

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№1(31) 2025

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПРОИЗВОДСТВА

№1 (31) июнь 2025 г.

Международный научно-технический журнал

Учредитель: ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

О журнале

Журнал «Автоматизированные технологии и производства» основан в 2012 году на базе сборника «Автоматизация технологических и производственных процессов в металлургии», который издавался кафедрой промышленной кибернетики и систем управления (с 2013 кафедра автоматизированных систем управления - АСУ) с 2004 по 2012 год. В журнале публикуются научные статьи, посвященные автоматизированным системам в промышленности, управлению технологическими процессами и производствами, практическому применению современных методов управления. Освещаются вопросы, связанные с моделированием систем управления, разработкой промышленных тренажеров и стендов для проведения научных исследований и испытаний. Приоритетным направлением журнала является освещение результатов работ в области управления процессами черной металлургии, а также решения задач энерго- и ресурсосбережения с использованием оптимизирующих алгоритмов управления. Журнал предназначен для специалистов в области автоматизации технологических процессов, для работников производственных предприятий, эксплуатирующих системы автоматики, проектных институтов и вузов, специализирующихся в области информационных технологий.

Основные направления журнала: Автоматизированные системы управления; обработка данных, информационное и программное обеспечение автоматизированных систем управления; автоматизированные технологии в образовании; математическое моделирование технологических систем и объектов управления; автоматизация контроля и испытаний; математические модели процессов в металлургии.

Редакция и редакционный совет

Редакционный совет

Парсункин Борис Николаевич - доктор технических наук, профессор ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

Сарваров Анвар Сабулханович - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Карандаев Александр Сергеевич - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Логунова Оксана Сергеевна - доктор технических наук, профессор (МГТУ им. Г.И. Носова)

Спирин Николай Александрович - доктор технических наук, профессор (УрФУ)

Ишметьев Евгений Николаевич - доктор технических наук (ЗАО «КонсОМ СКС»)

Редакция

Главный редактор:

Андреев Сергей Михайлович – доктор технических наук, доцент

Ответственный редактор

Самарина Ирина Геннадьевна

Контакты

Главный редактор: Андреев Сергей Михайлович
Тел.: (3519) 29-85-27
Редакционная коллегия: Самарина Ирина Геннадьевна
Тел.: (3519) 29-85-58
E-mail: atp@magtu.ru

Адрес редакции: 455000, г. Магнитогорск,
пр. Ленина, 38.
E-mail: atp@magtu.ru
Выходит в свет 06.2025.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Системы автоматизации и управления

Т.Г. Суханосова, А.А. Нугаманов, С.А. Емельянов Система автоматического регулирования температуры выходного пара пароперегревательной установки.....	3
--	---

Математическое моделирование технологических систем и объектов управления

В.Д. Павлов Зависимость производительной мощности сортировальной машины от наклона решет.....	7
И. П. Попов Реактансы и сасцептансы мехатронных систем при параллельном соединении элементов.....	10
В.И. Безденежных Представление динамического статуса дисперсного материала в виде композиции его предельных статус.....	15
В.Д. Павлов Реактивная механическая мощность в мехатронных системах.....	18

Технические средства автоматизации

В.И. Безденежных Трехмассовый осциллятор для мехатронных систем.....	21
И.П. Попов О процессе стабилизации частоты механического аналога циклотронного движения.....	24

Автоматизация технологических процессов

А.Ю. Денисов, И.Г. Самарина Управление автоматической газонаполнительной компрессорной станцией	27
--	----

Краткие сообщения

Т.Г. Суханосова, А.А. Ракитина Итоги многопрофильной олимпиады школьников «Путь к успеху» секция «Автоматика» 2025.....	31
Т.Г. Суханосова, С.А. Емельянов Итоги универсиады «Путь к успеху» секции «Метрология и средства измерения» 2025 по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»	33

Control System

I.S. Shchegolikhin, S.M. Andreev System of Automatic Control of Steam Temperature of a Steam Superheating Unit.....	3
--	---

Mathematic and simulation of control systems and objects

V.D. Pavlov Dependence of the Productive Capacity of the Sorting Machine on the Inclination of the Siev.....	7
I.P. Popov Reactances and Susceptions of Mechatronic Systems With Parallel Connection of Elements.....	10
V.I. Bezdeneshnykh Representation of the Dynamic Status of Dispersed Material As a Composition of its Limit Statuses.....	15
V.D. Pavlov Reactive Mechanical Power in Mechatronic Systems.....	18

Automation equipment

V.I. Bezdeneshnykh Three-Mass Oscillator for Mechatronic Systems.....	21
I.P. Popov On The Process of Stabilizing the Frequency of a Mechanical Analogue of Cyclotron Motion.....	24

Process Automation

A.Yu. Denisov, I.G. Samarina Automated Control of a Compressed Natural Gas (Cng) Refueling Compressor Station.....	27
---	----

Summary statement

T.G. Sukhonosova, A.A. Rakitina Results of the Multidisciplinary Schoolchildren's Olympiad «Way to Success» Section «Automatics» 2025.....	31
T.G. Sukhonosova, S.A. Emelyanov Results of the Universiade «Way To Success» In Metrology and Measuring Means In the Direction «Control In Technical Systems» 2025.....	33

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Оформление

Научные статьи, направляемые для публикации в журнал, **должны содержать**: название статьи; - сведения об авторах (Фамилия, Инициалы; место работы, город, страна; электронный адрес), количество авторов - не более 5; аннотацию в объеме от 100 до 250 слов; перечень ключевых слов или фраз в объеме не более 7; список литературы, не менее 8 ссылок. В случае представления статьи на русском языке указанные выше пункты должны быть представлены также и в англоязычном варианте. Если в оригинале статья написана на английском языке, то дополнительно эти сведения рекомендуется привести на русском языке.

Статью следует набирать в шаблоне, представленном на информационной станции портала ФГБОУ ВО "МГТУ" www.mgtu.ru (раздел "Автоматизированные технологии и производства").

Рекомендуемая структура статьи: УДК. Аффiliation (фамилии авторов и место их работы). Название статьи. Аннотация. Ключевые слова. Введение. Методы исследования. ... Результаты. Заключение. Источник финансирования (при необходимости). Список литературы. Информация на английском (аффiliation, аннотация, ключевые слова, список литературы).

При оформлении статьи рекомендуется придерживаться следующих правил:

Объем рукописи статьи, оформленный в соответствии с приведенными требованиями, не должен превышать: обзорной статьи более 10 страниц; статьи более 6 страниц; краткого сообщения более 2 страниц.

Самоцитирование: не рекомендуется более 25% от общего числа ссылок.

Размерности величин выбираются и обозначаются согласно ГОСТ 8.417-2002.

В сопровождение рукописи статьи авторами должны быть направлены на официальный адрес электронной почты редакции журнала, следующие документы: **экспертное заключение** о возможности опубликования в открытой печати (цветной скан в формате PDF). Работы, выполненные авторами в инициативном порядке, представления экспертного заключения не требуют; **сведения об авторах** (Фамилия Имя и Отчество полностью, ученая степень и ученое звание, место работы, город, страна, электронный адрес) с указанием одного из авторов, который будет взаимодействовать с редакцией.

Пример оформления

Предоставление материалов

УДК 681.5.015.32

ДОСТОВЕРНОЕ И ОПЕРАТИВНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЯХ

Б.Н. Парсункин¹, Т.Г. Сухоносова²

^{1,2}ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, Россия

²tgobuhova@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрена математическая модель программной реализации достоверного и оперативного метода определения значений динамических параметров управляемого технологического процесса для определения динамических параметров настройки микропроцессорных контуров управления в условиях интенсивного негативного воздействия технологических и организационных возмущений, характерных для реального производства. Эффективное решение поставленной задачи обеспечивается использованием уникальных свойств ортогональных функций Уолша, позволяющих формирование таких планов тестирующих воздействий, которые полностью компенсируют негативное влияние возмущающих воздействий на интегральную оценку отклика (реакцию) управляемого параметра на тестирующее входное воздействие. Использование предлагаемого метода особенно целесообразно при решении многих практических задач, когда необходимо получать достоверные результаты в условиях действия различных возмущающих факторов влияющих на точность определяемого параметра.

Ключевые слова: динамические параметры объекта управления, определение параметров объекта, функция Уолша, компенсация возмущений, тестирующие воздействия, интегральная оценка.

Введение

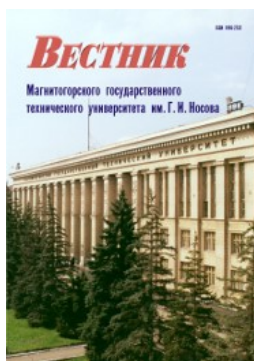
При адаптации современного микропроцессорного регулирующего комплекса (МРК) к управляемому технологическому процессу приоритетной задачей является оперативное и достоверное определение динамических параметров объектов управления: коэффициента передачи объекта $K_{об}$, постоянной

Например, кривые разгона по температуре поверхности нагреваемой заготовки в первой сварочной зоне методической печи №1 стана 2500 ОАО «ММК» (до реконструкции) при различных величинах расхода природного газа во второй сварочной зоне представлены на рис. 1. [2]. Динамические параметры, полученные при обработке экспериментальных кривых разгона на рис. 1 представлены в табл. 1. В зависимости от условий работы

Для опубликования статьи в журнале необходимо представить в электронном виде по e-mail: atp@mgtu.ru текст статьи, сведения об авторах и экспертное заключение о возможности опубликования.

За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор. Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции. При перепечатке ссылка на «Автоматизированные технологии и производства» обязательна.

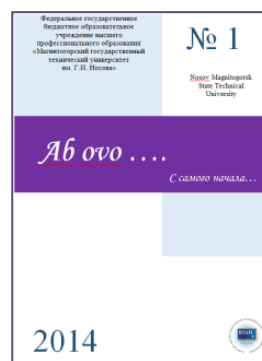
Другие рекомендуемые периодические издания



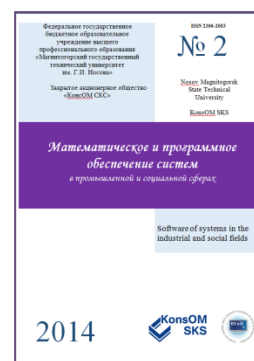
Вестник магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова



Электротехнические системы и комплексы



Журнал молодых исследователей: магистров и аспирантов



Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах

УДК 681.516:621.18

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫХОДНОГО ПАРА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Т.Г. Сухонослова, А.А. Нугаманов, С.А. Емельянов

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, Российская Федерация

tgobuhova@gmail.com

Аннотация. В работе представлена комбинированная система автоматического регулирования температуры выходного пара пароперегревательной установки ППУ-100. Разработана математическая модель процесса перегрева пара для моделирования переходных процессов в контуре регулирования с учетом действующих возмущений. При формировании управляющего воздействия осуществляется коррекция по температуре и расходу входного пара. Приведены результаты математического моделирования переходных процессов в системе автоматического регулирования температуры пара.

Ключевые слова: пароперегреватель, теплообменник, контур регулирования, комбинированная система регулирования, регулирование температуры пара.

ВВЕДЕНИЕ

Пароперегревательная установка ППУ-100 предназначена для перегрева пара, поступающего от котлов охладителей конвертерных газов и из внешних сетей, с температурой 180-210 °С до температуры 280-290 °С. Перегретый пар подается на турбогенератор и паровые насосы вакууматора.

Температура выходного пара пароперегревательной установки является одной из критически важных переменных, которую необходимо контролировать и поддерживать в заданных пределах исходя из соображений безопасности, с одной стороны, и экономичности работы паровой турбины, с другой. При снижении температуры перегретого пара возникает опасность повышения влажности в последних ступенях турбины и эрозии лопаток, а также увеличивается удельный расход пара при выработке электроэнергии. Повышенная температура перегретого пара может привести к аварии из-за ползучести металла, а также снижения надежности турбины вследствие недопустимых тепловых расширений. [1, 2].

Изменение режимов генерации или потребления пара агрегатами, подсоединенными к паровым сетям, оказывает возмущающее воздействие по расходу пара на ППУ. При изменении объема поступающего пара изменяется также скорость его движения через пароперегреватели, что прямо влияет на величину поглощенного паром тепла в процессе его перегрева.

Периодичность генерации пара в котлах охладителей конвертерных газов, а также изменение соотношений пара из сетей и энергокорпуса приводит к изменениям темпе-

ратуры входного пара ППУ [3, 4]. Это изменение напрямую влияет на температуру выходного пара.

Управление температурой перегретого пара ППУ-10 осложняется тепловой инерцией установки и постоянно изменяющимися параметрами входного пара. Инерционность и запаздывание сигнала обратной связи в контуре управления температурой выходного пара вызваны большим объемом топочной камеры, а также наличием многочисленных паровых коллекторов. Существующая система автоматического регулирования не успевает реагировать на относительно быстрые возмущения, что приводит к существенным отклонениям температуры выходного пара от рекомендуемого диапазона.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

ППУ как объект регулирования представляет собой сложную динамическую систему с целым рядом взаимосвязанных входных и выходных величин.

ППУ-100 башенного типа состоит из топочной камеры и подъемного газохода, в котором размещен конвективный пароперегреватель. Пар поступает сначала в радиационную часть пароперегревателя, которая находится в подтопочной камере ППУ, затем поступает в два пакета конвективного пароперегревателя, и далее на выход в общий паровой коллектор, от которого поступает на турбогенератор №2 и к потребителю.

Параметры входного пара предложено рассчитывать по показаниям датчиков с двух узлов учета, расположенных на входных паропроводах. Расход пара $D_{вх}$ определяется по формуле (1), как половина суммарного расхода, так как пар подается на две ППУ. Средневзвешенная температура входного пара $T_{вх}$ рассчитывается по формуле (2):

$$D_{BX} = \frac{D_c + D_{ЭК}}{2}, \quad (1)$$

$$T_{BX} = \frac{D_c \cdot T_c + D_{ЭК} \cdot T_{ЭК}}{D_c + D_{ЭК}} \quad (2)$$

где D_c – массовый расход пара из паровых сетей, т/ч; T_c – температура пара из паровых сетей, °С; $D_{ЭК}$ – массовый расход пара из Энергокорпуса, т/ч; $T_{ЭК}$ – температура пара из Энергокорпуса, °С.

Управляющим воздействием в контуре регулирования температуры выходного пара является изменение расхода природного газа на горелку. При сжигании природного газа происходит преобразование химической энергии топлива в тепловую энергию продуктов сгорания. Выделяющаяся теплота, за вычетом потерь, передается рабочему веществу – пару. Эффективность использования энергии в котельной установке устанавливается тепловым балансом

$$Q_T = Q_{II} + Q_{OG} + Q_{ПОГ}, \quad (3)$$

где Q_T – теплота, подведенная с топливом, Q_{II} – полезно использованная теплота, Q_{OG} – потери теплоты с отходящими газами, $Q_{ПОГ}$ – сумма других возможных потерь теплоты (химическая неполнота сгорания топлива, наружное охлаждение и др.), МДж/кг [5].

Энергия, выделяемая при сгорании топлива, рассчитывается по формуле:

$$Q_T = B \cdot Q_H, \quad (4)$$

где B – массовый расход топлива, кг/с; Q_H – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг.

Полезно использованная теплота Q_{II} может быть выражена через разницу температур входного и выходного пара [4]:

$$Q_{II} = D \cdot c_p (t_{вых} - t_{вх}), \quad (5)$$

где c_p – средняя теплоемкость пара при постоянном давлении, Дж/(кг·°С), D – расход пара, т/ч..

Подставим (4) и (5) в формулу (3) и выразим выходную температуру

$$t_{вых} = t_{вх} + \frac{B \cdot Q_H - Q_{OG} - Q_{ПОГ}}{D \cdot c_p}. \quad (6)$$

Модель ППУ была представлена двумя последовательностями элементов, моделирующими радиационный (РПП) и конвективный (КПП) пароперегреватели. Набор элементов для моделирования РПП и КПП аналогичен и различается коэффициентами, используемыми для расчета статических характеристик передачи тепла от продуктов горения к металлу труб и от металла труб к проходящему по ним пару, и постоянными времени инерционных звеньев, рис. 1.

