

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

№1(21)
2023

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

Выходит 4 раза в год

ISSN 2658-4727

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО- ПРИБОРОСТРОЕНИИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Севастополь, 2023

Главный редактор

Копп В.Я., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Заместитель главного редактора

Филипович О.В., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Научный редактор

Бохонский А.И., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Ответственный секретарь

Балакин А.И., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Редакционная коллегия

Вартанов М.В., д.т.н., проф.

(г. Москва)

Греков Н.А., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Доронина Ю.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Жмудь В.А., д.т.н., проф.,

(г. Новосибирск)

Краснодубец Л.А., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Моисеев Д.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Пашков Е.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Песчанский А.И., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Петрешин Д.И., д.т.н., проф.

(г. Брянск)

Прейс В.В., д.т.н., проф.

(г. Тула)

Щенятский А.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Заморёнов М.В., к.т.н., доц

(г. Севастополь)

Майстришин М.М., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Рапацкий Ю.Л., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

- Карлов А.Г., Бочаров И.В.** Обоснование и моделирование параметров точности позиционирования трехкоординатного манипулятора автоматизированного комплекса установки резьбовых заклёпок при сборке шкафов серии «Эталон» 3
- Бохонский А.И., Головин В.И., Рыжков А.И.** Изгибно-крутильные колебания нежесткой заготовки при автоматизированной токарной обработке 19
- Чаленков Н.И., Невар Г.В.** Моделирование манипулятора типа SCARA в Matlab/Simulink при использовании библиотек Simscape 27

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

- Варминская Н.И.** Стабилизация жесткости руки упругого манипулятора при изменении ее геометрических параметров 33
- Балакин И.А., Балакина Н.А.** Имитационная модель гибкой автоматизированной линии с повторным обслуживанием по результатам контроля 43
- Мурашковский И.А., Вожжов А.А.** Исследование влияния настройки элементов пневмоподвески на колебания составных элементов транспортного средства 55
- Филипович О.В., Филипович В.О.** Решение задачи селективной сборки двух элементов с мультипликативной моделью «вход-выход» с использованием аппроксимации 61
- Заморёнов М.В., Мирзоян Н.Ю., Заморёнов И.М.** Имитационная модель в AnyLogic структуры «накопитель – технологическая ячейка – накопитель» 70

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

- Балакина Н.А., Балакин И.А.** Исследование влияния точности изготовления измерительной руки на погрешность координатных измерений 78

**ОБОСНОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ТРЕХООРДИНАТНОГО МАНИПУЛЯТОРА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ РЕЗЬБОВЫХ ЗАКЛЁПОК ПРИ СБОРКЕ
ШКАФОВ СЕРИИ «ЭТАЛОН»**

Карлов А.Г., Бочаров И.В.

Аннотация. Представлен анализ особенностей автоматизации технологических процессов установки резьбовых заклепок в деталь-заготовку, являющейся основанием комплектно распределительного устройства серии «Эталон». Приведены результаты исследования и моделирования электромеханического привода при двухскоростном управлении с обратной связью по скорости. Проведен анализ механических характеристик резьбовых заклепок, обоснованы параметры автоматизированного процесса сборки таких заклёпок. Результаты расчётов и моделирования позволили оценить границы роста производительности автоматизированного комплекса сборки по сравнению с базовым проектом.

Ключевые слова. Автоматизация сборочных операций; резьбовая заклепка; электромеханическая система; пневматический заклёпочник; точность позиционирования; резьбовая (гаечная) заклепка.

