characteristics of cutting forces and electromagnetic phenomena engines. They allow for the study of oscillations, motion stability and optimization of structural parameters of the machine. The method of "generalized dimensionless parameters" developed and implemented a method to optimize design parameters drives technological machinery, including pipe-91A38 machine, screw-cutting lathe 1K625 and three-mass dynamic models of cars for different purposes. The proposed method allows using a simple analytical expressions to establish a connection between the structural, operational parameters and dynamic characteristics of the machine designed to predict the expected vibration level, to create machines with specified dynamic characteristics of the machine and with the best design parameters.

Keywords: technological machines, optimization, projection, dynamic processes, vibration, construction.

Актуальность проблемы. Современные машины характеризуются непрерывным ростом скоростей движения механизмов, мощностей приводов, нагрузок на детали, что выдвигает на первое место исследование их колебаний, оптимизации динамических процессов проектируемых машин. Для выполнения этих актуальных проблем необходимо разработки и реализации комплексных методов анализа, оптимизации динамических процессов машин.

Цель статьи. Показать новый подход к оптимизации конструктивных параметров, снижения динамических нагрузок и получения устойчивого движения приводов технологических машин.

Материалы исследований. Как известно динамическая модель приводов технологических машин, в частности металлорежущих станков, представляют собой довольно сложную систему.

При оптимизации динамических процессов машин, прежде всего, необходимо установить связь между конструктивными параметрами и динамическими характеристиками проектируемой машины.

В качестве примера оптимизируем конструктивных параметров главного привода токарно-винторезного станка марки 1K625 по методам "Обобщение безразмерные параметры" [1].

На рис 1, а показана одиннадцатая массовая динамическая модель главного привода данного станка. С целью упрощения расчетной части поставленной задачи одиннадцатимассовая динамическая модель станка приведена трёх массовой динамической модели (рис. 1, б). На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма "Упрощения многомассовых динамических моделей" [1].

Применение метода "Обобщенные безразмерные параметры" значительно упрощает оптимизацию переходных процессов в машинах.

Интервал изменения численных значений обобщенных безразмерных параметров ограничен диапазоном [1]

$$0 < C_i < \frac{n-1}{2n}; \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n-1), \quad (1)$$

где n – число степеней свободы динамической модели машин.

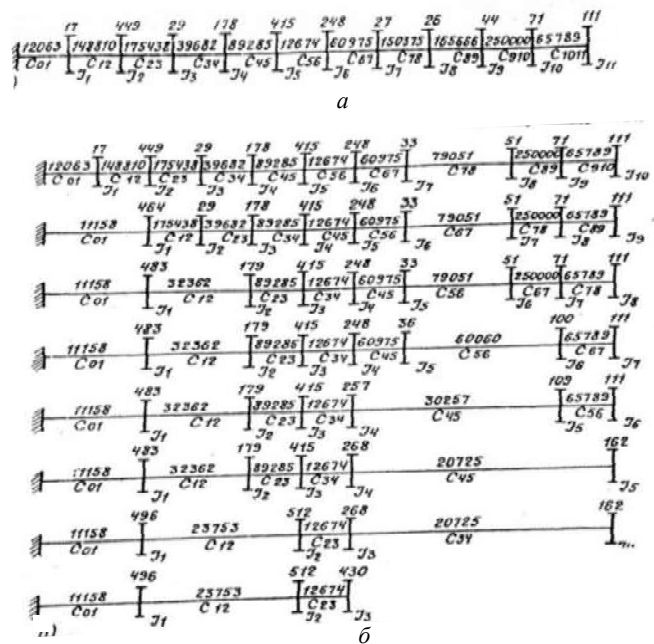


Рис. 1 – динамическая модель привода станка 1K625: а – до упрощения; б – после упрощения. $J_i - 10^{-3} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$, $C_{ij} - \text{Н}\cdot\text{м}/\text{рад}$, $\Pi_{\text{шп}} - 250 \text{ об}/\text{мин}$