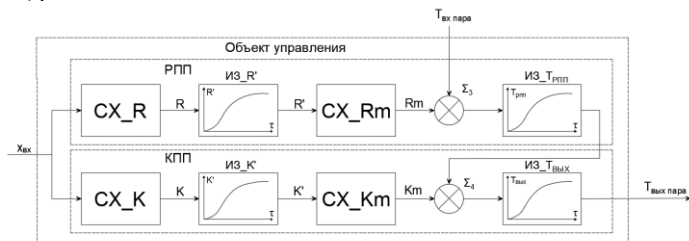


Рис. 1. Структурная схема модели ППУ

Сигнал R (K) статической характеристики CX_R (CX_K) передачи тепла от продуктов горения к металлу труб пароперегревателя рассчитывается по формуле:

$$R = k_{21} \cdot x_{вх}, \quad K = k_{22} \cdot x_{вх}, \quad (7)$$

где $x_{вх} = 0,3638x^2 + 17,683x + 90$ – расход газа, рассчитанный по расходной характеристике регулирующего органа, м³/ч методом наименьших квадратов [6]; $k_{21} = 5,152$ и $k_{22} = 0,001$ – безразмерные коэффициенты.

Сигнал Rm (Km) статической характеристики CX_Rm (CX_Km) передачи тепла от металла труб пароперегревателя к проходящему по ним пару рассчитывается по формуле:

$$R_m = \frac{R' \cdot k_{m1}}{D}, \quad K_m = \frac{K' \cdot k_{m2}}{D}, \quad (8)$$

где R' , K' – тепло, воспринятое металлом труб пароперегревателя с учетом инерционности процесса; $k_{m1} = 1,391$, $k_{m2} = 0,522$ – безразмерный коэффициент.

Динамические свойства пароперегревателя представлены передаточными функциями инерционных звеньев:

$$W_{R'}(s) = \frac{1}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1}, \quad (9)$$

$$W_{K'}(s) = \frac{1}{T_4 s + 1} \cdot \frac{1}{T_5 s + 1},$$

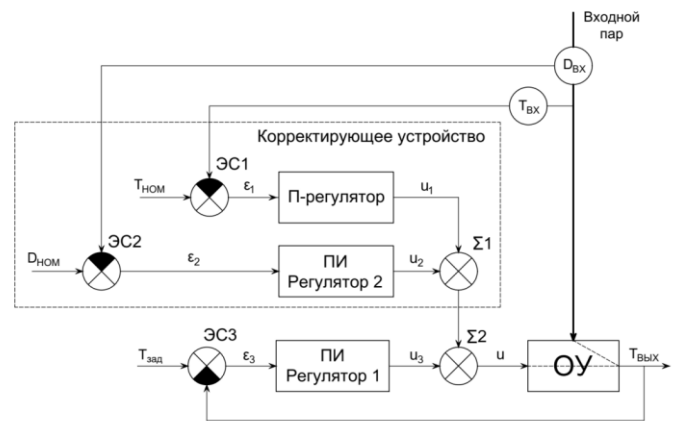
$$W_{RPP}(s) = \frac{1}{T_3 s + 1}, \quad W_{T_{вых}}(s) = \frac{1}{T_6 s + 1},$$

где $T_1 = 126,7$, $T_2 = 127,5$, $T_3 = 268$, $T_4 = 21,9$, $T_5 = 20,9$ и $T_6 = 19,6$ – постоянные времени инерционных звеньев, с; s – оператор преобразования Лапласа.

Все параметры коэффициентов статических характеристик и постоянных времени ППУ были определены на основе экспериментальных данных.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для компенсации возмущений предлагается использовать комбинированную систему, рис. 2, которая совмещает принципы управления по отклонению и по возмущению.



ЭС – элемент сравнения, ОУ – объект управления на рис.1, $T_{зад} = 290$ °С – уставка температуры пара, $u = u_1 + u_2 + u_3$ – результирующее управляющее воздействие

Рис. 2. Структурная схема комбинированной системы управления температурой перегретого пара

В состав корректирующего устройства входят два дополнительных регулятора: П-регулятор для формирования корректирующего воздействия при отклонении температуры входного пара от номинального значения $T_{НОМ}$ и ПИ-регулятор 2 для коррекции при отклонении расхода пара от номинального значения $D_{НОМ}$.

Сигналы рассогласования на входе регуляторов $\varepsilon_1 = T_{НОМ} - T_{ВХ}$ и $\varepsilon_2 = D_{НОМ} - D_{ВХ}$ формируются на основе рассчитанных по формулам (1) и (2) значений, за номинальные значения были приняты величины температуры $T_{НОМ} = 200^\circ\text{C}$ и расхода пара $D_{НОМ} = 60 \text{ т/ч}$.

Суммарное управляющее воздействие корректирующего устройства $u_1 + u_2$ направленно на компенсацию возмущений, вызванных отклонением параметров входного пара от величин, принятых за номинальные.

Контур регулирования по отклонению с ПИ-регулятором 1 будет устранять неточности корректирующего воздействия, и реагировать на неучтенные возмущения.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ

В результате моделирования комбинированной системы управления была проведена настройка параметров основного контура регулирования, работающего по отклонению. Настройка осуществлялась по методике изложенной в [6, 7] при ступенчатом увеличении задания на 10°C в момент времени 2000 с, рис. 3.

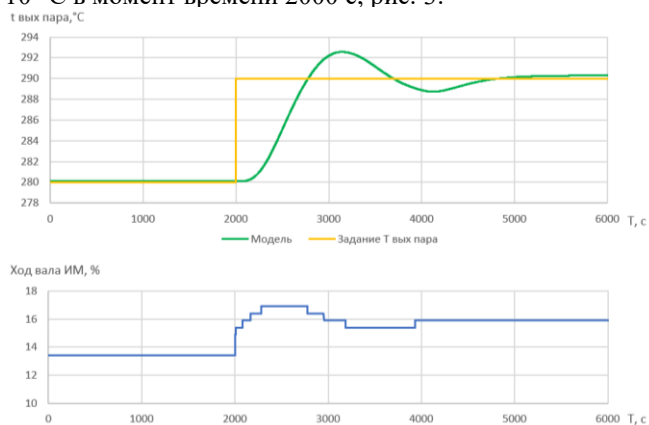


Рис. 3. Реакция комбинированной системы при изменении задания

При этом расход и температура входного пара в момент настройки регулятора не изменялись и были равны номинальным значениям. Настройки ПИ-регулятора: $K_{п1} = 0,2 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, $T_{из1} = 300 \text{ с}$ при скорости исполнительного механизма $K_{ИМ} = 0,5 \text{ } \%/с$ и зоне нечувствительности $0,4 \text{ } \%$.

Для оценки качества переходного процесса была задана точность $\pm 2^\circ\text{C}$. Первое время регулирования составило 815 с, время регулирования 2630 с, перерегулирование составило $2,5^\circ\text{C}$.

Настройка ПИ-регулятора 2, отвечающего за компенсацию возмущающего воздействия изменением расходом газа, осуществлялась совместно с работающим основным контуром регулирования, $K_{п2} = -0,1 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, $T_{из2} = 15 \text{ с}$.

Реакция настроенной модели комбинированной системы управления на ступенчатое изменение расхода пара с 70 до 100 т/ч, а затем со 100 до 50 т/ч представлена на рис. 4.

Реакция модели комбинированной системы управления на ступенчатое увеличение температуры входного

пара с 200 до 220°C на 4000-ой секунде расчета и уменьшение температуры с 220°C до 190°C на 8000-ой секунде представлена на рис. 5.

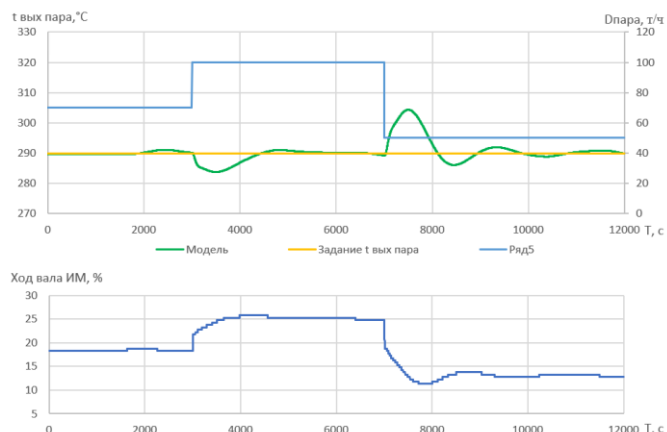


Рис. 4. Реакция комбинированной системы на изменение расхода входного пара

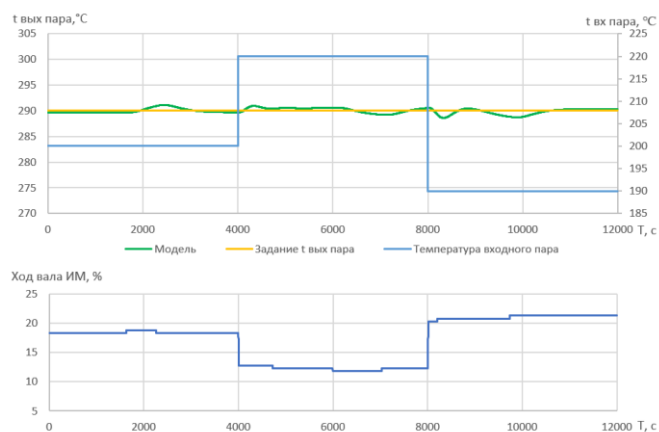


Рис. 5. Реакция комбинированной системы на изменение температуры входного пара

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было определено влияние расхода и температуры входного пара на процесс передачи тепла от поверхности труб пароперегревателя к пару.

На полученной математической модели системы автоматического управления был проведен вычислительный эксперимент, показывающий необходимость введения коррекции по параметрам входного пара. Введение коррекции благоприятно скажется на стабилизации температуры перегретого пара. Уменьшение колебаний температуры пара ППУ приведет к более стабильной выработке электроэнергии турбогенератором и предотвращению аварийных ситуаций.

Для интеграции разработанной системы управления в существующую АСУ не потребуется использование дополнительных технических средств, предполагается внесение изменений лишь в программу ПЛК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябчиков М.Ю. Система управления температурой пара после пароперегревательной установки с применением нечеткой логики для упреждающей компенсации возмущений / М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, С.А. Филиппов.

пов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – Том 22. – № 4. – С. 181-190.

2. Вахромеев И.Е. Распределенная автоматизированная система оперативного управления сетью технологического пароснабжения / И.Е. Вахромеев // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2010. – №22(198). – С. 70-74.

3. Парсункин Б.Н. Автоматизация и оптимизация управления процессом выплавки чугуна в доменных печах: учеб. пособие / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Сухоносова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – 215 с.

4. Марголис Б.И. Синтез регуляторов в каскадных системах автоматического управления / Б.И. Марголис, И.С. Мешков // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2016. – № 1(29). – С. 74-79.

5. Бойко Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): учебное пособие / Е.А. Бойко, И.С. Деринг, Т.И. Охорзина. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.

6. Парсункин Б.Н. Задачи по синтезу автоматизированных систем управления технологическими процессами и производством: учеб. пособие / Б.Н. Парсункин, Т.Г. Сухоносова. – Магнитогорск: МГТУ, 2016. – 54 с. – URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/20773> (дата обращения: 15.05.2025).

7. Парсункин Б.Н. Системы автоматизации и управления: учеб. пособие / Б.Н. Парсункин, С.М. Андреев, Т.Г. Сухоносова, Е.С. Рябчикова. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2021. – URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/3128> (дата обращения: 15.05.2025).

SYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL OF STEAM TEMPERATURE OF A STEAM SUPERHEATING UNIT

T.G. Sukhonosova, A.A. Nugamanov, S.A. Emelyanov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract. The paper presents a combined system for automatic control of the outlet steam temperature of the PPU-100 superheater unit. A mathematical model of the steam superheating process has been developed to simulate transient processes in the control loop taking into account the current disturbances. When forming the control action, correction is made based on the temperature and flow rate of the input steam. The results of mathematical modeling of transient processes in the automatic steam temperature control system are presented.

Keywords: superheater, heat exchanger, control loop, combined control system, steam temperature control.

REFERENCES

1. Ryabchikov M.Yu., Ryabchikova E.S., Filippov S.A. A Fuzzy Logic-Based System for Controlling the Temperature of Steam Exiting a Superheater for the Purpose of Preemptive Perturbation Compensation [Sistema upravleniya temperatury para posle paroperegrevatel'noy ustanovki s primeneniem nechetkoj logiki dlya uprezhdayushchej kompensacii vozmushchenij], *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie [Mechatronics, automation, control]*, 2021, no.22(4), pp. 181-190.

2. Vakhromeev I.E. Distributed automated system for industrial steam supply network management [Распределенная автоматизированная система оперативного управления сетью технологического пароснабжения], *Vestnik SUSU. Seriya: Kompyuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, automatic control, radioelectronics]*, 2010, no. 22(198), pp. 70-74.

3. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G. *Avtomatizatsiya i optimizatsiya protsessov vyplavki chuguna v domennykh pechakh* [Automation and optimization of process control of iron smelting in blast furnaces], Magnitogorsk, Publ. NMSTU, 2018, 215 p.

4. Margolis B.I., Meshkov I.S. Sintez regulyatorov v kaskadnyh sistemah avtomaticheskogo upravleniya [Synthesis of regulators in cascade automatic control systems], *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tver State Technical University]*, 2016, no.1(29), pp. 74-79.

5. Bojko E.A., Dering I.S., Ohorzina T.I. *Kotelnye ustanovki i parogeneratory (teplovoj raschet parovogo kotla)* [Boiler installations and steam generators (thermal calculation of a steam boiler)], Krasnoyarsk, Publ. KSTU, 2005, 96 p.

6. Parsunkin B.N., Sukhonosova T.G. *Zadachi po sintezu avtomatizirovannykh sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami i proizvodstvom: ucheb. posobie* [Tasks on the synthesis of automated control systems for technological processes and production], Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2016, 54 p. Available at: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/20773> (accessed 15 May 2025).

7. Parsunkin B.N., Andreev S.M., Sukhonosova T.G., Ryabchikova E.S. *Sistemy avtomatizatsii i upravleniya: ucheb. posobie* [Automation and control systems], Magnitogorsk, NMSTU Publ., 2016, 54 p. Available at: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/3128> (accessed 15 May 2025).

Сухоносова, Т.Г. Система автоматического регулирования температуры выходного пара пароперегревательной установки / Т.Г. Сухоносова, А.А. Нугаманов, С.А. Емельянов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.3-6.

T.G. Sukhonosova, A.A. Nugamanov, S.A. Emelyanov System of Automatic Control of Steam Temperature of a Steam Superheating Unit. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2025. no.1(31), pp.3-6. (In Russian).

УДК 534.014.3

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СОРТИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ОТ НАКЛОНА РЕШЕТ

В.Д. Павлов

Владимирский электромеханический завод, Владимир, Россия

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

Аннотация. Целью работы является определение влияния наклона решет на диссипативную мощность решетных сортировальных машин. Диссипативная мощность связана с трением, возникающим в подвижной относительно решет части сыпучего материала. Трение зависит от силы давления сыпучего материала на решет. Это давление определяется двумя силами – гравитационной и инерционной. Поскольку ускорение решет является знакопеременным, сила давления меняется со временем. k_v -я часть сыпучего материала условно может считаться неподвижной относительно решетного стана и вносить вклад в инерционную нагрузку, а оставшаяся $(1 - k_v)$ -я часть – подвижной и обеспечивать часть диссипативной нагрузки. Угол наклона решет практически не влияет на величину средней диссипативной мощности, но искажает графики силы трения и активной мощности.

Ключевые слова: сортировальная машина, решета, наклон, диссипативная мощность, трение, сыпучий материал.