*Карлов Антон Георгиевич, к.т.н., доцент, antkar38cam@gmail.com, Россия, Севастополь
Севастопольский государственный университет*

*Бочаров Игорь Валерьевич, магистрант, igor55.1234@yandex.ru, Россия, Севастополь,
Севастопольский государственный университет*

**SUBSTANTIATION AND MODELING OF THE PARAMETERS OF THE POSITIONING ACCURACY
OF THE THREE-COORDINATE MANIPULATOR OF THE AUTOMATED INSTALLATION COMPLEX OF
THREADED RIVETS DURING THE ASSEMBLY OF CABINETS OF THE ETALON SERIES**

A.G. Karlov, I.V. Bocharov

The analysis of features of automation of technological processes of installation of threaded rivets in the workpiece, which is the basis of a complete switchgear of the Etalon series, is presented. The results of the study and simulation of an electromechanical drive with two-speed control with speed feedback are presented. The analysis of the mechanical characteristics of threaded rivets is carried out, the parameters of the automated process of assembling such rivets are substantiated. The results of calculations and modeling allowed us to estimate the limits of productivity growth of the automated assembly complex in comparison with the basic project.

Keywords: automation of assembly operations; threaded rivet; electromechanical system; pneumatic riveter; positioning accuracy; threaded (wrench) rivet.

Karlov Anton Georgievich, candidate of technical sciences, docent, antkar38cam@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state university

Bocharov Igor Valeryevich, master, igor55.1234@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol state university

ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ НЕЖЕСТКОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Бохонский А.И., Головин В.И., Рыжков А.И.

Аннотация. Рассмотрены изгибно-крутильные колебания вала конечной изгибной и крутильной жесткости как системы с двумя степенями свободы с приведенной массой к сечению посередине заготовки. Предполагается, что колебания в данной упрощенной модели обусловлены некоторым несовпадением центра жесткости с центром масс вала. Дифференциальные уравнения движения составлены с использованием уравнений Лагранжа второго рода. На численном примере показано, что амплитуды вынужденных крутильных колебаний существенно зависят от угловой скорости вращения заготовки. Предложенная модель может найти применение в технических решениях практического подавления колебаний нежестких заготовок.

Ключевые слова. Нежесткая заготовка, токарная обработка, изгибные колебания, частоты собственных колебаний, линейные и угловые перемещения.

Бохонский Александр Иванович, д.т.н., профессор, bohon.alex@mail.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

Головин Василий Игоревич, к.т.н., доцент, директор Политехнического института, golovin@sevsu.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

Рыжков Александр Игоревич, старший преподаватель, airyzhkov@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

BENDING-TORSIONAL VIBRATIONS OF A FLEXIBLE BLANK FOR AUTOMATED TURNING

A.I. Bokhonsky, V.I. Golovin, A.I. Ryzhkov

Bending-torsional vibrations of a shaft of finite bending and torsional rigidity are considered as a system with two degrees of freedom with a reduced mass to the section in the middle of the workpiece. It is assumed that oscillations in this simplified model are due to some mismatch between the center of rigidity and the center of mass of the shaft. The differential equations of motion are composed using the Lagrange equations of the second kind. A numerical example shows that the amplitudes of forced torsional vibrations depend significantly on the angular velocity of the workpiece rotation. The proposed model can be used in technical solutions for the practical suppression of vibrations of non-rigid workpieces.

Keywords: non-rigid workpiece, turning, bending vibrations, natural vibration frequencies, linear and angular displacements.

Bokhonsky Aleksandr Ivanovich, doctor of technical sciences, professor, bohon.alex@mail.ru, Russia, Sevastopol State University

Golovin Vasily Igorevich, candidate of technical sciences, docent, Director of the Polytechnic Institute, golovin@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

Ryzhkov Aleksandr Igorevich, senior lecturer, airyzhkov@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯТОРА ТИПА SCARA В MATLAB/SIMULINK ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИБЛИОТЕК SIMSCAPE

Чаленков Н.И., Невар Г.В.

Аннотация. Рассматривается построение модели функционирования манипулятора типа SCARA в среде MATLAB/SIMULINK при использовании библиотек Simscape. Приводятся этапы построения и описываются основные элементы, используемые для создания модели. Разработанная модель позволяет определить траекторию движения рабочего органа модуля при известных геометрических, механических и электрических характеристиках его элементов. Приводятся результаты моделирования.

Ключевые слова. Манипулятор, SCARA-кинематика, модель движения, MATLAB/SIMULINK, Simscape.