Если, $n = 2$, то есть в случае дифференциального уравнения четвертого порядка, максимальное значение

$$C_{imax} = \frac{2-1}{2\cdot2} = 0,25; \quad \text{при } n = 3; \quad C_{imax} = \frac{3-1}{2\cdot3} = 0,33.$$

Решения различных задач оптимизации электромеханических систем с разными степенями свободы и в разных законах приложения внешних сил, дало возможность установить интервал допустимых значений

© Х. С. Самидов, А. Б. Ахадов, 2016

изменения обобщённых безразмерных параметров:

$$0,05 \leq 0,45. \quad (2)$$

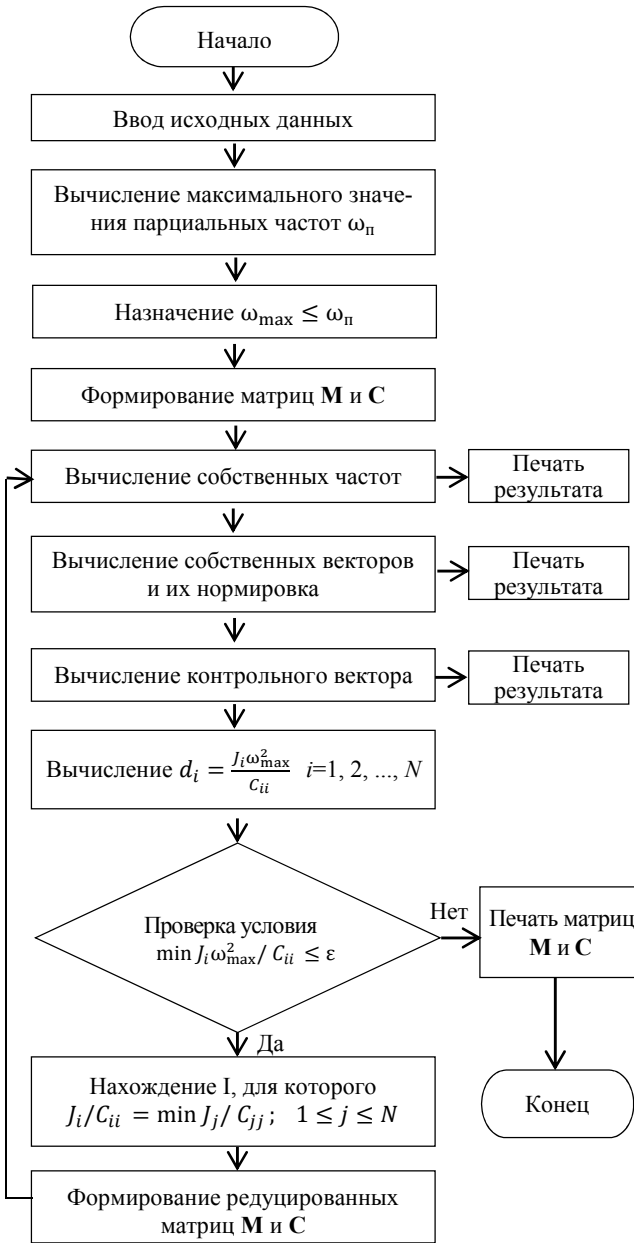


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма упрощения динамических моделей машин

Подробный анализ решения задач оптимизации переходных процессов динамических моделей электро-механических систем машин, с двумя, тремя и более степенями свобод показывает, что, значения обобщённых безразмерных параметров C_i определяются формулами:

$$C_1 = \frac{T J_1^2 J_2^2 b_{12}^2 b_{23}^2 - T J_1^2 C_{12} C_{23} + J_1 J_2^2 \beta_3 (b_{12}^2 + b_{23}^2) - J_2^2 C_{12} \beta_3}{T J_1^2 J_2^2 (b_{12}^2 + b_{23}^2 + \beta_3 / T J_1)^2}; \quad (3)$$

$$C_2 = \frac{J_1 J_2^2 b_{12}^2 b_{23}^2 - T J_1^2 C_{12} C_{23} \beta_3 + J_2^2 \beta_3 C_{12} b_{23}^2}{T J_1^2 J_2^2 (b_{12}^2 + b_{23}^2 + \beta_3 / T J_1)^3}, \quad (4)$$