В технологических целях решета сортировальных машин устанавливаются с небольшим наклоном.

Целью работы является определение влияния наклона решет на диссипативную мощность решетных сортировальных машин.

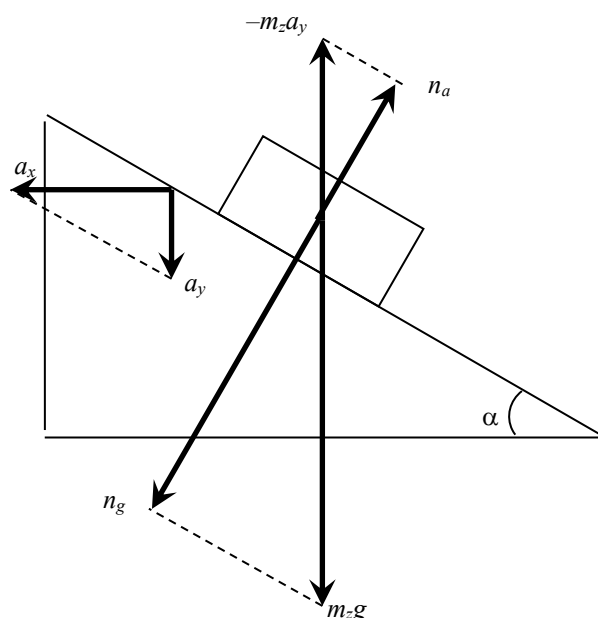


Рис. 1. Сила давления на решет

РАСЧЕТ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА НА РЕШЕТА

Диссипативная мощность связана с трением, возникающим в подвижной относительно решет части сыпучего материала.

Трение зависит от силы давления сыпучего материала на решет. Это давление определяется двумя силами – гравитационной и инерционной. Поскольку ускорение решет является знакопеременным, сила давления меняется со временем. На рисунке 1 показан момент частичной потери веса сыпучего материала.

Координата, скорость и ускорение решета равны

$$x = l \sin \omega t,$$

$$v = \dot{x} = l \omega \cos \omega t,$$

$$a_x = \ddot{x} = -l \omega^2 \sin \omega t.$$

где l – амплитуда колебаний, м.; ω – циклическая частота колебаний, рад/с. [1-7]. Вертикальное ускорение опоры (рис. 1) равно

$$a_y = a_x \operatorname{tg} \alpha = -l \omega^2 \sin \omega t \operatorname{tg} \alpha.$$

k_v -я часть сыпучего материала условно может считаться неподвижной относительно решетного стана и вносить вклад в инерционную нагрузку, а оставшаяся $(1 - k_v)$ -я часть – подвижной и обеспечивать часть диссипативной нагрузки [8, 9].

Сила давления $(1 - k_v)$ -й части сыпучего материала на решето равна

$$\begin{aligned} n_z &= n_g - n_a = (1 - k_v) m_z g \cos \alpha - (1 - k_v) m_z (-a_y) \cos \alpha = \\ &= (1 - k_v) m_z g \cos \alpha - (1 - k_v) m_z l \omega^2 \sin \omega t \operatorname{tg} \alpha \cos \alpha = \\ &= (1 - k_v) m_z (g \cos \alpha - l \omega^2 \sin \omega t \sin \alpha). \end{aligned}$$

РАСЧЕТ ДИССИПАТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Диссипативная мощность, рассеиваемая в сыпучем материале, определяется выражением:

$$p = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = kn_z \left(-\frac{\mathbf{v}}{v} \right) \cdot \mathbf{v} =$$

$$= k(1-k_v)m_z \left(-\frac{\mathbf{v}}{v} \right) \cdot \mathbf{v} (g \cos \alpha - l\omega^2 \sin \omega t \sin \alpha) =$$

$$k(1-k_v)m_z (g \cos \alpha - l\omega^2 \sin \omega t \sin \alpha) l\omega |\cos \omega t|,$$

где $\mathbf{F}$ – сила трения, k – динамический коэффициент трения, который определяется опытным путем. Сила трения направлена противоположно скорости.

Диссипативная энергия, рассеиваемая в сыпучем материале за полупериод колебаний, равна

$$A_\pi = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} p dt = k(1-k_v)m_z l \omega \left(g \cos \alpha \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \omega t dt - \right.$$

$$\left. - l\omega^2 \sin \alpha \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin \omega t \cos \omega t dt \right) =$$

$$k(1-k_v)m_z l \omega \left(\frac{g}{\omega} \cos \alpha \sin \omega t \Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} - l\omega \sin \alpha \frac{1}{2} \sin^2 \omega t \Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} \right) =$$

$$= 2k(1-k_v)m_z l g \cos \alpha.$$

Средняя диссипативная мощность равна

$$P = 2nA_\pi = 4nk(1-k_v)m_z l g \cos \alpha.$$

График диссипативной мощности представлен на рис. 2.

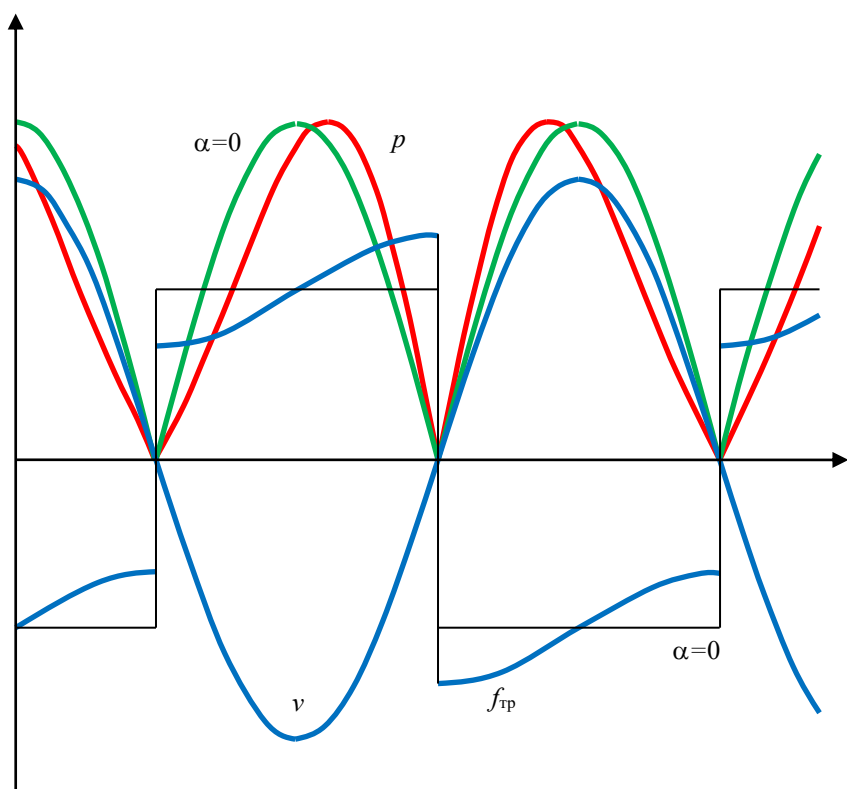


Рис. 2. Диссипативная мощность

Пример. Пусть $\alpha = 7^\circ$, $l = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м, частота колебаний $n = 8$ Hz, $m_z = 40$ кг; $k_v = 0,3$; $k = 0,6$. Средняя диссипативная мощность равна

$$P = 4nk(1-k_v)m_z l g \cos \alpha =$$

$$= 2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,6(1-0,3)40 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 0,99 \approx 39 \text{ Вт}.$$

Таким образом, поскольку $\cos 7^\circ \approx 0,993$ угол наклона решета практически не влияет на величину средней диссипативной мощности, но искажает графики силы трения и мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.

2. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23–25.

3. Попов И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 10-12.

4. Павлов В.Д. Паразитные вибрации в автоматизированных комплексах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 10-12.

5. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.

6. Павлов В.Д. Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.16-18.

7. Попов И.П. Резонанс сил в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 17-19.

8. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Авто-

матизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.

9. Попов И.П. Минимизация экологического ущерба от вибрационных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 2 (22). С. 32-34.

DEPENDENCE OF THE PRODUCTIVE CAPACITY OF THE SORTING MACHINE ON THE INCLINATION OF THE SIEVE

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant, Vladimir, Russia

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

Abstract. The aim of the work is to determine the effect of the screen inclination on the dissipative power of screen sorting machines. The dissipative power is associated with friction arising in the part of the bulk material that is movable relative to the screens. Friction depends on the force of pressure of the bulk material on the screens. This pressure is determined by two forces - gravitational and inertial. Since the acceleration of the screens is alternating, the pressure force changes with time. The k_v -th part of the bulk material can be conventionally considered stationary relative to the screen mill and contribute to the inertial load, and the remaining $(1 - k_v)$ -th part – movable and provides a part of the dissipative load. The angle of inclination of the screens has virtually no effect on the value of the average dissipative power, but distorts the graphs of the friction force and active power

Keywords: sorting machine, sieves, slope, dissipative power, friction, bulk material

REFERENCES

1. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation [Spontannyye uprugoinduktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18-20. (In Russian)

2. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23–25. (In Russian)

3. Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms [O vozmozhnosti avtomatizirovannoy balansirovki vibratsionnykh mekhanizmov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 10-12. (In Russian)

4. Pavlov V.D. Parasitic vibrations in automated complexes [Parazitnyye vibratsii v avtomatizirovannykh kompleksakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 10-12. (In Russian)

5. Pavlov V.D. Vibrator for automated complexes [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatiziro-*

vannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production], 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian)

6. Pavlov, V.D. Conditions of auto-balancing of vibration mechanisms with a constant reduced moment of inertia [Usloviya avtobalansirovki vibratsionnykh mekhanizmov s postoyannym privedennym momentom inertsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 2(30), pp.16-18. (In Russian)

7. Popov I.P. Resonance of forces in mechatronic systems [Rezonans sil v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 17-19. (In Russian)

8. Popov I.P. Concurrent optimization of the productive capacity of screen sorting machines [Poputnaya optimizatsiya proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian)

9. Popov I.P. Minimization of environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian)

Павлов, В.Д. Зависимость производительной мощности сортировальной машины от наклона решет / В.Д. Павлов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.7-9.

V.D. Pavlov Dependence of the Productive Capacity of the Sorting Machine on the Inclination of the Sieve. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.7-9. (In Russian).

РЕАКТАНСЫ И САССЕПТАНСЫ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ

И.П. Попов

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Аннотация. Отмечено, что традиционный расчет механизмов при вынужденных колебаниях зачастую представляет собой непростую задачу. Чаще всего расчетчиков интересуют установившиеся режимы колебаний. Целью работы является значительное упрощение вычислений путем замены необходимости решения дифференциальных уравнений на алгебраические методы. Подобный подход широко используется в электротехнике. Использование символического (комплексного) описания механических систем при вынужденных гармонических колебаниях (в установившемся режиме) позволило отказаться от чрезвычайно громоздкого и трудоемкого алгоритма расчета, связанного с решением дифференциальных уравнений и заменить его простыми и наглядными алгебраическими операциями. Благодаря этому время расчетов уменьшается в разы. Векторные диаграммы, не являясь необходимой составляющей исследования механических систем, имеют существенное методическое значение, поскольку показывают количественные и фазные соотношения между параметрами систем.

Ключевые слова: потребители механической мощности, вынужденные колебания, параллельное соединение, резонанс сил, резонанс скоростей.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционный расчет механизмов при вынужденных колебаниях зачастую представляет собой непростую задачу

Чаще всего расчетчиков интересуют установившиеся режимы колебаний.

Целью исследования является значительное упрощение вычислений путем замены необходимости решения дифференциальных уравнений на алгебраические методы.

Задачи исследования состоят в разработке алгоритмов расчетов механических систем.

Актуальность работы обусловлена тем, что механические колебания широко распространены в разнообразных технологических процессах [1–8].

Используется комплексное представление гармонических и связанных с ними величин. Подобный подход широко используется в электротехнике.

СХЕМА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ

Скорость элементов механической системы одинаковая (рис. 1)

$$v = V \sin \omega t. \quad (1)$$

При этом силы отличаются

$$f_m = m \frac{dv}{dt} = m\omega V \cos \omega t, \quad (2)$$

$$f_k = -kx = k \int v dt = -\frac{k}{\omega} V \cos \omega t, \quad (3)$$

$$f_r = rv = rV \sin \omega t. \quad (4)$$

Результирующая сила:

$$\begin{aligned} f &= f_m + f_k + f_r = V \left[\left(m\omega - \frac{k}{\omega} \right) \cos \omega t + r \sin \omega t \right] = \\ &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \left[\frac{m\omega - k/\omega}{\sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2}} \cos \omega t + \right. \\ &\quad \left. + \frac{r}{\sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2}} \sin \omega t \right]. \end{aligned}$$

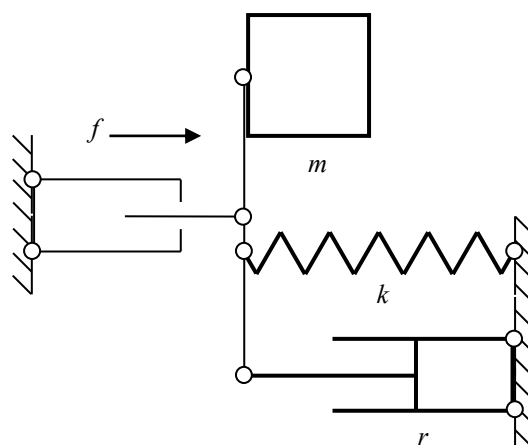


Рис. 1 – Схема параллельного соединения

Удобно ввести обозначение

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{m\omega - k/\omega}{r}. \quad (5)$$

При этом

$$\begin{aligned} f &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} (\sin \varphi \cos \omega t + \cos \varphi \sin \omega t) = \\ &= V \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \sin(\omega t + \varphi) = F \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (6)$$

Это классическое выражение (результат решения дифференциального уравнения).

В рассматриваемом случае необходимость в дифференциальном уравнении не возникает.

Амплитуда результирующей силы:

$$F = Vz, \quad (7)$$

$$z = \sqrt{(m\omega - k/\omega)^2 + r^2} \quad (\kappa\text{г} \cdot \text{с}^{-1}). \quad (8)$$

Первая (максвелловская) система механо-электрических аналогий имеет вид:

- $V \Rightarrow I$ (скорость $\Rightarrow$ ток),
- $F \Rightarrow U$ (сила $\Rightarrow$ напряжение),
- $m \Rightarrow L$ (масса $\Rightarrow$ индуктивность),
- $k \Rightarrow 1/C$ (коэффициент упругости $\Rightarrow$ величина

обратная емкости),

- $r \Rightarrow R$ (коэффициент вязкого сопротивления $\Rightarrow$ сопротивление).

Американский физик Вебстер дополнил эти аналогии:

- $\omega m \Rightarrow \omega L$ (инертный реактанс $\Rightarrow$ индуктивное сопротивление),
- $k/\omega \Rightarrow 1/(\omega C)$ (упругий реактанс $\Rightarrow$ емкостное сопротивление).

Учитывая приведенные механо-электрические аналогии, формула (7) является аналогом известного закона Ома

$$U = IZ.$$

здесь $Z = \sqrt{[\omega L - 1/(\omega C)]^2 + R^2}$ – сопротивление. Таким образом, формула (8) – это *механический импеданс* (impedance).

Соответственно этому *механический реактанс* (reactance):

$$x = m\omega - \frac{k}{\omega}.$$

Если $x=0$, то $\omega = \sqrt{k/m}$ – классическое выражение, полученное значительно проще классического решения. При этом происходит *резонанс сил* [9]. При $r=0$, $z=0$. Механизм не препятствует источнику колебаний.

По аналогии с электротехникой r – *механический резистанс* (resistance).

КОМПЛЕКСНОЕ ОПИСАНИЕ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ

Синусоидальная величина имеет следующую форму записи:

$$a = A \sin(\omega t + \varphi) = \operatorname{Im} [Ae^{i(\omega t + \varphi)}].$$

Здесь $Ae^{i(\omega t + \varphi)}$ – комплексный вектор.

