

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Инновационные технологии, автоматизация и
мехатроника в машино- и приборостроении**

Материалы XII международной научно-практической конференции

(Минск, 13 марта 2024 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2024»

Минск БНТУ 2024

Редакционная коллегия:

Околов А.Р. (главный редактор),
Дербан А.Н. (ответственный секретарь),
Югова М.В., Холод П.В., Заярный В.П.

Составитель:
Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы XII Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении», которые посвящены выработке теоретических решений, а также разработке практических подходов, направленных на создание, реализацию и внедрение инновационных достижений в областях реального сектора экономики: машино- и приборостроение, автоматизация и робототехника, получение и обработка современных материалов, оптимизация потребления и развитие альтернативных источников энергии, применение технологий искусственного интеллекта.

Рекомендован научным работникам, преподавателям, студентам, магистрантам и аспирантам высших учебных заведений технического и технико-технологического профиля.

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

1. CONFIGURING RISOGRAPHIC PRINTING, TAKING INTO ACCOUNT THE PRINTING PROPERTIES OF PAPER <i>Yudenkov V.S., Sulim P.E.</i>	7
2. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ <i>Александровский С.В.</i>	9
3. ИННОВАЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКИ <i>Алисеенко Д.С.</i>	11
4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ПО ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЮ <i>Альбагуш А.А., Куприянов А.Б.</i>	13
5. О СОЗДАНИИ ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНЫ ДЛЯ БАРЖИ ПРОЕКТА 775 <i>Афанасьев А.П., Афанасьева Е.В., Качанов И.В., Ключников В.А.</i>	15
6. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА <i>Бачище В. Ф., Опейко О.Ф.</i>	17
7. УПРАВЛЕНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАТРАТАМИ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ <i>Белоцерковский М.А., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.</i>	19
8. АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ <i>Бородуля А.В.¹, Матрунчик Ю.Н.¹, Мисинкевич Н.А.²</i>	21
9. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ТОРМОЗОМ СКОЛЬЖЕНИЯ <i>Брель В.В.</i>	23
10. ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПЕЧАТНЫМ СТАТОРОМ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ SOLIDWORKS <i>Буйвид А.П.</i>	24
11. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ УЧЁТА КНИГ В БИБЛИОТЕКЕ <i>Буцанец С.А., Гутич И.И.</i>	26
12. АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА <i>Буштрук А. А.¹, Буштрук Т.Н.²</i>	27
13. ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СКОРОСТНЫМ КОМБИНИРОВАННЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ <i>Быков К. Ю., Качанов И. В., Ленкевич С. А., Шаталов И. М.</i>	29
14. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАК ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ <i>Васильев С. В.</i>	31
15. ПРЕИМУЩЕСТВЕННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Гируцкий И.И.</i>	33
16. ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРОВ <i>Гу Пэнхао, Лобатый А.А.</i>	<i>Ошибка! Залка не определена.</i>
17. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ СИЛ СРЕДИ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТ В МАССИВЕ ХАЛЬБАХА <i>Губарь В.М., Прохорович С.С.</i>	37

18.МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ФОРМОВАНИЯ БЕТОНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ <i>Гурский Н.Н., Куприянов А.Б.</i>	40
19.ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИМ МОДЕЛИ <i>Гутич И.И., Баишовенко К.О.</i>	42
20.ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ В ROBOT OPERATING SYSTEM2 (ROS2) <i>Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²</i>	43
21.ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ: FREERTOS, THREADX, ZEPHYR <i>Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²</i>	44
22.ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭКГ-УСТРОЙСТВА AD8232 К ПЛАТЕ ARDUINO MEGA 2560 <i>Жабборов А. М.</i>	45
23.ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРОИЗВОДСТВ: ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ <i>Журавлёва Е.Р.</i>	48
24.ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ВАКУУМНЫХ ДУГОВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ <i>Иванов И.А.</i>	50
25.МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ВАКУУМЕ <i>Карабан Г.А., Прохорович С.С.</i>	52
26.РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НЕСАМОХОДНОГО СУДНА (НС) ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300Т <i>Качанов И. В., Ключников В.А., Ленкевич С.А., Шаталов И.М., Власов В.В., Афанасьева Е.В.</i>	55
27.ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 3D-МОДЕЛЕЙ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300Т <i>Качанов И. В., Ключников В.А., Ленкевич С.А., Шаталов И. М, Власов В.В., Афанасьева Е.В.</i>	57
28.ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ОТ КОРРОЗИИ <i>Качанов И. В., Филипчик А. В., Ковалевич В. С., Шаталов И.М.</i>	60
29.ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ <i>Королёв А.Ю., Нисс В.С.</i>	62
30.МОРФОЛОГИЯ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ <i>Королёв А.Ю., Нисс В.С., Иванов А.И., Сенченко Г.М.</i>	64
31.МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА <i>Костюченко Ю.А., Галимская П.В.</i>	66
32.МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ВПРЫСКОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ <i>Кулаков Г.Т., Воюш Н.В.</i>	68
33.СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ САУ ВЫСОКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ <i>Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.</i>	71
34.ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ТЕСТОВ С ПОДСИСТЕМОЙ РЕШЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ <i>Кундро А.В.¹, Полозков Ю.В.¹, Полозков А.Ю.²</i>	75
35.ИЗМЕРИТЕЛЬ КООРДИНАТ СОПЛА СТРОИТЕЛЬНОГО 3-D ПРИНТЕРА <i>Куприянов А.Б., Гурский Н.Н.</i>	77