Чаленков Никита Игоревич, ассистент, NICHalnikov@sevsu.ru, Севастополь, Россия, Севастопольский государственный университет

Невар Галина Валерьевна, ассистент, GVNevar@sevsu.ru, Севастополь, Россия, Севастопольский государственный университет

SIMULATION OF A SCARA MANIPULATOR IN MATLAB/SIMULINK USING SIMSCAPE LIBRARIES

N.I. Chalenkov, G.V. Nevar

The construction of a functioning model of a SCARA type manipulator in the MATLAB/SIMULINK environment using the Simscape libraries is considered. The construction steps are given and the main elements used to create the model are described. The developed model makes it possible to determine the trajectory of the movement of the working body of the module with known geometric, mechanical and electrical characteristics of its elements. The simulation results are presented.

Keywords: manipulator, SCARA kinematics, motion model, MATLAB/SIMULINK, Simscape.

Chalenkov Nikita Igorevich, assistant, NICHalnikov@sevsu.ru, Sevastopol, Russia, Sevastopol State University

Nevar Galina Valerievna, assistant, GVNevar@sevsu.ru, Sevastopol, Russia, Sevastopol State University

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЖЕСТКОСТИ РУКИ УПРУГОГО МАНИПУЛЯТОРА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Варминская Н.И.

Аннотация. *Использованы оптимальные кососимметричные управления поступательным или вращательным движением телескопического манипулятора конечной жесткости, обеспечивающие абсолютный или относительный покой схвата манипулятора в конечной точке позиционирования; предполагается постоянство частот собственных колебаний руки. Изменение длины руки в процессе работы манипулятора влечет за собой изменение собственных частот колебаний, что может отрицательно отразиться на производительности и точности позиционирования. Предложен способ стабилизации жесткости телескопической руки, основанный на выдвигении элемента руки, согласованном с изменением ее длины в процессе выполнения рабочих операций, позволяющий соблюдать постоянство частоты основного тона.*

Ключевые слова. *Телескопический манипулятор, рука конечной жесткости, управление движением, частота собственных колебаний, прогиб, определение деформаций, метод Мора, стабилизация жесткости руки манипулятора.*

Варминская Наталья Ивановна, к.т.н., доцент, nvarminska@gmail.com, Россия, Севастополь, Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С. Нахимова

STABILIZATION OF THE RIGIDITY OF THE ELASTIC MANIPULATOR WHEN ITS GEOMETRIC PARAMETERS ARE CHANGED

N.I. Varminskaya

The use of optimal skew-symmetric controls for the translational or rotational motion of a telescopic manipulator of finite rigidity, which provide absolute or relative quiescence of the manipulator gripper at the end point of positioning, assumes the constancy of the frequency of natural oscillations of the arm. Changing the length of the arm during the operation of the manipulator entails a change in natural oscillation frequencies, which can adversely affect performance and positioning accuracy. A method for stabilizing the stiffness of a telescopic arm is proposed, based on the extension of the arm element, consistent with the change in its length in the process of performing work operations, which makes it possible to maintain the constancy of the fundamental tone frequency.

Keywords: *telescopic manipulator, arm of finite rigidity, control of arm movement, frequency of natural oscillations, deflection, determination of displacements, Mohr's method, stabilization of manipulator arm rigidity.*

Varminskaya Natalia Ivanovna, candidate of technical science, docent, nvarminska@gmail.com, Russia, Sevastopol, Black Sea Higher Naval School named after P.S. Nakhimov

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ С ПОВТОРНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОНТРОЛЯ

Балакин И.А., Балакина Н.А.

Аннотация. Рассмотрена структура гибкой автоматизированной линии с повторным обслуживанием, предложена ее имитационная модель. Приведен листинг программы на языке GPSS и блок-схема ее основного сегмента. Проведен анализ результатов моделирования, показавший возможности увеличения производительности гибкой автоматизированной линии при использовании повторного обслуживания.

Ключевые слова. Гибкое производство, автоматизированная линия, имитационное моделирование, повторное обслуживание, производительность.