Такие векторы, как правило, записывают для момента $t=0$. В соответствии с этим

$$Ae^{i(\omega t + \varphi)} = Ae^{i\varphi} = \dot{A}$$

принято считать *комплексной амплитудой*.

Формула (1), таким образом, имеет следующий вариант записи:

$$v = V \sin \omega t = \operatorname{Im}(Ve^{i\omega t}),$$

$$\dot{V} = Ve^{i0}.$$

Из выражения (2) следует, что v отстает по фазе от f_m на $\pi/2$. Таким образом,

$$\dot{F}_m = m\omega \dot{V} e^{i\frac{\pi}{2}} = \underline{x}_m \dot{V}.$$

$$\underline{x}_m = \omega m e^{i\frac{\pi}{2}} = i\omega m. \quad (9)$$

Это *инертный реактанс* в комплексной записи.

Несинусоидальные величины в комплексном представлении подчеркивают (синусоидальные отмечают точкой).

Амплитуда инертной силы (в комплексном изображении) имеет вид:

$$\dot{F}_m = \omega m e^{i\frac{\pi}{2}} V e^{i0} = \omega m V e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Точно также, имея в виду (3) и (4),

$$\dot{F}_k = -\frac{k}{\omega} \dot{V} e^{i\frac{\pi}{2}} = \underline{x}_k \dot{V}.$$

$$\underline{x}_k = -\frac{k}{\omega} e^{i\frac{\pi}{2}} = \frac{k}{\omega} e^{-i\frac{\pi}{2}} = -i \frac{k}{\omega}. \quad (10)$$

Это *упругий реактанс* в комплексной записи.

$$\dot{F}_r = r \dot{V} = \underline{r} \dot{V}.$$

$$\underline{r} = r.$$

Это *резистанс* в комплексной записи.

В соответствии с этим амплитуды упругой и резистивной сил (в комплексном изображении) имеют вид:

$$\dot{F}_k = \frac{k}{\omega} e^{-i\frac{\pi}{2}} V e^{i0} = \frac{k}{\omega} V e^{-i\frac{\pi}{2}}.$$

$$\dot{F}_r = r \dot{V} = r e^{i0} V e^{i0}.$$

Комплексные представления механических реактанса и импеданса:

$$\underline{x} = \underline{x}_m + \underline{x}_k = \left(m\omega - \frac{k}{\omega}\right) e^{i\frac{\pi}{2}},$$

$$\underline{z} = r + \underline{x} = r + \left(m\omega - \frac{k}{\omega}\right) e^{i\frac{\pi}{2}}.$$

Абсолютная величина последнего совпадает с (8)

$$Z = \sqrt{r^2 + \left(m\omega - \frac{k}{\omega}\right)^2}.$$

Фаза импеданса определяется формулой (5). поэтому

$$\underline{z} = Ze^{i\varphi}.$$

Сила внешнего источника имеет вид:

$$\dot{F} = \underline{z} \dot{V} = ZV e^{i\varphi}. \quad (11)$$

Это подтверждается формулой (6).

Пример 1. $\dot{F} = 100e^{i0}$ (Н), $\omega = 2$ рад/с, $m = 10$ кг, $k = 20$ ($\kappa\text{г} \cdot \text{с}^{-2}$), $r = 7$ ($\kappa\text{г} \cdot \text{с}^{-1}$). Определить все остальные параметры.

$$\begin{aligned}\underline{x}_m &= \omega m e^{i90^\circ} = 20e^{i90^\circ} (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}), \\ \underline{x}_k &= \frac{k}{\omega} e^{-i90^\circ} = 10e^{-i90^\circ} (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}). \\ Z &= \sqrt{r^2 + (\underline{x}_m - \underline{x}_k)^2} = \sqrt{7^2 + (20 - 10)^2} = 12,207 (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}). \\ \varphi &= \arctg \frac{\underline{x}_m - \underline{x}_k}{r} = \arctg \frac{20 - 10}{7} = 55^\circ, \\ \underline{z} &= Z e^{i\varphi} = 12,207 e^{i55^\circ} (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}). \\ \dot{V} &= \frac{\dot{F}}{\underline{z}} = \frac{100e^{i0}}{12,207 e^{i55^\circ}} \approx 8,192 e^{-i55^\circ} (\text{м} \cdot \text{с}^{-1}), \\ \dot{F}_m &= \underline{x}_m \dot{V} = 20e^{i90^\circ} \cdot 8,192 e^{-i55^\circ} = 163,846 e^{i35^\circ} (\text{Н}),\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{F}_k &= \underline{x}_k \dot{V} = 10e^{-i90^\circ} \cdot 8,192 e^{-i55^\circ} = 81,923 e^{-i145^\circ} (\text{Н}), \\ \dot{F}_r &= r \dot{V} = 7e^{i0} \cdot 8,192 e^{-i55^\circ} = 57,344 e^{-i55^\circ} (\text{Н}).\end{aligned}$$

Как и следовало ожидать,

$$\begin{aligned}\dot{F}_m + \dot{F}_k + \dot{F}_r &= 163,846 e^{i35^\circ} + 81,923 e^{-i145^\circ} + \\ &+ 57,344 e^{-i55^\circ} = 100 e^{i0} (\text{Н}) = \dot{F}.\end{aligned}$$

Расчет с применением дифференциальных уравнений занял бы несколько страниц.

Данным примера 1 соответствует векторная диаграмма на рисунке 2.

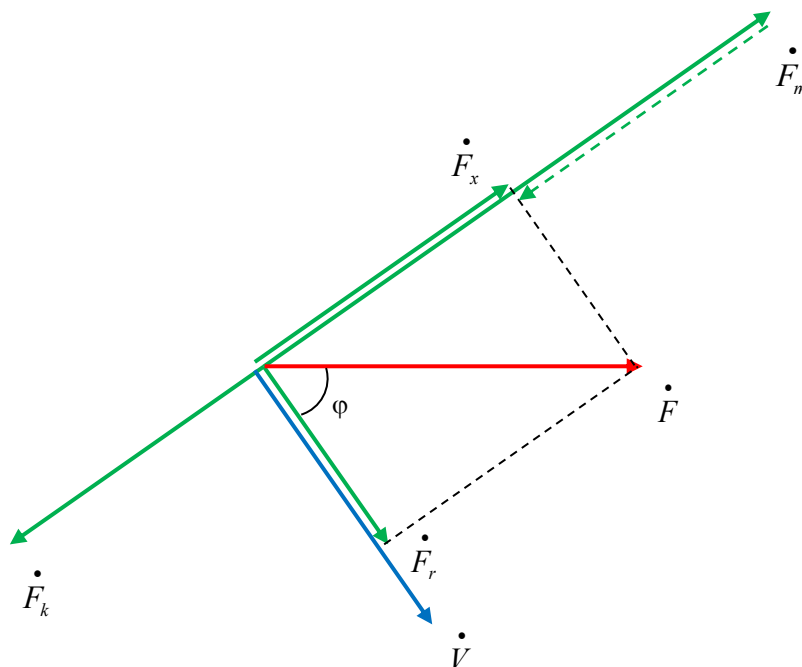


Рис. 2 – Параллельное соединение

Пример 2. Для резонанса сил. Отличие от примера 1 состоит в том, что $k = 40 (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-2})$.

$$\begin{aligned}\underline{x}_k &= 20e^{-i90^\circ} (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}), \\ \underline{z} &= r = 7e^{i0^\circ} (\kappa\mathcal{Z} \cdot c^{-1}), \\ \dot{V} &= \frac{\dot{F}}{\underline{z}} = \frac{100e^{i0}}{7e^{i0^\circ}} \approx 14,286 e^{i0^\circ} (\text{м} \cdot \text{с}^{-1}), \\ \dot{F}_m &= \underline{x}_m \dot{V} = 20e^{i90^\circ} \cdot 14,286 e^{i0^\circ} = 285,72 e^{i90^\circ} (\text{Н}), \\ \dot{F}_k &= \underline{x}_k \dot{V} = 20e^{-i90^\circ} \cdot 14,286 e^{i0^\circ} = 285,72 e^{-i90^\circ} (\text{Н}), \\ \dot{F}_r &= r \dot{V} = 7e^{i0} \cdot 14,286 e^{i0^\circ} = 100 e^{i0^\circ} (\text{Н}).\end{aligned}$$

Как и следовало ожидать,

$$\begin{aligned}\dot{F}_m + \dot{F}_k + \dot{F}_r &= 285,72 e^{i90^\circ} + 285,72 e^{-i90^\circ} + \\ &+ 100 e^{i0^\circ} = 100 e^{i0} (\text{Н}) = \dot{F} = \dot{F}_r.\end{aligned}$$

Данным примера 2 соответствует векторная диаграмма на рисунке 3.

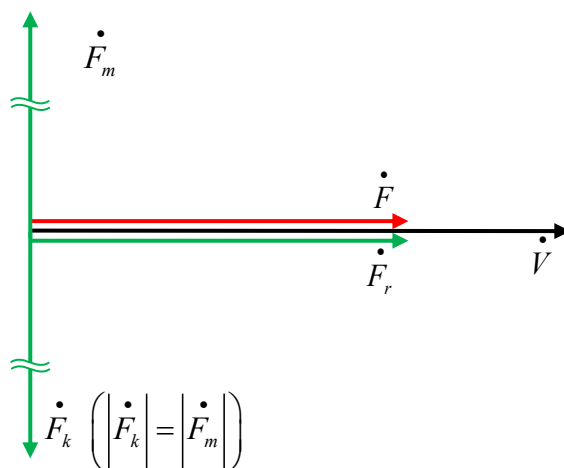


Рис. 3 – Резонанс сил

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование символического (комплексного) описания механических систем при вынужденных гармонических колебаниях (в установившемся режиме) позволило отказаться от чрезвычайно громоздкого и трудоемкого алгоритма расчета, связанного с решением дифференциальных уравнений и заменить его простыми и наглядными алгебраическими операциями. Благодаря этому время расчетов уменьшается в разы.

Векторные диаграммы, не являясь необходимой составляющей исследования механических систем, имеют существенное методическое значение, поскольку показывают количественные и фазные соотношения между параметрами систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.
2. Попов И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 10-12.

3. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.

4. Попов И.П. Минимизация экологического ущерба от вибрационных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 2 (22). С. 32-34.

5. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23-25.

6. Павлов В.Д. Паразитные вибрации в автоматизированных комплексах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 10-12.

7. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.

8. Павлов В.Д. Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.16-18.

9. Попов И.П. Резонанс сил в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 17-19.

REACTANCES AND SUSCEPTIONS OF MECHATRONIC SYSTEMS WITH PARALLEL CONNECTION OF ELEMENTS

I.P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract. It is noted that the traditional calculation of mechanisms in forced oscillations is often a difficult task. Most often, calculators are interested in steady-state oscillation modes. The aim of the work is to significantly simplify the calculations by replacing the need to solve differential equations with algebraic methods. A similar approach is widely used in electrical engineering. The use of a symbolic (complex) description of mechanical systems under forced harmonic oscillations (in the steady state) made it possible to abandon the extremely cumbersome and time-consuming calculation algorithm associated with solving differential equations and replace it with simple and clear algebraic operations. Due to this, the calculation time is reduced significantly. Vector diagrams, not being a necessary component of the study of mechanical systems, have significant methodological significance, since they show quantitative and phase relationships between the parameters of systems.

Keywords: consumers of mechanical power, forced oscillations, parallel connection, resonance of forces, resonance of speeds.

REFERENCES

1. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation [Spontannyye uprugoinduktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18-20. (In Russian)
2. Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms [O vozmozhnosti avtomatizirovannoy balansirovki vibratsionnykh mekhanizmov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 10-12. (In Russian)
3. Popov I.P. Concurrent optimization of the productive capacity of screen sorting machines [Poputnaya optimizatsiya

proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian)

4. Popov I.P. Minimization of environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian)

5. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23-25. (In Russian)

6. Pavlov V.D. Parasitic vibrations in automated complexes [Parazitnyye vibratsii v avtomatizirovannykh kompleksakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 10-12. (In Russian)

7. Pavlov V.D. Vibrator for automated complexes [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian)

8. Pavlov, V.D. Conditions of auto-balancing of vibration mechanisms with a constant reduced moment of inertia

[Usloviya avtobalansirovki vibratsionnykh mekhanizmov s postoyannym privedennym momentom inertsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 2(30), pp.16-18. (In Russian)

9. Popov I.P. Resonance of forces in mechatronic systems [Rezonans sil v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 17-19. (In Russian)

Попов, И.П. Реактансы и сасцептансы мехатронных систем при параллельном соединении элементов / И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.10-14.

I.P. Popov Reactance and Susceptions of Mechatronic Systems With Parallel Connection of Elements. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.10-14. (In Russian).

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО СТАТУСА ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА В ВИДЕ КОМПОЗИЦИИ ЕГО ПРЕДЕЛЬНЫХ СТАТУСОВ

В.И. Безденежных

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Аннотация. При сортировке (вибрационном просеивании) дисперсного материала следует принимать во внимание его динамические свойства, установление которых является целью настоящей работы. Методика исследования заключается в представлении статуса исследуемой системы в виде комбинации ее диаметрально противоположных предельных статусов. Рассматривается дисперсный материал, расположенный на платформе, совершающей гармонические колебания. Главная проблема при установлении динамических свойств дисперсного материала заключается в невозможности вычисления усредненного коэффициента динамического трения, т.к. на его значение оказывает влияние взаимодействие дисперсных частиц между собой во всей массе материала, а не только с поверхностью платформы. Описание динамического статуса дисперсного материала в форме композиции его неустойчивого и устойчивого статусов дает ключ к разрешению этой и сходных проблем. Предметом исследования являются системы с равновеликими предельными статусами. Этот метод является универсальным и применим для самых разнообразных систем с иными статусами и параметрами.

Ключевые слова: дисперсный материал, динамические свойства, статус системы, комбинация статусов, платформа, устойчивость/неустойчивость.

ВВЕДЕНИЕ

При прочностных расчетах элементов конструкций машин и механизмов, в том числе, учитываются режимы вынужденных и собственных колебаний [1-6]. В этой связи принимаются во внимание динамические свойства груза, которые для сплошных и дисперсных материалов являются существенно разными.

Целью работы является установление динамических свойств дисперсного материала при гармонических колебаниях.

Актуальность исследования обуславливается широкой номенклатурой дисперсной сельскохозяйственной продукции.

Методика исследования заключается в представлении статуса исследуемой системы в виде комбинации ее диаметрально противоположных предельных статусов. Распространенным примером такого представления является состав углеродистой стали, являющийся комбинацией железа и углерода (100% железа в стали – один предельный статус, 100% углерода – диаметрально противоположный предельный статус).

Рассматривается дисперсный материал, расположенный на платформе, совершающей гармонические колебания [7-9].

УСТОЙЧИВОСТЬ/НЕУСТОЙЧИВОСТЬ

Для оценки неустойчивости (или устойчивости) дисперсного материала относительно платформы вводится безразмерная величина ξ .

Ее предельными значениями являются ξ_a – абсолютная устойчивость (полная неподвижность) относительно платформы и ξ_z – абсолютная неустойчивость.

При этом

$$\xi \in [\xi_a, \xi_z] \subset \mathbb{R}.$$

Здесь $\mathbb{R}$ – множество вещественных чисел.

Композиция предельных значений может быть представлена в виде:

$$\xi = \varphi_a \xi_a + \varphi_z \xi_z. \quad (1)$$

Здесь φ_a и φ_z – функции статуса.

Главная проблема при установлении динамических свойств дисперсного материала заключается в невозможности вычисления усредненного коэффициента динамического трения, т.к. на его значение оказывает влияние взаимодействие дисперсных частиц между собой во всей массе материала, а не только с поверхностью платформы.

Описание динамического статуса дисперсного материала в форме композиции его неустойчивого и устойчивого статусов дает ключ к разрешению этой и сходных проблем.