36.ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, НАСТРАИВАЕМЫЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПЕЧАТИ НА 3D ПРИНТЕРЕ	
<i>Латко О.П., Ковалева И.Л.</i>	79
37.СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ	
<i>Лившиц Ю.Е., Задорожная В.А.</i>	81
38.РОБОТИЗИРОВАННАЯ МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА С МЯГКИМИ ЗАХВАТАМИ	
<i>Матрунчик Ю.Н.¹, Карпович П.С.², Сенько А.И.²</i>	84
39.ОСОБЕННОСТИ СЕТИ YOLOV4, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА	
<i>Мисякова В.А., Ковалева И.Л.</i>	81
40.ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА НА ЯЗЫКЕ ARDL	
<i>Напрасников В.В., Ван Цзы Жуй, Чжан Цзыхан, Петаков Н.В.</i>	87
41.СОВМЕЩЕННЫЕ КОРНЕВЫЕ ПОРТРЕТЫ ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ РЯДА РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА	
<i>Несенчук А.А.</i>	89
42.ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РЕЖИМОВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ	
<i>Нисс В.С., Королёв А.Ю., Паришто А.Э., Сорока Е.В.</i>	91
43.КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЧЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МДО-ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ	
<i>Нисс В.С., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Паришто А.Э.</i>	93
44.ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКЕ	
<i>Околов А.Р.</i>	95
45.О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЛАВА СИСТЕМЫ ZN-AL В КАЧЕСТВЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ	
<i>Орда Д.В., Комаров А.И., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.</i>	98
46.ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	
<i>Павлюковец С.А., Вельченко А.А., Радкевич А.А.</i>	100
47.ПОЛУЧЕНИЕ АЛМАЗНОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА	
<i>Парницкий А.М., Сенють В.Т.</i>	102
48.ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ	
<i>Покровский А.И.</i>	104
49.РОБОТИЗИРОВАННАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЁННОГО УПРАВЛЕНИЯ	
<i>Прохорович С.С.¹, Матрунчик Ю.Н.¹, Лучинович Ф.А.², Малаев А.А.²</i>	106
50.ПОВЕДЕНИЕ МОБИЛЬНОГО РОБОТА СО ВСЕНАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЁСАМИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ	
<i>Радкевич А.А.</i>	108
51.ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОБИЛЬНОГО КОЛЁСНОГО РОБОТА	
<i>Радкевич А.А.</i>	110
52.ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ПРЕДМЕТУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	
<i>Романенко П.А., Прохорович С.С.</i>	112

53. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ	
<i>Седюк А.С., Журавлёва Е.Р.</i>	114
54. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	
<i>Сидорик В.В.</i>	116
55. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОМ	
<i>Сидорик В.В.</i>	118
56. МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МИНСКА	
<i>Синицын А.В.¹, Гоцкая Н.А.¹, Лившиц Ю.Е.², Рухневич Е.М.³</i>	120
57. ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСНОГО АГРЕГАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ НЕОБХОДИМОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ	
<i>Стромский С.А.², Лившиц Ю.Е.¹</i>	122
58. МОДЕРНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ	
<i>Хаткевич М.О., Гутич И.И.</i>	124
59. ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА	
<i>Хвилько К.В., Качанов И.В., Шаталов И.М. Щербакова М.К.</i>	125
60. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРА «КЛЕВЕР 4.2»	
<i>Холод П.В.</i>	127
61. ФОТОГРАММЕТРИЯ КАК СПОСОБ СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ. ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ	
<i>Холод П.В.</i>	129
62. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АРТЕЗИАНСКОЙ СКВАЖИНОЙ (АСУ АС)	
<i>Шишковиц Ф.Д., Куприянов А.Б.</i>	132
63. ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ГИДРОУДАРНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ТОНКОЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ	
<i>Шпарло Д.А., Покровский А.И.</i>	134
64. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ С ВЫСОКИМ РЕСУРСОМ ПЛАСТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ	
<i>Щукин В.Я., Кожевникова Г.В.</i>	136
65. ИСТОЧНИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ	
<i>Югова М.В., Дубинин С.В.</i>	138
66. К ВЫБОРУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СТРОИТЕЛЬНОГО РОБОТА	
<i>Юденков В.С., Гурский Н.Н.</i>	140
67. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫРАЩИВАНИЯ ПТИЦЫ	
<i>Юденков В.С., Костин И.С.</i>	141
68. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕТАЮЩЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА БАЗЕ ROBOT OPERATING SYSTEM	
<i>Ярошевич Е.В., Дубатовка В.В.</i>	143