Балакин Игорь Алексеевич, студент, ibalakin72@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, NABalakina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

SIMULATION MODEL OF A FLEXIBLE AUTOMATED LINE WITH REPEATED MAINTENANCE BASED ON INSPECTION RESULTS

I.A. Balakin, N.A. Balakina

The structure of a flexible automated line with repeated maintenance is considered and its simulation model is proposed. The program listing in the GPSS language and the block diagram of its main segment are given. The analysis of the results of the simulation, which showed the possibility of increasing the productivity of flexible automated line when using repetitive maintenance.

Keywords: *flexible production, automated line, simulation modeling, repetitive maintenance, productivity.*

Balakin Igor Alexeyevich, student, ibalakin72@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Balakina Natalia Anatolievna, senior lecturer, NABalakina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАСТРОЙКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПНЕВМОПОДВЕСКИ НА КОЛЕБАНИЯ СОСТАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

Мурашковский И.А., Возжзов А.А.

Аннотация. Для улучшения качества и стабильной работы пневматических систем подпрессоривания, обеспечивающих эффективную виброзащиту автотранспортных средств, анализа влияния воздушного демпфирования и различных сочетаний переменного и постоянного объема пневматической рессоры на ее демпфирующие свойства предлагается использовать исследования на основе разработанной расчётной динамической модели; полученные с помощью данной методики значения амплитуд колебаний, дают возможность прогнозировать уровень колебаний при движении. Допустимость и эффективность такого подхода подтверждается экспериментально.

Ключевые слова. Пневматическое подпрессоривание, дорожные условия, демпфирующие свойства, амплитуды колебаний, контроль уровня кузова, прогнозирование.

Мурашковский Илья Александрович, студент, ilyich01@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Возжзов Андрей Анатольевич, к.т.н., доцент, AAVozhzhov@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE AIR SUSPENSION ELEMENTS SETTINGS ON THE SPRING AND UNSPRESSED MASS VIBRATIONS

I.A. Murashkovskiy, A.A. Vozhzhov

To search for new, simpler technical solutions for air suspension that provide effective vibration protection for vehicles, to analyze the effect of air damping and various combinations of variable and constant volume of the air spring on its damping properties, it is proposed to use studies based on the developed computational dynamic model, the values obtained using this technique oscillation amplitudes, make it possible to predict the level of oscillations during movement. The admissibility and effectiveness of this approach is confirmed experimentally.

Keywords: pneumatic suspension, road conditions, damping properties, oscillation amplitudes, body level control, forecasting.

Murashkovskiy Ilia Alexandrovich, student, ilyich01@mail.ru, Russia, Sevastopol State University
Vozhzhov A.A., candidate of technical sciences, docent AAVozhzhov@sevsu.ru, Russia, Sevastopol State University

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СЕЛЕКТИВНОЙ СБОРКИ ДВУХ ЭЛЕМЕНТОВ С
МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ МОДЕЛЬЮ «ВХОД-ВЫХОД» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АППРОКСИМАЦИИ**

Филипович О.В., Филипович В.О.

Аннотация. Рассматривается процесс однопараметрической селективной сборки двух элементов для случая использования мультипликативной модели «вход-выход». Приведены основные зависимости, связывающие предельные значения, отклонения и допуски входных и выходных параметров. Предложено линеаризовать исходную модель с использованием рядов Тейлора. Для линеаризованной модели определены допуски и границы селективных групп, а также основные показатели сборочного процесса. Приведен пример моделирования.

Ключевые слова. Математическая модель, селективная сборка, аппроксимация, ряд Тейлора.

Филипович Олег Викторович, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастопольский государственный университет

Филипович Вадим Олегович, студент, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

**SOLVING THE PROBLEM OF SELECTIVE ASSEMBLY OF TWO ELEMENTS WITH A
MULTIPLICATIVE INPUT-OUTPUT MODEL USING APPROXIMATION**

O.V. Filipovich, V.O. Filipovich

The process of one-parameter selective assembly of two elements for the case of using a multiplicative "input-output" model is considered. The main dependences connecting limit values, deviations and tolerances of input and output parameters are given. It is proposed to linearize the original model using Taylor series. For the linearized model, the tolerances and boundaries of the selective groups, as well as the main indicators of the assembly process, are determined. An example of modeling is given.