Противоположные предельные статусы исследуемой системы могут быть сопоставимыми и несопоставимыми в части количественной оценки.

Предметом исследования являются системы с равновеликими предельными статусами.

КОМБИНАЦИЯ ДИАМЕТРАЛЬНО ПРОТИВОПОЛОЖНЫХ РАВНОВЕЛИКИХ ПРЕДЕЛЬНЫХ СТАТУСОВ

Для дисперсного материала таковыми являются ξ_a (абсолютная устойчивость) и ξ_z – (абсолютная неустойчивость). Их равновеликость определяется условием

$$|\xi| = |\xi_a| = |\xi_z|. \quad (2)$$

Условие (2) выполняется, в частности, при процентном представлении соответствующих статусов, например, $\xi_a = 100\%$ $\xi_z = 100\%$.

Отсюда вытекает очевидное соотношение

$$\varphi_a + \varphi_z = 1,$$

и комбинация статусов может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} \xi &= \varphi_a \xi_a + \varphi_z \xi_z = \\ &= \varphi_a \xi_a + (1 - \varphi_a) \xi_z = (1 - \varphi_z) \xi_a + \varphi_z \xi_z. \end{aligned}$$

Статус ξ_a характеризуется предельно высокой частотой колебаний ω_a , при которой дисперсный материал сохраняет неподвижность (устойчивость) по отношению к платформе, благодаря статической силе трения. Таким образом, он совершает колебания вместе с платформой с частотой ω_a относительно неподвижной базы платформы.

Статус ξ_z характеризуется предельно низкой частотой колебаний ω_z , при которой дисперсный материал сохраняет неподвижность по отношению к базе платформы, вследствие собственной инерции. Очевидно, что относительно платформы материал совершает колебания с той же амплитудой и той же частотой ω_z .

При этом

$$\omega_a < \omega_z.$$

В рабочем режиме частота имеет некое промежуточное значение

$$\omega_a < \omega < \omega_z.$$

При этом условно можно считать, что φ_a -я часть дисперсного материала является абсолютно устойчивой

по отношению к платформе, а φ_z -я часть – абсолютно неустойчивой.

Функции статуса зависят от частоты ω , которую можно считать *переменной статуса*.

В других задачах могут быть другие переменные статуса, например, давление, мощность, ток, напряжение и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, В.Д. Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.16-18.
2. Попов И.П. Минимизация экологического ущерба от вибрационных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 2 (22). С. 32-34.
3. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.
4. Попов И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 10-12.
5. Павлов В.Д. Паразитные вибрации в автоматизированных комплексах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 10-12.
6. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.
7. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.
8. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23–25.
9. Попов И.П. Резонанс сил в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 17-19.

REPRESENTATION OF THE DYNAMIC STATUS OF DISPERSED MATERIAL AS A COMPOSITION OF ITS LIMIT STATUSES

V.I. Bezdeneshnykh

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract. When sorting (vibrating screening) of a dispersed material, its dynamic properties should be taken into account, the establishment of which is the goal of this work. The research methodology consists in presenting the status of the system under study as a combination of its diametrically opposite limiting statuses. Considered is a dispersed material located on a platform that performs harmonic oscillations. The main problem in establishing the dynamic properties of a dispersed material is the impossibility of calculating the average coefficient of dynamic friction, since its value is influenced by the interaction of dispersed particles with each other in the entire mass of the material, and not only with the surface of the platform. The description of the dynamic status of a dispersed material in the form of a composition of its unstable and stable statuses provides the key to solving this and similar problems. The subject of the study are systems with equal limiting statuses. This method is universal and applicable to a wide variety of systems with different statuses and parameters.

Keywords: dispersed material, dynamic properties, system status, combination of statuses, platform, stability/instability.

REFERENCES

1. Pavlov, V.D. Conditions of auto-balancing of vibration mechanisms with a constant reduced moment of inertia [Usloviya avtobalansirovki vibratsionnykh mekhanizmov s postoyannym privedennym momentom inertsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 2(30), pp.16-18. (In Russian)
2. Popov I.P. Minimization of environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian)
3. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation [Spontannyye uprugoinduktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18-20. (In Russian)
4. Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms [O vozmozhnosti avtomatizirovannoy balansirovki vibratsionnykh mekhanizmov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 10-12. (In Russian)
5. Pavlov V.D. Parasitic vibrations in automated complexes [Parazitnyye vibratsii v avtomatizirovannykh kompleksakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 10-12. (In Russian)
6. Popov I.P. Concurrent optimization of the productive capacity of screen sorting machines [Poputnaya optimizatsiya proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian)
7. Pavlov V.D. Vibrator for automated complexes [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian)
8. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23–25. (In Russian)
9. Popov I.P. Resonance of forces in mechatronic systems [Rezonans sil v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 17-19. (In Russian)

Безденежных, В.И. Представление динамического статуса дисперсного материала в виде композиции его предельных статусов / В.И. Безденежных // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.15-17.

V.I. Bezdeneshnykh Representation of the Dynamic Status of Dispersed Material as a Composition of its Limit Statuses. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.15-17. (In Russian).

РЕАКТИВНАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ МОЩНОСТЬ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ

В.Д. Павлов

Владимирский электромеханический завод, Владимир, Россия

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

Аннотация. Для решения вопросов, связанных с повышением энергоэффективности машин и механизмов, в т.ч., в мехатронных системах, рабочие органы которых совершают гармонические или почти гармонические колебания, необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную, под которой понимается производная работы, совершаемой приводом, для сообщения массивным объектам кинетической энергии. По аналогии с электрической реактивной мощностью под инерционной мощностью следует понимать амплитуду мгновенного значения. Несмотря на то, что инерционная мощность не является диссипативной, следует стремиться к ее минимизации. Буквально в последнее время в связи с разработкой колебательных систем, состоящих из однородных элементов, появилась возможность решения вышеназванной проблемы вплоть до полной нейтрализации механической реактивной инерционной мощности.

Ключевые слова: массивный элемент, колебания, инерционная мощность, привод.

Для решения вопросов, связанных с повышением энергоэффективности машин и механизмов, рабочие органы которых совершают гармонические или почти гармонические колебания [1–7], необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную, под которой понимается производная работы, совершаемой приводом, для сообщения массивным объектам кинетической энергии [7, 9].

Пусть массивный объект (узел, деталь, заготовка) совершает гармонические колебания

$$x = l \sin \omega t,$$

где x – его координата, м.; l – амплитуда колебаний.

Скорость объекта (м/с) равна

$$v = \dot{x} = l\omega \cos \omega t.$$

Мгновенное значение кинетической энергии (Дж) объекта, совершающего колебания, имеет вид:

$$w = \frac{mv^2}{2} = \frac{ml^2\omega^2 \cos^2 \omega t}{2},$$

где m – масса, кг.

Мгновенное значение инерционной мощности (Вт), обусловленной массой объекта, определяется выражением

$$q = \frac{dw}{dt} = -l^2 m \omega^3 \cos \omega t \sin \omega t = -\frac{l^2 m \omega^3}{2} \sin 2\omega t.$$

На рисунке представлены графики перемещения, скорости и мгновенной инерционной мощности.

По аналогии с электрической реактивной мощностью под инерционной мощностью следует понимать амплитуду мгновенного значения.

$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2}.$$

Пример. Пусть $l = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м; $m = 92$ кг; $n = 8$ Hz ($\omega = 2\pi n$). Эти данные позволяют рассчитать инерционную мощность решетного стана машины

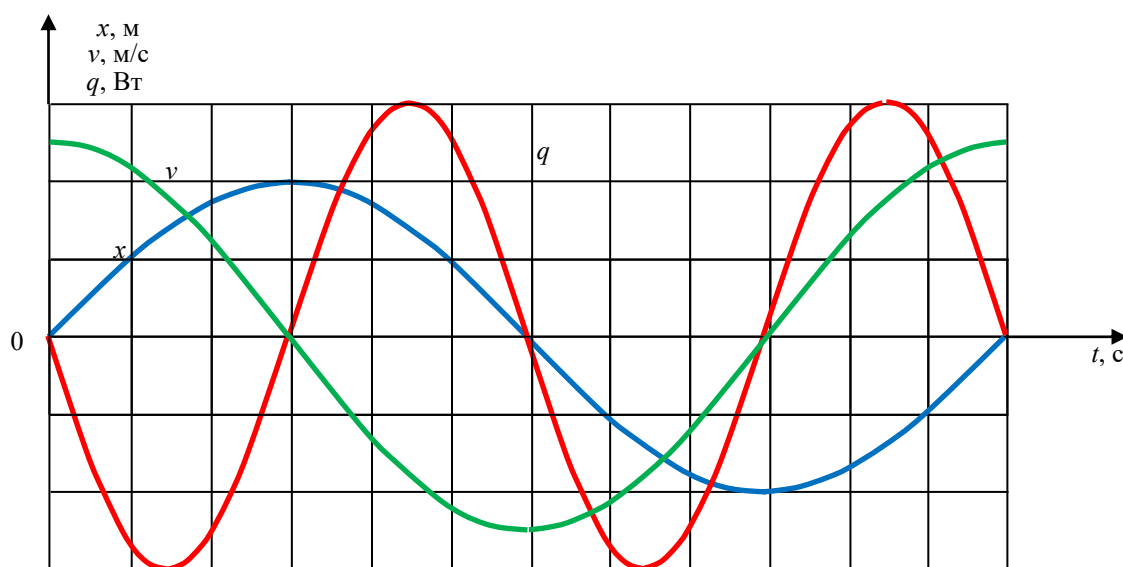
$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2} = \frac{(7,5)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 92 \cdot 2^3 \pi^3 \cdot 8^3}{2} \approx 328 \text{ Вт}.$$

Несмотря на то, что эта мощность не является диссипативной, следует стремиться к ее минимизации.

Буквально в последнее время в связи с разработкой колебательных систем, состоящих из однородных элементов, появилась возможность решения вышеназванной проблемы вплоть до полной нейтрализации механической реактивной инерционной мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.
2. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23–25.
3. Попов И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 10-12.
4. Павлов В.Д. Паразитные вибрации в автоматизированных комплексах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 10-12.
5. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.
6. Павлов В.Д. Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.16-18.
7. Попов И.П. Резонанс сил в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 17-19.
8. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.



Мгновенная инерционная мощность
 x – координата, v – скорость, q – мгновенная инерционная мощность, t – время

REACTIVE MECHANICAL POWER IN MECHATRONIC SYSTEMS

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant, Vladimir, Russia

e-mail: pavlov.val.75@mail.ru

Abstract. To solve the problems related to increasing the energy efficiency of machines and mechanisms, including in mechatronic systems, the working elements of which perform harmonic or almost harmonic oscillations, it is necessary to take into account all the components of their power, including mechanical reactive inertial, which is understood as the derivative of the work performed by the drive to communicate kinetic energy to massive objects. By analogy with electrical reactive power, inertial power should be understood as the amplitude of the instantaneous value. Despite the fact that inertial power is not dissipative, it should be sought to minimize it. Literally recently, in connection with the development of oscillatory systems consisting of homogeneous elements, it has become possible to solve the above problem up to the complete neutralization of mechanical reactive inertial power.

Keywords: massive element, vibrations, inertial power, drive.

REFERENCES

1. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation [Spontannyye uprugoinduktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18-20. (In Russian)
2. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23–25. (In Russian)

3. Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms [O vozmozhnosti avtomatizirovannoy balansirovki vibratsionnykh mekhanizmov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 10-12. (In Russian)

4. Pavlov V.D. Parasitic vibrations in automated complexes [Parazitnyye vibratsii v avtomatizirovannykh kompleksakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 10-12. (In Russian)

5. Pavlov V.D. Vibrator for automated complexes [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatiziro-*

vannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production], 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian)

6. Pavlov, V.D. Conditions of auto-balancing of vibration mechanisms with a constant reduced moment of inertia [Usloviya avtobalansirovki vibratsionnykh mekhanizmov s postoyannym privedennym momentom inertsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 2(30), pp.16-18. (In Russian)

7. Popov I.P. Resonance of forces in mechatronic systems [Rezonans sil v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 17-19. (In Russian)

8. Popov I.P. Concurrent optimization of the productive capacity of screen sorting machines [Poputnaya optimizatsiya proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian)

9. Popov I.P. Minimization of environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian)

Павлов, В.Д. Реактивная механическая мощность в мехатронных системах / В.Д. Павлов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.18-20.

V.D. Pavlov Reactive Mechanical Power In Mechatronic Systems. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.18-20. (In Russian).

УДК 534.014.1

ТРЕХМАССОВЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

В.И. Безденежных

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Аннотация. Отмечено, что осциллятор, в котором свободные синусоидальные колебания сопровождаются трансформацией кинетической энергии инертного элемента в кинетическую же энергию другого инертного элемента, по существу является монореактивным. Недостатком этого осциллятора является его несбалансированность в силу асимметрии конструкции, что может требовать дополнительных виброзащитных мер. Этому недостатку можно избежать, используя симметричную схему с тремя грузами. Доказанные в статье теоремы дают представление о пространственной схеме монореактивного осциллятора с тремя грузами. В монореактивном инертном осцилляторе потенциальная энергия отсутствует. Поэтому полная энергия является исключительно кинетической. Полученные результаты показывают, что в монореактивном осцилляторе с тремя грузами возможно возникновение свободных синусоидальных колебаний грузов, обусловленных взаимным обменом кинетической энергией между ними.

Ключевые слова: несбалансированность, асимметрия, виброзащита, симметричная схема, трехкоординатная система, кинематика.

В классическом механическом осцилляторе свободные синусоидальные колебания обусловлены взаимным преобразованием кинетической энергии в потенциальную.

Известен осциллятор, в котором свободные синусоидальные колебания сопровождаются трансформацией кинетической энергии инертного элемента в кинетическую же энергию другого инертного элемента. Элементы с другим характером реактивности в таком осцилляторе отсутствуют. Такой осциллятор по существу является *монореактивным*, а именно: *m-m* [1-3].

Недостатком этого осциллятора является его несбалансированность в силу асимметрии конструкции, что может требовать дополнительных виброзащитных мер.

Этому недостатку можно избежать, используя симметричную схему с тремя грузами.

Актуальность работы обусловлена тем, что механические колебания широко распространены в разнообразных технологических процессах [4-9].

Для целей настоящей работы удобно использовать плоскую трехкоординатную систему аналогичную трехфазной системе координат, применяемой в электротехнике. Для произвольного вектора $\mathbf{R}$, лежащего в трехкоординатной плоскости Z , начало которого совпадает с началом координат, справедлива

Теорема 1. Координаты x_1 , x_2 , x_3 вектора $\mathbf{R}$ образуют правильный треугольник, размер которого не меняется при произвольном повороте вектора $\mathbf{R}$.

Доказательство. Координаты вектора $\mathbf{R}$ имеют вид:

$$x_1 = R \cos \varphi, \quad (1)$$

$$x_2 = R \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right), \quad (2)$$

$$x_3 = R \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right). \quad (3)$$

где φ – угол между вектором $\mathbf{R}$ и осью Ox_1 .