где $b_{i,i+1}^2 = C_{i,i+1} (J_i + J_{i+1}) / J_i J_{i+1}$; $i = 1, 2, 3$ – цикловые частоты собственных колебаний парциальных систем; $T = 1 / \omega_3 s_k = 1 / s_k p \omega_3$ – электромагнитная постоянная время;

$\beta_3 = 1 / \gamma \omega_0 = T C_3$ – коэффициент крутизны статической характеристики двигателя;

C_3 – жёсткость связи электродвигателя.

Следует отметить, что независимо от численного и относительного значения масс J_i и жесткостей C_i в динамических моделях машин всегда будет развиваться идентичный переходный процесс. Одинаковыми будут и значения обобщённых параметров C_i . Так для трех массовой динамической модели с единичными значениями параметров C_i

$$C_{12} = C_{23} = 1; \quad J_1 = J_2 = J_3 = 1;$$

$$C_1 = \frac{C_{12} C_{23} (J_1 + J_2 + J_3)}{J_1 J_2 J_3 \left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} \right)^2} =$$

$$= \frac{1 \cdot 1 (1 + 1 + 1)}{1 \cdot 1 \cdot 1 \left(1 \cdot \frac{1+1}{1 \cdot 1} + 1 \cdot \frac{1+1}{1 \cdot 1} \right)^2} = 0,187, \quad (5)$$

со значениями параметров

$$C_{12} = C_{23} = 10^7 \text{ Н·м/рад}; \quad J_1 = J_2 = J_3 = 10^4 \text{ Н·м}. \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{10^7 \cdot 10^7 (1 + 1 + 1) \cdot 10^4}{10^4 \cdot 10^4 \cdot 10^4 \left(10^7 \frac{10^4 + 10^4}{10^4 \cdot 10^4} + 10^7 \frac{10^4 + 10^4}{10^4 \cdot 10^4} \right)^2} = 0,187$$

В таблице 1 даны значения обобщённых параметров C_i (1, 2, 3) для различных вариантов трехмассовых динамических моделей машин (рис. 3). В варианте IV возможны биения колебаний, так как в данном варианте значения обобщённого параметра $C_i = 0,250$ равно к предельному значению границы обобщённого параметра $C_i = 0,250$. Увеличением соотношения жесткостей C_i или уменьшением моментов инерций J_i , можно снизить динамических нагрузок и устойчивого движения приводов технологических машин.

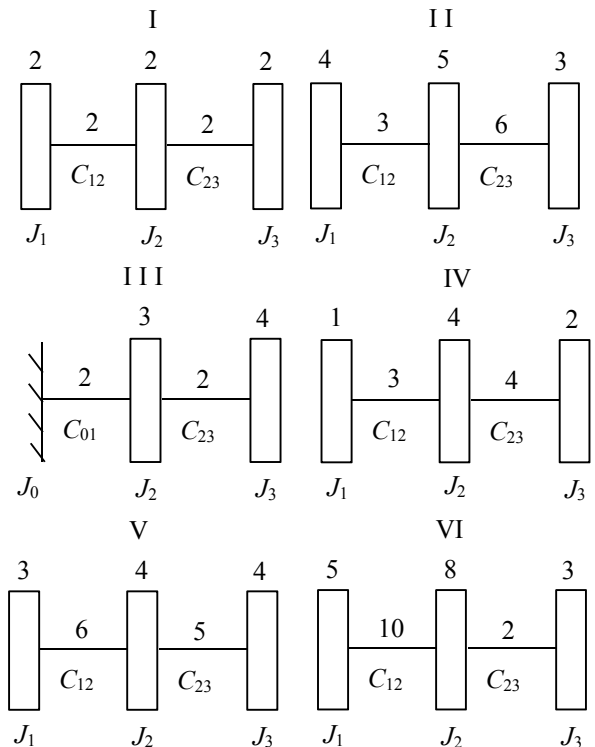


Рис. 3 – Трехмассовые динамические модели машин

Таблица 1 – Значения обобщенных безразмерных параметров для трехмассовых динамических моделей машин