Keywords: mathematical model, selective assembly, approximation, Taylor series.

Filipovich Oleg Viktorovich, candidate of technical sciences, docent, Head of the Department, ophisl@yandex.ru, Russia, Sevastopol State University

Filipovich Vadim Olegovich, student, ophisl@yandex.ru, Russia, Sevastopol State University

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ В ANYLOGIC СТРУКТУРЫ «НАКОПИТЕЛЬ – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЯЧЕЙКА – НАКОПИТЕЛЬ»

Заморёнов М.В., Мирзоян Н.Ю., Заморёнов И.М.

Аннотация: В данной работе проводится верификация аналитической модели сопряженного участка, построенной с использованием метода траекторий, путем сравнения ее результатов моделирования с результатами имитационного моделирования. Разрабатывается имитационная модель в AnyLogic. С помощью имитационной модели определяются коэффициенты готовности работы сопряженного участка на выдачу продукции и на ее прием. Сравниваются указанные коэффициенты готовности безотказной работы сопряженного участка, полученные с помощью имитационной и аналитической моделей. Проводится расчет относительной погрешности результатов.

Ключевые слова: имитационная модель, верификация, относительная погрешность, сопряженный участок

Заморёнов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Мирзоян Наталия Юрьевна, ассистент, nymirzoyan@mail.sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Заморёнов Илья Михайлович, студент, ilia.zamoryonov@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

SIMULATION MODEL IN ANYLOGIC OF THE STRUCTURE “DRIVE - TECHNOLOGICAL CELL - DRIVE”

M.V. Zamoryonov, N.Y. Mirzoyan, I.M. Zamoryonov

In this paper, we verify the analytical model of the conjugate section constructed using the trajectory method by comparing its simulation results with the results of simulation modeling. A simulation model in the AnyLogic is being developed. Using the simulation model, the coefficients of the readiness of the associated site for the issue of products and for their reception are determined. The indicated readiness coefficients of the uptime of the interfaced section obtained using the simulation and analytical models are compared. The calculation of the relative error of the results.

Key words: simulation model, verification, relative error, conjugate section

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, candidate of technical science, docent, Zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

Mirzoyan Natalya Yurevna, assistant, nymirzoyan@mail.sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Ilia Mikhailovich, student, ilia.zamoryonov@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol state University

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ РУКИ НА ПОГРЕШНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Балакина Н.А., Балакин И.А.

Аннотация. Рассмотрены погрешности измерения координатно-измерительных машин. Построена математическая модель для оценки точности измерительной руки. Представлены результаты моделирования и проведен их анализ, показавший пределы использования различной точности изготовления линейных размеров звеньев измерительной руки при различной точности энкодеров.

Ключевые слова. Координатные измерения, энкодер, векторный анализ, погрешность, матрицы поворота, точность измерений, точность изготовления.

Балакина Наталья Анатольевна, старший преподаватель, NABalakina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Балакин Игорь Алексеевич, студент, ibalakin72@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

RESEARCH OF INFLUENCE OF MEASURING ARM MANUFACTURING ACCURACY ON COORDINATE MEASUREMENT ERROR

N.A. Balakina, A.I. Balakin

Measurement errors of coordinate measuring machines are considered. A mathematical model for estimating the accuracy of a measuring arm is constructed. Simulation results are presented and their analysis is carried out, showing the limits of using different accuracy of the linear dimensions of measuring arm links with different accuracy of encoders.

Keywords: coordinate measurements, encoder, vector analysis, error, rotation matrices, measurement accuracy, manufacturing accuracy.

Balakina Nataliya Anatolievna, senior lecturer, NABalakina@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Balakin Igor Alekseevich, student, ibalakin72@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University