С учетом теоремы косинусов

$$\begin{aligned} (x_1 x_2)^2 &= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \cos^2 \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) - \right. \\ &\quad \left. - 2 \cos \varphi \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) \cos \frac{\pi}{3} \right] = \\ &= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \left(\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right)^2 - \right. \\ &\quad \left. - 2 \cos \varphi \left(\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) \frac{1}{2} \right] = \\ &= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \frac{1}{4} \cos^2 \varphi + \frac{3}{4} \sin^2 \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi \right] = \frac{3}{4} R^2. \\ (x_1 x_3)^2 &= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \cos^2 \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) - \right. \\ &\quad \left. - 2 \cos \varphi \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) \cos \frac{2\pi}{3} \right] = \\ &= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right)^2 - \right. \\ &\quad \left. - 2 \cos \varphi \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) \left(-\frac{1}{2} \right) \right] = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= R^2 \left[\cos^2 \varphi + \frac{1}{4} \cos^2 \varphi + \frac{3}{4} \sin^2 \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi - \right. \\
&\quad \left. - \frac{1}{2} \cos^2 \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi \right] = \frac{3}{4} R^2. \\
(x_2 x_3)^2 &= R^2 \left[\cos^2 \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) + \cos^2 \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) - \right. \\
&\quad \left. - 2 \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) \cos \frac{\pi}{3} \right] = \\
&= R^2 \left[\left(\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) - \right. \\
&\quad \left. - 2 \left(\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) \left(-\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) \frac{1}{2} \right] = \\
&= R^2 \left[\frac{1}{4} \cos^2 \varphi + \frac{3}{4} \sin^2 \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi + \frac{1}{4} \cos^2 \varphi + \right. \\
&\quad \left. + \frac{3}{4} \sin^2 \varphi - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi \sin \varphi + \frac{1}{4} \cos^2 \varphi - \frac{3}{4} \sin^2 \varphi \right] = \frac{3}{4} R^2.
\end{aligned}$$

Треугольник $x_1 x_2 x_3$ является правильным с фиксированной стороной равной $\frac{3}{4} R^2$.

Теорема доказана.

Теорема 2. Середина вектора $\mathbf{R}$ совмещена с центром треугольника $x_1 x_2 x_3$.

Доказательство. Далее середина вектора $\mathbf{R}$ обозначается r .

С учетом теоремы косинусов

$$(x_1 r)^2 = R^2 \left(\cos^2 \varphi + \frac{1}{4} - 2 \cos \varphi \frac{1}{2} \cos \varphi \right) = \frac{R^2}{4}.$$

$$\begin{aligned}
(x_2 r)^2 &= R^2 \left[\cos^2 \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) + \frac{1}{4} - \right. \\
&\quad \left. - 2 \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) \frac{1}{2} \cos \left(\frac{\pi}{3} - \varphi \right) \right] = \frac{R^2}{4}.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
(x_3 r)^2 &= R^2 \left[\cos^2 \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) + \frac{1}{4} - \right. \\
&\quad \left. - 2 \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) \frac{1}{2} \cos \left(\frac{2\pi}{3} - \varphi \right) \right] = \frac{R^2}{4}.
\end{aligned}$$

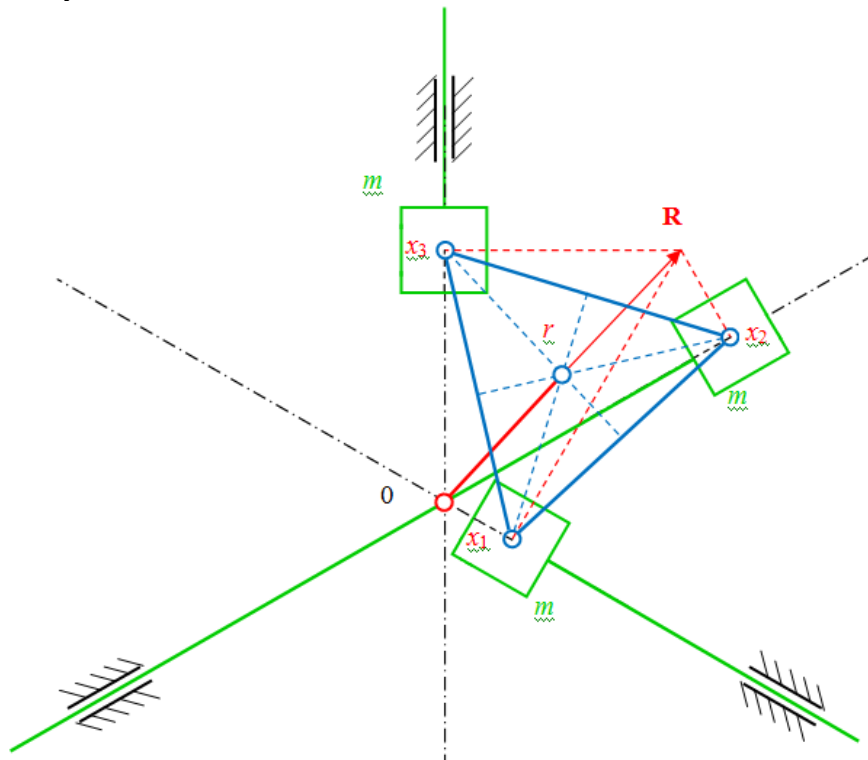
Расстояния от точек x_1 и x_2 до точки r являются одинаковыми. Поэтому точка r лежит на прямой, которая перпендикулярна стороне треугольника $x_1 x_2$ и проходит через ее середину.

То же самое можно сказать про сторону треугольника $x_1 x_3$.

Из этого следует, что точка r относится к высотам треугольника $x_1 x_2 x_3$, а это возможно, только если она совпадает с их пересечением. Пересечение же высот правильного треугольника, которым в соответствии с теоремой 1 является $x_1 x_2 x_3$, совпадает с центром треугольника.

Теорема доказана.

Обе доказанные теоремы дают представление о пространственной схеме монореактивного осциллятора с тремя грузами, представленной на рисунке.



Монореактивный осциллятор с тремя грузами

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.Д. Вибратор для автоматизированных комплексов // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 20-22.
2. Павлов, В.Д. Условия автобалансировки вибрационных механизмов с постоянным приведенным моментом инерции // Автоматизированные технологии и производства. 2024. №2(30). С.16-18.
3. Попов И.П. Минимизация экологического ущерба от вибрационных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 2 (22). С. 32-34.
4. Попов И.П. Спонтанные упруго-индуктивные колебания в технических средствах автоматизации // Автоматизированные технологии и производства. 2019. № 1 (19). С. 18-20.
5. Попов И.П. Инертно-индуктивные колебания в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2022. № 1 (25). С. 23–25.
6. Попов И.П. О возможности автоматизированной балансировки вибрационных механизмов // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 10-12.
7. Павлов В.Д. Паразитные вибрации в автоматизированных комплексах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 10-12.
8. Попов И.П. Резонанс сил в мехатронных системах // Автоматизированные технологии и производства. 2024. № 1 (29). С. 17-19.
9. Попов И.П. Попутная оптимизация производительной мощности решетных сортировальных машин // Автоматизированные технологии и производства. 2020. № 1 (21). С. 19-21.

THREE-MASS OSCILLATOR FOR MECHATRONIC SYSTEMS

V.I. Bezdeneshnykh

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract. It is noted that the oscillator, in which free sinusoidal oscillations are accompanied by the transformation of the kinetic energy of an inert element into the kinetic energy of another inert element, is essentially monoreactive. The disadvantage of this oscillator is its imbalance due to the asymmetry of the structure, which may require additional vibration protection measures. This drawback can be avoided by using a symmetrical scheme with three weights. The theorems proved in the article give an idea of the spatial scheme of a monoreactive oscillator with three weights. There is no potential energy in a monoreactive inert oscillator. Therefore, the total energy is exclusively kinetic. The results obtained show that in a monoreactive oscillator with three weights, the occurrence of free sinusoidal oscillations of the weights due to the mutual exchange of kinetic energy between them is possible.

Keywords: unbalance, asymmetry, vibration protection, symmetrical scheme, three-coordinate system, kinematics.

REFERENCES

1. Pavlov V.D. Vibrator for automated complexes [Vibrator dlya avtomatizirovannykh kompleksov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 20-22. (In Russian)
 2. Pavlov, V.D. Conditions of auto-balancing of vibration mechanisms with a constant reduced moment of inertia [Usloviya avtobalansirovki vibratsionnykh mekhanizmov s postoyannym privedennym momentom inertsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 2(30), pp.16-18. (In Russian)
 3. Popov I.P. Minimization of environmental damage from vibration machines [Minimizatsiya ekologicheskogo ushcherba ot vibratsionnykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 2 (22), pp. 32-34. (In Russian)
 4. Popov I.P. Spontaneous elastic-inductive oscillations in technical means of automation [Spontannyye uprugо-induktivnyye kolebaniya v tekhnicheskikh sredstvakh avtomatizatsii]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2019, no. 1 (19), pp. 18-20. (In Russian)
 5. Popov I.P. Inertial-inductive oscillations in mechatronic systems [Inertno-induktivnyye kolebaniya v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2022, no. 1 (25), pp. 23–25. (In Russian)
 6. Popov I.P. On the possibility of automated balancing of vibration mechanisms [O vozmozhnosti avtomatizirovannoy balansirovki vibratsionnykh mekhanizmov]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 10-12. (In Russian)
 7. Pavlov V.D. Parasitic vibrations in automated complexes [Parazitnyye vibratsii v avtomatizirovannykh kompleksakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 10-12. (In Russian)
 8. Popov I.P. Resonance of forces in mechatronic systems [Rezonsans sil v mekhatronnykh sistemakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2024, no. 1 (29), pp. 17-19. (In Russian)
 9. Popov I.P. Concurrent optimization of the productive capacity of screen sorting machines [Poputnaya optimizatsiya proizvoditel'noy moshchnosti reshetnykh sortiroval'nykh mashin]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2020, no. 1 (21), pp. 19-21. (In Russian)
- Безденежных, В.И. Трехмассовый осциллятор для мехатронных систем / В.И. Безденежных // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.21-23.
- V.I. Bezdeneshnykh Three-Mass Oscillator for Mechatronic Systems. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.21-23. (In Russian).

О ПРОЦЕССЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ЧАСТОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛОГА ЦИКЛОТРОННОГО ДВИЖЕНИЯ

И.П. Попов

Курганский государственный университет, Курган, Россия

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Аннотация. Целью работы является описание механизма обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротора. Установлено, что расстояние от груза до оси вращения, а также линейная скорость груза являются функциями от момента импульса. Если момент импульса увеличится и станет равным $L = aL_0$, то радиус тоже изменится и станет равным $r = C_1(aL_0)^{1/2} = a^{1/2}r_0$, т.е. увеличится в $a^{1/2}$ раз. Линейная скорость тоже изменится и станет равной $v = C_2(aL_0)^{1/2} = a^{1/2}v_0$, т.е. тоже увеличится в $a^{1/2}$ раз. При этом угловая скорость останется такой же, какой была при предыдущем значении момента импульса $L = L_0$. Ключевым условием обеспечения стабилизации вращения является равенство деформации пружин расстоянию от центра масс груза до оси вала.

Ключевые слова: частота вращения, стабилизированный ротор, груз, линейная скорость, момент импульса.

ВВЕДЕНИЕ

Тема стабилизации вращений достаточно актуальна [1-3], в т.ч., для генераторов энергетических установок.

В [4, 5] представлены основы теории стабилизированного ротора – механического аналога циклотронного движения. В частности, установлено, что его собственная частота вращения равна

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1)$$

и замечательным образом совпадает с собственной частотой колебаний маятника с идентичными параметрами m и k .

Целью работы является описание механизма обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротора (изображен на рисунке).

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

При выполнении технологически простого условия равенства деформации пружин Δx расстоянию r от центра масс груза до оси вала

$$r = \Delta x$$

баланс сил приобретает вид:

$$F = \frac{mv^2}{r} = k\Delta x = kr.$$

Или

$$\frac{mv^2}{r} = kr.$$

При этом

$$v^2 = \frac{k}{m} r^2 = \omega^2 r^2.$$

Из этой формулы непосредственно следует выражение (1).

Момент импульса стабилизированного ротора равен

$$L = mvr.$$

Отсюда

$$r = \frac{L}{mv}. \quad (2)$$

При этом

$$v = \omega r. \quad (3)$$

Поэтому (2) приобретает вид:

$$r = \frac{L}{m\omega r}.$$

Отсюда

$$r^2 = \frac{L}{m\omega}.$$

С учетом (1) последнюю формулу можно записать в следующей форме:

$$r^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{m}{k}} = \frac{L}{\sqrt{mk}}.$$

Отсюда

$$r = L^{1/2} (mk)^{-1/4}.$$

$(mk)^{-1/4}$ – величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом $C_1 = (mk)^{-1/4}$.

Таким образом,

$$r = C_1 L^{1/2}. \quad (4)$$

Другими словами, расстояние от груза до оси вращения является функцией от момента импульса.

Из (2) следует

$$v = \frac{L}{mr}. \quad (5)$$

С учетом (3)

$$r = \frac{v}{\omega}.$$

Подстановка последнего выражения в (5) дает

$$v = \frac{L}{m} \frac{\omega}{v}.$$

Отсюда

$$v^2 = \frac{L}{m} \omega.$$

С учетом (1) последняя формула приобретает вид:

$$v^2 = \frac{L}{m} \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Отсюда

$$v = L^{1/2} k^{1/4} m^{-3/4}.$$

$k^{1/4} m^{-3/4}$ – величина неизменяющаяся. Она далее заменяется постоянным коэффициентом $C_2 = k^{1/4} m^{-3/4}$.

Таким образом,

$$v = C_2 L^{1/2}. \quad (6)$$

Другими словами, *линейная скорость груза является функцией от момента импульса.*

Пусть при $L = L_0$ радиус в соответствии с (4) равен $r = C_1 L_0^{1/2} = r_0$, а линейная скорость груза в соответствии с (6) равна $v = C_2 L_0^{1/2} = v_0$.

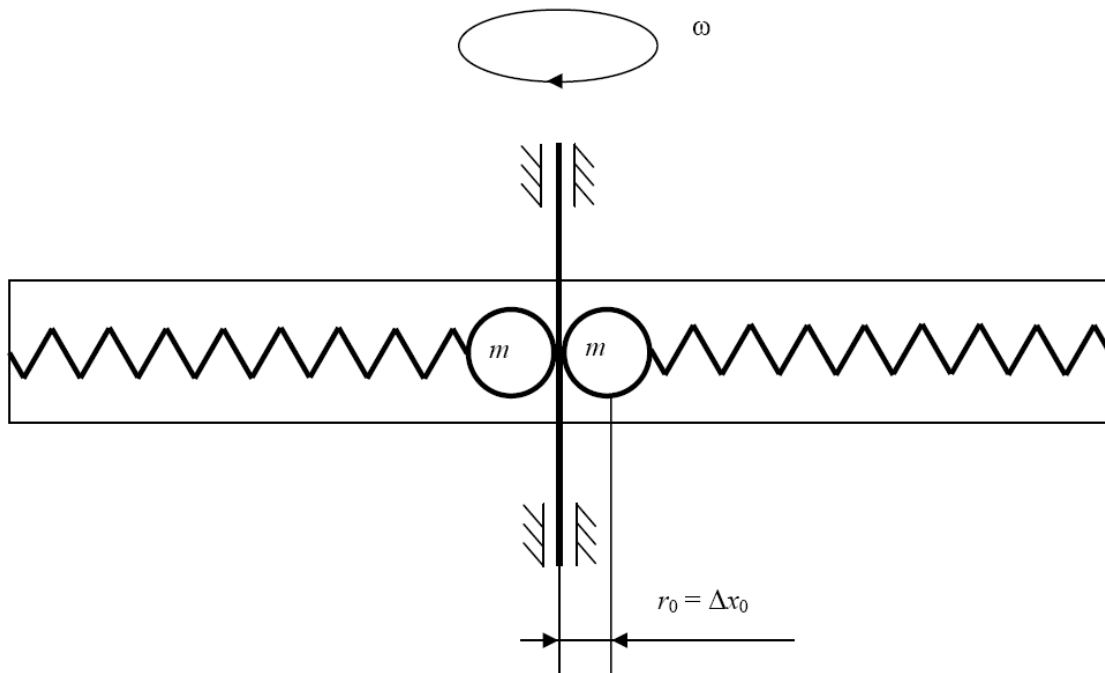
Если момент импульса изменится и станет равным $L = aL_0$, то радиус тоже изменится и станет равным $r = C_1 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} r_0$, т.е. увеличится в $a^{1/2}$ раз.

Линейная скорость тоже изменится и станет равной $v = C_2 (aL_0)^{1/2} = a^{1/2} v_0$, т.е. тоже увеличится в $a^{1/2}$ раз.