Вариант	Безразмерные параметры					Обобщенные параметры C_i
	J_1	J_2	J_3	C_{12}	C_{23}	
I	2	2	2	2	2	0,125
II	4	5	3	3	6	0,174
III	0	3	4	2	2	0,167
IV	1	4	2	3	4	0,250
V	3	4	4	6	5	0,191
VI	5	8	3	10	2	0,154

Проверим оптимальность конструктивности параметров приводов конкретных технологических машин по методу "Обобщенные безразмерные параметры".

$$0,1 \leq C_1 \leq \frac{T J_1^2 J_2^2 \left[\frac{C_{12} C_{23} (J_2 + J_3) (J_1 + J_2)}{J_1 J_2^2 J_3} \right] - T J_1^2 C_{12} C_{23} + J_1 J_2^2 \beta_3 \left[\frac{C_{12} C_{23} (J_1 + J_2) + J_1 C_{23} (J_2 + J_3)}{J_1 J_2 J_3} \right] - C_{12} J_2^2 \beta_3}{T J_1^2 J_2^2 \left[\frac{J_3 C_{12} (J_1 + J_2) + J_1 C_{23} (J_2 + J_3)}{J_1 J_2 J_3} + \frac{\beta_3}{T J_1} \right]^2} \leq 0,27; \quad (8)$$

$$0,01 \leq C_2 \leq \frac{J_1 J_2^2 \beta_3 \left[\frac{C_{12} C_{23} (J_2 + J_3) (J_1 + J_2)}{J_1 J_2^2 J_3} \right] - C_{12} C_{23} J_1 \beta_3 - C_{12} J_2^2 \beta_3 \left[\frac{C_{23} (J_2 + J_3)}{J_2 J_3} \right]}{T J_1^2 J_2^2 \left[\frac{J_3 C_{12} (J_1 + J_2) + J_1 C_{23} (J_2 + J_3)}{J_1 J_2 J_3} + \frac{\beta_3}{T J_1} \right]^3} \leq 0,036. \quad (9)$$

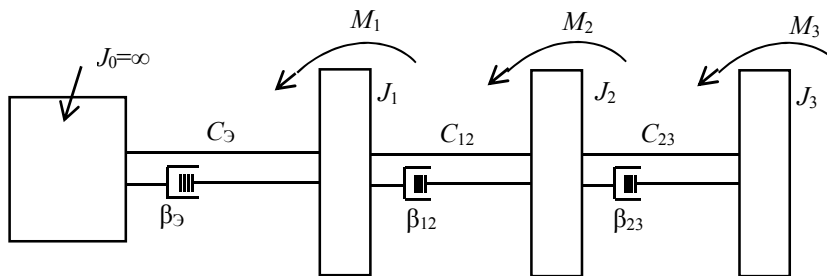


Рис. 4 – Динамическая модель электромеханического привода трубоотрезного станка 91А38

Максимальные значения безразмерных обобщенных параметров C_1, C_2 для электромеханических систем с тремя степенями свободы, согласно выражениям (8), (9) равно $C_{1max} = 0,27; C_{2max} = 0,035$.

Таким образом исходя из полученных результатов расчета можно отменить, что конструктивные параметры трубоотрезного станка 91А38 почти оптимальные.

Пример №2

Проверим оптимальность конструктивных параметров токарно-винторезного станка 1К625, динамиче-

Пример №1
Параметры электропривода станка 91А38.

Моменты инерции:

$$J_1 = 0,27 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; J_2 = 0,52 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; J_3 = 0,32 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2.$$

Жесткости:

$$C_3 = 24600 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; C_{12} = 2180 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; C_{23} = 830 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}. \quad (7)$$

При учете коэффициентов жесткостей C_3, C_{ij} и коэффициентов податливостей β_3, β_{ij} . Динамические модели технологических машин, приведенные к трех массовой систем типа на рис. 4 установлены следующие оптимальные интервалы изменения обобщенных безразмерных параметров [1]:

ская модель которого показана на рис. 5.

Параметры динамической модели станка 1К625:

$$\begin{aligned} J_1 &= 0,496 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; & J_2 &= 0,512 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; \\ J_3 &= 0,267 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; & J_4 &= 0,162 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2; \\ C_{12} &= 11158 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; & C_{23} &= 23753 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}; \\ & & C_{34} &= 12674 \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{рад}. \end{aligned} \quad (10)$$

Для обеспечения минимальной динамической нагрузки четырех массовых крутильных механических систем, их конструктивные параметры должны удовлетворять следующим ограничениям [1]:

$$0,1 \leq C_1 \leq \frac{C_{12} C_{23} + C_{23} C_{34} \frac{J_2 + J_3 + J_4}{J_2 J_3 J_4} + C_{12} C_{34} (J_1 J_2 + J_2 J_3 + J_3 J_4)}{\left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} + C_{34} \frac{J_3 + J_4}{J_3 J_4} \right)^2} \leq 0,375; \quad (11)$$

$$0,01 \leq C_2 \leq \frac{C_{12} C_{23} C_{34} (J_1 + J_2 + J_3 + J_4)}{J_1 J_2 J_3 J_4 \left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} + C_{34} \frac{J_3 + J_4}{J_3 J_4} \right)^3} \leq 0,0625. \quad (12)$$

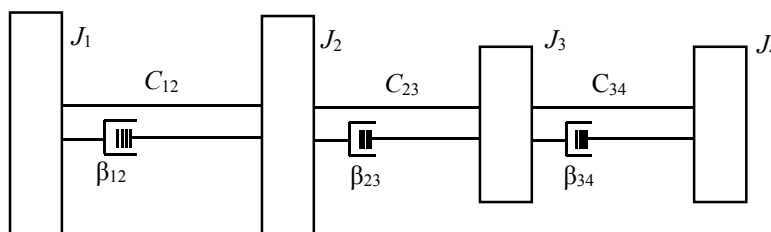


Рис. 5 – Динамическая модель станка 1К625

Подставляя значения параметров (10) в выражения (11) и (12), находим:

$$C_1 = 0,0383; \quad C_2 = 0,0704. \quad (13)$$

Доказано, что для обеспечения минимальной динамической нагрузки четырех массовых механических систем, их конструктивные параметры должны удовлетворять следующим ограничениям:

$$C_1 = 0,03 \div 0,375; \quad C_2 = 0,010 \div 0,0625; \quad C_3 = 0,008 \div 0,0039. \quad (14)$$

Из сравнения значений (13) обобщенных параметров и с оптимальной областью их изменения (11) и (12) видно, что конструктивные параметры главного привода токарного станка 1К625 является оптимальными.

Выводы:

1. Составлены и упрощены динамические модели электромеханических приводов технологических машин с учетом упругодемпфирующих свойств конструкций, характеристики сил резания и электромагнитных явлений двигателей, позволяющие проводить исследований колебаний, устойчивости движения и оптимизации конструктивных параметров машин.

2. Методом "Обобщенные безразмерные параметры" разработана и реализована методика оптимизации конструктивных параметров приводов технологических машин, в том числе трубоотрезного станка 91А38, токарно-винторезного станка 1К625 и трехмассовых динамических моделей машин различного назначения.

3. Практическая направленность работы открывает широкие возможности для внедрения её результатов проектными, конструкторскими и научно-исследовательскими организациями, занимающимися вопросами расчета, проектирования, исследования динами-

ческих процессов и оптимизации конструктивных параметров машин различного назначения.