При этом угловая скорость

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{a^{1/2} v_0}{a^{1/2} r_0} = \frac{v_0}{r_0} = \omega_0,$$

т.е. останется такой же, какой была при предыдущем значении момента импульса $L = L_0$.



Стабилизированный ротатор – механический аналог циклотронного движения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен механизм обеспечения постоянства частоты вращения стабилизированного ротатора – механического аналога циклотронного движения.

Показано, что угловая скорость ротатора при изменении момента импульса не меняется.

Это обусловлено тем, что при изменении момента импульса в одинаковой мере изменяются радиус ротатора и линейная скорость груза.

Ключевым условием обеспечения стабилизации вращения является равенство деформации пружин расстоянию от центра масс груза до оси вала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов И.П. Математическое моделирование суперпозиции вращений в технологических процессах // Автоматизированные технологии и производства. 2021. № 1 (23). С. 4–7.

2. Попов И.П. Учет амплитудно-частотных особенностей режимов нагрузки синхронной электрической машины в составе автоматизированного привода // Автоматизированные технологии и производства. 2021. № 1 (23). С. 12–15.

3. Попов И.П. Учет мгновенных значений момента синхронной электрической машины при реактивной нагрузке для целей САПР автоматизированного привода // Автоматизированные технологии и производства. 2023. № 1 (27). С. 11–13.

4. Попов И.П. Автостабилизация угловой скорости: кинематика // Автоматизированные технологии и производства. 2023. № 1 (27). С. 27–29.

5. Попов И.П. Автостабилизация угловой скорости: динамика // Автоматизированные технологии и производства. 2023. № 2 (28). С. 13–15.

ON THE PROCESS OF STABILIZING THE FREQUENCY OF A MECHANICAL ANALOGUE OF CYCLOTRON MOTION

I.P. Popov

Kurgan State University, Kurgan, Russia

e-mail: uralakademia@kurganstalmost.ru

Abstract. The aim of the work is to describe the mechanism for ensuring the constancy of the rotation frequency of a stabilized rotator. It was found that the distance from the load to the rotation axis, as well as the linear velocity of the load, are functions of the moment of impulse. If the moment of impulse increases and becomes equal to $L = aL_0$, then the radius will also change and become equal to $r = C_1(aL_0)^{1/2} = a^{1/2}r_0$, i.e. it will increase by $a^{1/2}$ times. The linear velocity will also change and become equal to $v = C_2(aL_0)^{1/2} = a^{1/2}v_0$, i.e. it will also increase by $a^{1/2}$ times. In this case, the angular velocity will remain the same as it was at the previous value of the moment of impulse $L = L_0$. The key condition for ensuring rotation stabilization is the equality of the spring deformation to the distance from the center of mass of the load to the shaft axis

Keywords: rotation frequency, stabilized rotator, load, linear velocity, angular momentum.

REFERENCES

1. Popov I.P. Mathematical modeling of superposition of rotations in technological processes [Matematicheskoye modelirovaniye superpozitsii vrashcheniy v tekhnologicheskikh protsessakh]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2021, no. 1 (23), pp. 4-7. (In Russian)

2. Попов И.П. Учет амплитудно-частотных особенностей режимов нагрузки синхронной электрической машины в составе автоматизированного привода *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2021, no. 1 (23), pp. 12–15. (In Russian)

3. Попов И.П. Учет мгновенных значений момента синхронной электрической машины при реактивной нагрузке для целей САПР автоматизированного привода *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2023, no. 1 (27), pp. 11–13. (In Russian)

4. Попов И.П. Автостабилизация угловой скорости: кинематика *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2023, no. 1 (27), pp. 27–29. (In Russian)

5. Попов И.П. Автостабилизация угловой скорости: динамика *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2023, no. 2 (28), pp. 13–15. (In Russian)

Попов, И.П. О процессе стабилизации частоты механического аналога циклотронного движения / И.П. Попов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.24-26.

I.P. Popov On the Process of Stabilizing the Frequency of A Mechanical Analogue of Cyclotron Motion. *Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production]*, 2025. no.1(31), pp.24-26. (In Russian).

УДК 621.644.6:681.5

УПРАВЛЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГАЗОНАПОЛНИТЕЛЬНОЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИЕЙ

А.Ю. Денисов, И.Г. Самарина

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, Российская Федерация

e-mail: ig.samarina@magtu.ru

Аннотация. В статье рассмотрены факторы, способствующие увеличению числа автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) в связи с активным внедрением природного газа в качестве моторного топлива. Обоснована экологическая, энергетическая и экономическая целесообразность использования сжатого природного газа (СПГ) в автотранспортном секторе. Описана структура и технологические особенности работы АГНКС, включая основные этапы подготовки газа: очистку, компримирование, осушку, аккумуляцию и подачу в газобаллонные установки транспортных средств. Материал содержит обзор технического оснащения и автоматизированных систем управления станциями.

Ключевые слова: АГНКС, природный газ, газомоторное топливо, компрессорная станция, экологическая безопасность, энергоэффективность, автоматизация, давление

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение числа автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) обусловлено применением природного газа в качестве топлива для автомобилей. Это оправдано по трём ключевым причинам: его экологическая чистота, устойчивое энергоснабжение и экономичность. На транспортный сектор приходится более 70% всех выбросов вредных веществ в атмосферу городов и промышленных районов. Использование природного газа позволяет снизить уровень загрязнения, количество токсичных компонентов в выхлопах снижается в 4–5 раз. При этом дизельные двигатели выбрасывают значительно меньше сажи, а использование газа полностью устраняет выбросы свинца, характерные для автомобилей, ранее работавших на этилированном бензине [1].

Объёмы мировых запасов природного газа существенно превышают запасы нефти, что делает его важным стратегическим ресурсом в контексте перехода к более устойчивой энергетике [2]. По данным «Газпрома», разведанные запасы природного газа на территории РФ позволяют сохранить текущий уровень добычи как минимум на 200 лет [3].

С точки зрения топливной эффективности, природный газ представляет собой экономически выгодную альтернативу традиционным нефтепродуктам: один кубический метр газа по энергетической ценности эквивалентен одному литру бензина, при этом его стоимость в среднем в два раза ниже [4].

Тем не менее, в течение последнего десятилетия в топливно-энергетическом комплексе России наблюдаются негативные структурные изменения, особенно в сегменте добычи и переработки жидких углеводородов, что привело к их

существенному снижению [5]. В этих условиях использование сжатого природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива приобретает стратегическую значимость и рассматривается как одно из приоритетных направлений развития энергетического сектора РФ в средне- и долгосрочной перспективе [4].

ПРОЦЕСС ПОДГОТОВКИ ГАЗА НА АГНКС

АГНКС состоит из технологических линий (оборудование для очистки, компримирования, осушки, аккумуляции, редуцирования давления и заправки сжатого газа в автомобили) и системного комплекса (оборудование и приборы для автоматического контроля и регулирования работы станции, распределения электроэнергии, отопления и вентиляции помещений станции, а также для систем противопожарного и хоз. производственного водоснабжения), часть оборудования представлено на рисунке 1.

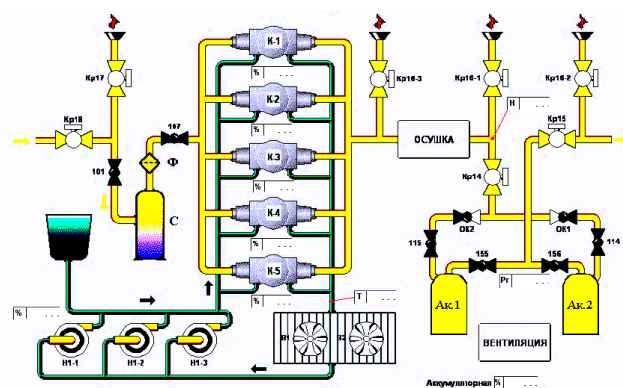


Рис. 1. Оборудование АГНКС

Природный газ из внешних газопроводов под давлением 6 – 12 кг/см² поступает на АГНКС через входную электроздвижку, первичный сепаратор и сетчатый фильтр, где происходит его очистка от механических примесей и капельной влаги, подается на всас компрессорной установки (в работе рассматривается

2ГМ4-1,3/12-250). На всасывающем газопроводе каждой компрессорной установки некоторых АГНКС есть дополнительный фильтр. На рисунке 3 приведена компрессорная установка и на рисунке 2 [6] ее функциональная схема автоматизации [7].

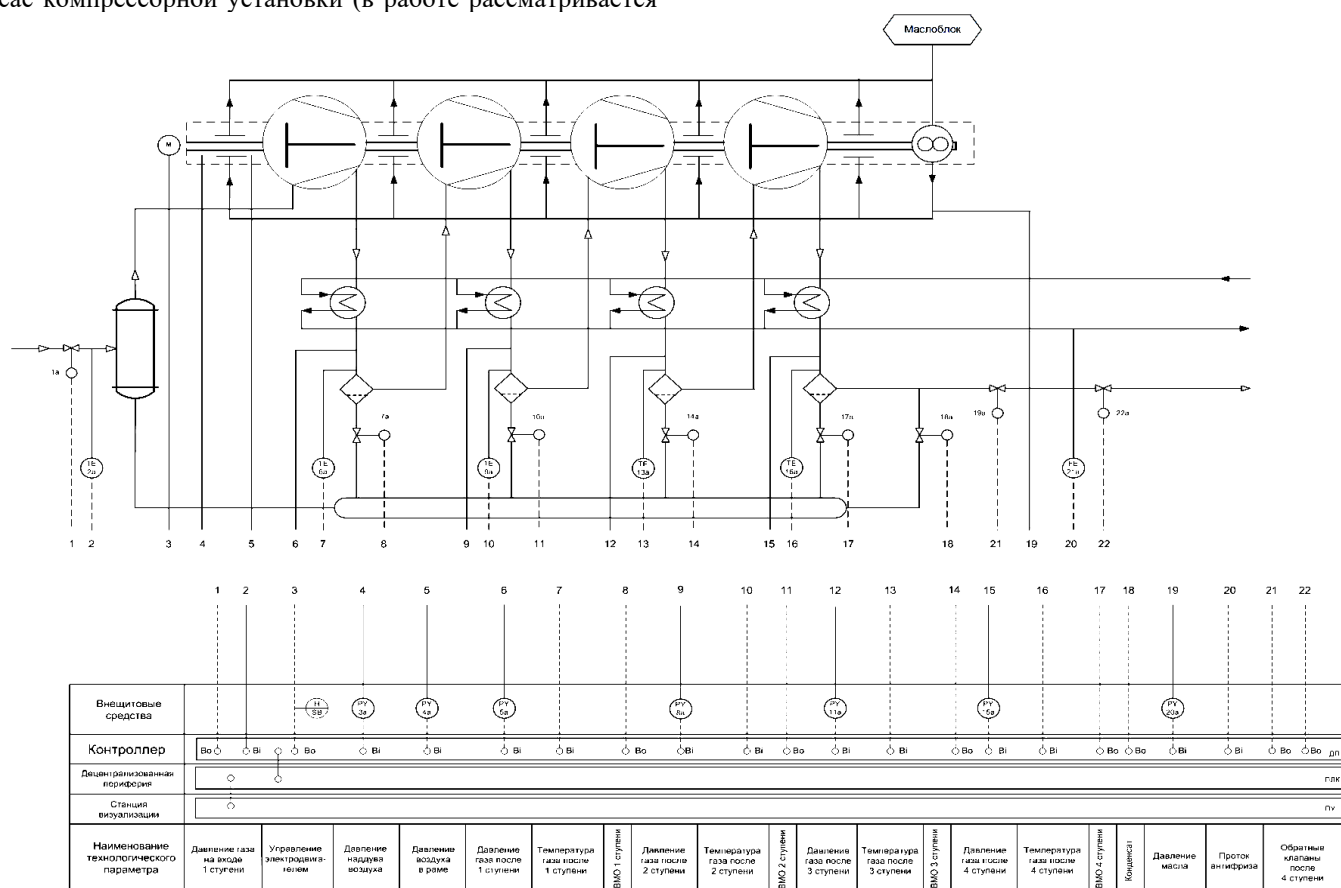


Рис. 2. Схема автоматизации компрессорной установки [10]

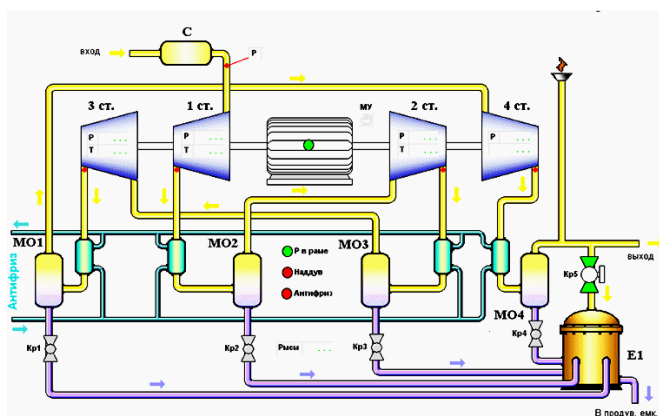


Рис. 3. Компрессорная установка 2ГМ4-1,3/12-250 завода «Борец»

Компрессор относится к типу поршневых крейцкопфных машин. Он имеет оппозитное расположение цилиндров, при котором силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс направлены в противоположные стороны, благодаря чему достигается хорошая уравновешенность инерционных сил.

Охлаждение компрессорных агрегатов осуществляется посредством теплоносителя (антифриза или тосола), циркулирующего в замкнутой системе. Нагретый в процессе работы компрессора теплоноситель подается в воздушные охладители, где происходит его охлаждение, после чего насосом он вновь направляется на охлаждение компрессорного оборудования.

Удаление конденсата из влаго-маслоотделителей (сепараторов), а также продувка компрессорной установки осуществляется вручную при помощи запорной арматуры один раз за рабочую смену в приемную ёмкость.

Сжатый до давления 24,5 МПа при температуре 40 °С природный газ поступает на установку осушки типа АДМ-4,0 (изображение блока осушки представлено на рисунке 4), основными элементами которой являются два адсорбера, функционирующих попеременно: один – в режиме осушки, второй – в режиме регенерации. В качестве сорбционного материала применяется цеолит. При повышении точки росы осушенного газа до –30 °С (указывает на насыщение адсорбента влагой), осуществляется автоматическое переключение рабочих режимов адсорберов. Адсорбер, выведенный из режима осушки, переходит в режим регенерации [6].

Регенерация цеолитового адсорбента осуществляется с использованием осушенного природного газа, предварительно нагретого в электроподогревателях до температуры 320–340 °С. Газ отбирается после выхода из рабочих адсорберов и подаётся на регенерацию. При прохождении через слой насыщенного влагой адсорбента нагретый газ испаряет влагу, при этом постепенно охлаждаясь. Процесс регенерации продолжается до тех пор, пока температура газа на выходе из адсорбера не достигнет 200 °С, что свидетельствует о завершении процесса десорбции влаги. Далее электроподогреватели отключаются, и начинается этап охлаждения цеолита. Как только температура газа после адсорбера снижается до 45 °С, регенерационный цикл считается завершённым [9].

- система всаса теплоносителя компрессорных агрегатов;
- система компримирования природного газа;
- модуль осушки газа;
- аккумуляция и хранение сжатого газа;
- система заправки автомобилей сжатым природным газом [10].

Следует подчеркнуть, что внедрение метановых автомобильных газонаполнительных компрессорных станций

10. Николаев В.В. Способ регенерации цеолитового адсорбента при осушке природного газа // Патент России № 2159663 С2. 2000. Бюл. №33. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2159663C2> (дата обращения: 01.07.2025)

AUTOMATED CONTROL OF A COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) REFUELING COMPRESSOR STATION

A.Yu. Denisov, I.G. Samarina

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. The article examines the factors contributing to the growing number of automotive compressed natural gas refueling stations (CNG stations) due to the increasing adoption of natural gas as a motor fuel. The ecological, energy-related, and economic advantages of using compressed natural gas (CNG) in the transportation sector are substantiated. The structure and technological features of CNG stations are described, including the main stages of gas processing: purification, compression, drying, storage, and delivery to vehicle gas cylinder systems. The material provides an overview of the technical equipment and automated control systems used at the stations.