Список литературы

1. Самидов Х. С., Самидов Э. Х. Динамика и оптимальное конструирование машин. – Баку: "Нурлан", 2003. – 622 с.
2. Самидов Х. С. оптимизация переходных процессов электромеханических систем машин и её физическая реализуемость // Вестник национального технического университета "ХПИ". – Харьков, 2010. – № 26. – С. 124–134.
3. Самидов Х. С., Гасымов А. Ф. Оптимизации динамических процессов электромеханических приводов машин по коэффициенту динамичности // Вестник национального технического университета "ХПИ". – Харьков, 2010. – № 35. – С. 120–124.
4. Мустафаев Х. Д. Современное состояние перспективы развития динамики и оптимизации конструктивных параметров машин // "Теоретическая и прикладная механика". – Баку, 2012. – №3–4. – С. 121–125с.

References (transliterated)

1. Samidov Kh. S., Samidov E. Kh. *Dinamika i optimal'noe konstruirovaniye mashin* [The dynamics and optimal design of machines]. – Baku: «Nurlan», 2003. – 622 p.
2. Samidov Kh. S. *Optimizaciya perekhodnikh processov elektromekhanicheskikh sistem mashin i ee fizicheskaya realizuemost'* [Optimization of transient electromechanical machine systems and its physical realizability] // *Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»* [Bulletin national technical university KhPI] – Kharkov, 2010. – No. 26. – P. 124–134.
3. Samidov Kh. S., Gasimov A. F. *Optimizacii dinamicheskikh processov elektromekhanicheskikh privodov mashin po koefficientu dinamichnosti* [Optimization of dynamic processes of electromechanical drives of machines by coefficient dynamics] // *Vestnik nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «KhPI»* [Bulletin national technical university KhPI]. – Kharkov, 2010. – No. 35. – P. 120–124.
4. Mustafaev Kh. D. *Sovremennoe sostoyaniye perspektivi razvitiya dinamiki i optimizacii konstruktivnikh parametrov mashin* [Current state and prospects of development of the dynamics of structural optimization of machine parameters] // *«Teoreticheskaya i prikladnaya mekhanika»* [«Theoretical and applied mechanics»]. – Baku, 2012. – No. 3-4. – P. 121–125.

Поступила (received) 29.03.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Оптимізація динамічних процесів приводів технологічних машин методом "Узагальнені безрозмірні параметри" / Х. С. Самідов, А. Б. Ахадов // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПИ", 2016. – № 23 (1195). – С. 142–145. – Бібліогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0791.

Оптимизация динамических процессов приводов технологических машин методом "Обобщённые безразмерные параметры" / Х. С. Самидов, А. Б. Ахадов // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ "ХПИ", 2016. – № 23 (1195). – С. 142–145. – Библиогр.: 4 назв. – ISSN 2079-0791.

Optimization of dynamic processes of technological machines drives by "Generalized dimensionless parameters" / Х. S. Samidov, A. B. Ahadov // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Problem of mechanical drive. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. – No. 23 (1195). – P. 142–145. – Bibliogr.: 4. – ISSN 2079-0791.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Самідов Халіл Самід оглу – доктор технічних наук, професор, Азербайджанський Інженерний Архітектурний Університет, м. Баку; тел.: +994 12 561-22-02; e-mail: xalilsamidov@mail.ru.

Самидов Халил Самид оглу – доктор технических наук, профессор, Азербайджанский Инженерный Архитектурный Университет, г. Баку; тел.: +994 12 561-22-02; e-mail: xalilsamidov@mail.ru.

Samidov Xalil Samid – Doctor of technical sciences, Full Professor, Azerbaijan Architecture and Engineering University, Baku; tel.: +994 12 561-22-02; e-mail: xalilsamidov@mail.ru.

Ахадов Анар Бейбала оглу – інженер, магістр, технік вимірювальних приладів "BP Caspian sea exploration", м. Баку; тел.: +994 55 606-06-17; e-mail: ehedov.anar@gmail.com.

Ахадов Анар Бейбала оглу – инженер, магистр, техник измерительных приборов "BP Caspian sea exploration", г. Баку; тел.: +994 55 606-06-17; e-mail: ehedov.anar@gmail.com.

Ahadov Anar Beybala – engineer, master, instrumentation technician at "BP Caspian Sea Exploration", Baku; tel.: +994 55 606-06-17; e-mail: ehedov.anar@gmail.com.