Keywords: NG refueling station, natural gas, gaseous motor fuel, compressor station, environmental safety, energy efficiency, automation, pressure.

REFERENCES

1. Korshak A.A., Shammaazov A.M. Osnovy nefte-gazovogo dela: uchebnik dlya vuzov [Fundamentals of Oil and Gas Industry: textbook for universities], 3rd ed., rev. and add. – Ufa: DizaynPoligrafServis, 2005, 528 p. (In Russian)
2. International Energy Agency. World Energy Outlook 2023. – URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023> (accessed: 01 July 2025)
3. PJSC Gazprom. Energeticheskiy obzor. Dobycha i zapasy gaza, 2023 [Energy Review. Gas Production and Reserves, 2023]. – URL: <https://www.gazprom.ru> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)
4. Ministry of Energy of the Russian Federation. Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu razvitiya energosistem: prilozhenie 6 / Prikaz Minenergo Rossii ot 06.12.2022 № 1286 [Methodical guidelines for energy system development design: Appendix 6 / Order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 1286 dated 06.12.2022]. – URL: <https://base.garant.ru/406065165> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)
5. Rudachenko A.V., Chukhareva N.V., Zhilin A.V. Proektirovaniye i ekspluatatsiya gazonefteprovodov: ucheb. posobie [Design and Operation of Oil and Gas Pipelines: study guide]. – Tomsk: TPU Publ., 2008, 238 p. (In Russian)
6. Government of the Russian Federation. Energeticheskaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2050 goda: Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 12.04.2025 № 908-r [Energy Strategy of the Russian Federation until 2050: Order of the Government of the Russian Federation No. 908-r dated 12.04.2025]. – URL: <https://base.garant.ru/411866542> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)
7. Andreev S.M., Muhina E.YU., Samarina I.G., Suhonova T.G. *Trebovaniya po vypolneniyu kursovykh proektov (rabot) po obrazovatel'noy programme «Sistemy i sredstva avtomatizatsii tekhnologicheskikh processov»: Elektronnyy obrazovatel'nyy resurs* [Requirements for the Completion of Course Projects (Works) under the Educational Program "Systems and Means of Automation of Technological Processes": Electronic Educational Resource], Magnitogorsk, Magnitogorsk State Technical University. G.I. Nosova, 2023, 115 p. (In Russian)
8. Tekhnicheskoe zadanie: "Tekhnologicheskaya liniya AGNKS – kompleks oborudovaniya, neobkhodimogo dlya ochistki, osushki, akkumulirovaniya, reduktirovaniya davleniya i zapravki komprimirovannogo prirodnogo gaza v transportnye sredstva" [Technical Specification: "CNG Station Technological Line – a set of equipment for gas purification, drying, accumulation, pressure reduction and refueling of vehicles with compressed natural gas"]. – URL: <https://gmt.gazprom.ru/d/tender/45/837/tekhnicheskoe-zadanie-zakupka-2258.pdf> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)
9. DOAO "Orgenergogaz", OOO "VNIIGAZ" et al. Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobil'nykh gazonapolnitel'nykh kompressornykh stantsiy (AGNKS) [Technical Operation Rules for CNG Compressor Filling Stations]. – URL: <https://gmt.gazprom.ru/d/tender/45/837/tekhnicheskoe-zadanie-zakupka-2258.pdf> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)
10. Nikolaev V.V. Sposob regeneratsii tseolitovogo adsorbenta pri osushke prirodnogo gaza [Method of zeolite adsorbent regeneration during natural gas dehydration] // Patent Rossii № 2159663 C2, 2000. Byul. № 33. – URL: <https://patents.google.com/patent/RU2159663C2> (accessed: 01 July 2025) (In Russian)

Денисов, А.Ю. Управление автоматической газонаполнительной компрессорной станцией / А.Ю. Денисов, И.Г. Самарина // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.27-30.

A.Yu. Denisov, I.G. Samarina Automated Control of a Compressed Natural Gas (Cng) Refueling Compressor Station. Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production], 2025. no.1(31), pp.27-30. (In Russian).

УДК 331.548

ИТОГИ МНОГОПРОФИЛЬНОЙ ОЛИМПИАДЫ ШКОЛЬНИКОВ «ПУТЬ К УСПЕХУ» СЕКЦИЯ «АВТОМАТИКА» 2025

Т.Г. Сухоносова, А.А. Ракитина

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова»,
Магнитогорск, РФ

rakitinanasta26@gmail.com

Аннотация. На кафедре автоматизированных систем управления института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» в феврале 2025 года была проведена Многопрофильная олимпиада школьников «Путь к успеху» секции «Автоматика». В олимпиаде приняли участие 122 учащихся 10–11 классов и студентов колледжей из Магнитогорска, Челябинска, Москвы, Санкт-Петербурга и других регионов России. Соревнования включали отборочный онлайн-тур и очный заключительный этап с практическими заданиями по автоматике. По итогам олимпиады определены победители и призеры, показавшие наивысшие результаты в решении комплексных задач.

Ключевые слова: многопрофильная олимпиада, профориентация, автоматика, путь к успеху.

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г. И. Носова подвели итоги Многопрофильной олимпиады «Путь к успеху» по направлению «Автоматика» [1].

В 2024–2025 учебном году кафедра автоматизированных систем управления организовала олимпиаду для школьников и студентов колледжей. Автоматика тесно связана с такими школьными предметами как математика, физика, информатика. Поэтому школьники 10–11 классов, увлеченные точными науками, наравне со студентами колледжа выполняли олимпиадные задания. Соревнования проходили в два этапа: отборочный тур в онлайн-формате и очный заключительный этап на базе университета.

География участников оказалась впечатляющей: 122 учащихся из Магнитогорска, Челябинска, Москвы, Санкт-Петербурга, Пензы, Ухты, Республики Башкортостан и Адыгея проверили свои знания в области автоматике. Отборочный этап включал 10 тестовых заданий разного уровня сложности, которые необходимо было решить за 30 минут. Лучшие участники получили право выступить в финале.

13 февраля 2025 года в аудиториях главного корпуса МГТУ им. Г.И. Носова прошел заключительный тур, в котором приняли участие 17 финалистов. Им предстояло выполнить 5 комплексных заданий, включая практические задачи по программированию, расчету параметров систем автоматике и анализу измерительных преобразователей.

Экспертная комиссия, в состав которой вошли представители кафедры автоматизированных систем управления [2] и партнера — компании АО «Консом СКС», оце-

нивала не только теоретические знания, но и умение применять их на практике.

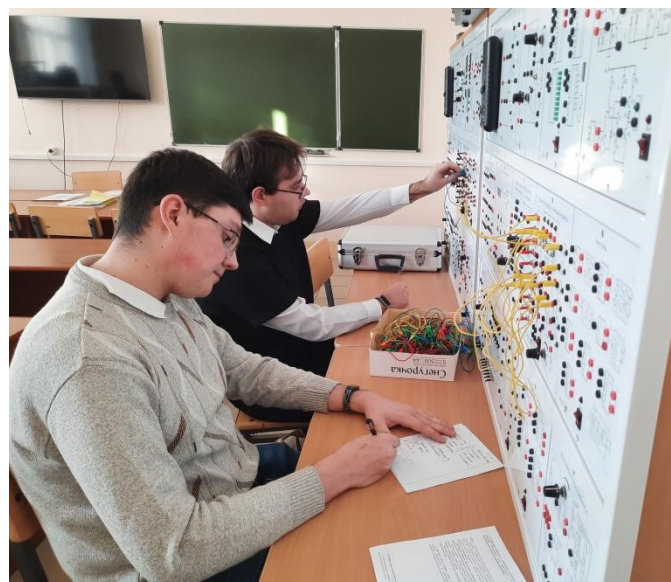


Рис. 1. Выполнение практической части заданий заключительного этапа Универсиады

Абсолютным победителем олимпиады стал Козюков Василий, студент 4 курса Политехнического колледжа, набравший 30,2 балла из 46 возможных. Второе место занял Пономарев Кирилл, учащийся 3 курса Многопрофильного колледжа (МПК), с результатом 26,6 балла. Третье место разделили Новикова Екатерина, студентка 3

курса МПК (23,9 балла), и Маряшин Максим, выпускник МПК (23,15 балла).



Рис. 2. Победитель Олимпиады Козюков Василий

Олимпиада «Путь к успеху» подтвердила высокий уровень подготовки учащихся и открыла новые имена талантливых студентов.

Изучать автоматику и другие технические дисциплины по профилю «Системы и средства автоматизации технологических процессов» возможно поступив на направление подготовки бакалавриата 27.03.04 «Управление в технических системах» [3].

Литература

- 1 Олимпиада Путь к успеху МГТУ им. Г.И. Носова. – URL: <http://molimp.ru> (дата обращения 01.06.2025).
2. Страница кафедры АСУ в контакте. – URL: https://vk.ru/magtu_asu (дата обращения 01.06.2025).
- 3 Сайт МГТУ им. Г.И. Носова. – URL: <https://abit.magtu.ru/27-03-04-upravlenie-v-tehnicheskikh-sistemah> (дата обращения 01.06.2025).

RESULTS OF THE MULTIDISCIPLINARY SCHOOLCHILDREN'S OLYMPIAD «WAY TO SUCCESS» SECTION «AUTOMATICS» 2025

T.G. Sukhonosova, A.A. Rakitina

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract. In February 2025, the Department of Automated Control Systems of the Institute of Energy and Automated Systems of the Nosov Magnitogorsk State Technical University hosted the multidisciplinary school Olympiad «Way to Success» in the section «Automatics». The competition involved 122 participants, including 10th-11th grade students and college attendees from Magnitogorsk, Chelyabinsk, Moscow, Saint Petersburg and other Russian regions. The event consisted of an online qualifying round and an in-person final stage featuring practical automation tasks. The Olympiad results identified winners and prize recipients who demonstrated outstanding performance in solving complex technical problems.

Keywords: multidisciplinary olympiad, career guidance, automatics, way to success.

REFERENCES

1. «Way to Success» Olympiad at Nosov Magnitogorsk State Technical University. - URL: <http://molimp.ru> (accessed 01.06.2025).
2. Department of Automated Control Systems page on VK. - URL: https://vk.ru/magtu_asu (accessed 01.06.2025).
3. Nosov Magnitogorsk State Technical University. - URL: <https://abit.magtu.ru/27-03-04-upravlenie-v-tehnicheskikh-sistemah> (accessed 01.06.2025).

Сухонослова, Т.Г. Итоги многопрофильной олимпиады школьников «Путь к успеху» секция «Автоматика» 2025 / Т.Г. Сухонослова, А.А. Ракитина // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.31-32.

T.G. Sukhonosova, A.A. Rakitina Results of the Multidisciplinary Schoolchildren's Olympiad «Way to Success» Section «Automatics» 2025. Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva [Automated technologies and production], 2025. no.1(31), pp.31-32. (In Russian).

ИТОГИ УНИВЕРСИАДЫ «ПУТЬ К УСПЕХУ» СЕКЦИИ «МЕТРОЛОГИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ» 2025 ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 27.03.04 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Т.Г. Сухоносова, С.А. Емельянов

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова»,
Магнитогорск, РФ

tgobuhova@gmail.com

Аннотация. На кафедре автоматизированных систем управления института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова» весной 2025 года прошла Универсиада «Путь к успеху» по направлению «Управление в технических системах. Метрология и средства измерения». Участие в Универсиаде приняли более 110 студентов из разных регионов России.

Ключевые слова: универсиада, метрология, измерения, управление в технических системах, путь к успеху.

В Магнитогорском государственном техническом университете им. Г.И. Носова на кафедре автоматизированных систем управления состоялась четвёртая Всероссийская Универсиада «Путь к успеху» в секции «Метрология и средства измерения» по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах профиль: системы и средства автоматизации технологических процессов».

Универсиада проходила с декабря 2024 по март 2025 года и состоял из двух этапов. Первый этап был отборочным и проходил в дистанционном формате. Участникам предлагалось ответить на вопросы и решить задачи. За 50 минут необходимо было дать ответы на 20 вопросов, касающихся рабочих инструментов и стандартов, единиц измерения, методов измерения, видов погрешностей, аналоговых и цифровых инструментов измерения. Также требовалось рассчитать погрешность измерения или определить класс точности прибора.



Рис. 1. Выполнение практической части заданий заключительного этапа Универсиады

Второй заключительный этап проходил в очном формате в лаборатории кафедры АСУ 19 марта 2025 года и содержал теоретические и практические задания. В практическом задании этапа необходимо было провести поверку

прибора, выполнить расчеты, заполнить соответствующие документы и построить графики.

Комплект заданий для Универсиады был подготовлен коллективом преподавателей кафедры автоматизированных систем управления (АСУ) под руководством заведующего кафедрой Сергея Михайловича Андреева.

Работы участников заключительного этапа оценивали члены жюри: д.т.н., доцент, заведующий кафедрой АСУ Сергей Михайлович Андреев, руководитель проектов проектного офиса АО «Консом СКС» Александр Сергеевич Прасолов и старший преподаватель кафедры АСУ Самарина Ирина Геннадьевна.



Рис. 2. Выполнение теоретической части заданий заключительного этапа Универсиады

Общее количество участников Универсиады составило 112 обучающихся в вузах и выпускников прошлых лет, в том числе студентов, проживающих в других городах и регионах России, среди которых Москва, Санкт-Петербург, а также города и села Челябинской области и Республики

Башкортостан.

Победителем Универсиады стала выпускница МГТУ Платонова Анна. Второе место получил студент третьего курса Поляков Данил из гр. АНб-22-1. Третье призовое место разделили студенты второго и третьего курса Антипанов Никита из гр. АТСб-23-1 и Валиуллин Тимур из гр. АНб-22-1.



Рис. 3. Заведующий кафедры АСУ Андреев С.М. и призер Универсиады Поляков Данил

Победителю и призерам Универсиады вручены почетные дипломы и сувениры, а также предоставлены дополнительные баллы при поступлении в магистратуру МГТУ им.

Г.И. Носова по профилю 27.04.04 «Цифровые системы управления технологическими комплексами» <https://abit.magtu.ru/27-04-04-upravlenie-v-tehnicheskikh-sistemah>.



Рис. 4. Андреев С.М. и призер Универсиады Валиуллин Тимур

Подробная информация о прошедших Универсиадах размещена на официальном сайте Универсиады «Путь к успеху» <http://univer.magtu.ru>, а также странице кафедры автоматизированных систем управления https://vk.ru/magtu_asu.

RESULTS OF THE UNIVERSIADE «WAY TO SUCCESS» IN METROLOGY AND MEASURING MEANS IN THE DIRECTION «CONTROL IN TECHNICAL SYSTEMS» 2025

T.G. Sukhonosova, S.A. Emelyanov

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

Abstract. At the Department of Automated Control Systems of the Institute of Energy and Automated Systems of the Nosov Magnitogorsk State Technical University in the spring of the Universiade 2025 «Way to Success» was held in the direction «Control in technical systems. Metrology and measuring means». More than 110 students from different regions of Russia participated in the Universiade.

Keywords: universiade, metrology, measuring, control in technical systems, way to success.

Сухоносова, Т.Г. Итоги универсиады «Путь к успеху» секции «Метрология и средства измерения» 2025 по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» / Т.Г. Сухоносова, С.А. Емельянов // Автоматизированные технологии и производства. 2025. №1(31). С.33-34.

T.G. Sukhonosova, S.A. Emelyanov Results Of The Universiade «Way to Success» In Metrology and Measuring Means in the Direction «Control in Technical Systems» 2025. *Avtomatizirovannye tekhnologii i proizvodstva* [Automated technologies and production], 2025. no.1(31), pp.33-34. (In Russian).