CONFIGURING RISOGRAPHIC PRINTING, TAKING INTO ACCOUNT THE PRINTING PROPERTIES OF PAPER

Yudakov V.S., Sulim P.E.

Belarusian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus

Paper is porous–capillary sheets consisting mainly of plant fibers, firmly interconnected by chemical hydrogen bonds. Thus, printed paper for books differs from writing paper, packaging paper and other types of paper in that it must not only have good consumer qualities, but also meet the specific requirements of the printing process. Along with paper, other types of paper are often used for making books – newspaper, cartographic, writing and others.

To ensure high quality of printed products, printed paper must have a certain set of properties, such as smoothness, softness, stiffness, dustiness. However, during risographic printing on hard papers, indistinct reproduction occurs, as well as hard papers lead to mechanical damage to the mesh of the mold cylinder of the risograph. The paper used for risographic printing must have the ability to perceive the ink and hold it on its surface. This is ensured by the ability of the paper to be wetted with paint, as well as absorb it into the pores. The absorbency of the paper is especially important when printing with paints used in risography, since the ink is fixed on the impression due to its absorption into the pores of the paper. Only in this case, the paint is fixed on the impression and dries. The absorbency of the paper depends on the type of fiber mass, porosity of the paper, filler, composition and type of sizing, as well as the physical properties of the absorbent paint components. To characterize the absorbency of paper, a number of methods have been proposed based on measuring the rate of absorption of solvents or measuring the amount of ink retained by paper. Being in a humid atmosphere, the paper absorbs water. In this case, the cellulose fibers swell, as a result of which the paper sheet deforms when moistened. Deformation of the sheet can lead to a mismatch of colors in multicolored printing. Therefore, an important technological property is the deformation of the paper during humidification. The considered paper properties are also determined using special devices. The optical properties of the paper determine the appearance of the printed product and the image quality. Optical properties include opacity, whiteness, color and gloss of the paper.

The paper must be light-proof so that the image printed on the reverse side does not shine through. Therefore, transparent papers can only be printed on one side. Light transmission decreases with increasing paper thickness and the introduction of fillers.

The high whiteness of the paper provides a sharp, contrasting image perception. Whiteness is ensured by the selection of the appropriate fibrous material, bleaching of the semi-finished product, the introduction of fillers and

dyes. The paper is usually white in color, but colored paper grades are also used in offices.

The surface of the paper can be matte or shiny, which affects the appearance and quality of printed products. The optical properties of paper can be tested on visual cameras or other devices that measure transmittance, reflection, or optical density with high accuracy.

To eliminate the complex of disadvantages for the original layout, it is necessary to use two types of filters (standard and specialized).

It has been experimentally revealed that obtaining a high-quality impression of a digital image on a risograph is often hindered by defects in contrast and clarity. It is also necessary to adjust the brightness alignment of the image in accordance with the flowchart.

To do this, the software provides two tools: manual and automatic brightness correction. The automatic brightness correction function is enabled by checking the box in the optimal brightness program. The first step of the automatic brightness correction algorithm is to calculate the average brightness of the image points. This brightness is compared with *the optimal brightness*. The brightness of 127 units is accepted as optimal. If the brightness of the image is higher than the optimal brightness, then the difference between them is subtracted from the brightness of each point in the image, except for the black dots. Otherwise, the difference between the average brightness of the image and the optimal brightness is added to the brightness of each point in the images, except for the white dots.

The Adjust Contrast tool application improves the image without changing the pixel values. *The imadjust* function is used to change the intensity values.

After launching *the Adjust Contrast tool*, a window opens with an image histogram. It shows ranges of image and display data. The range of image data conveys the existing coverage of the intensity values of the elements.

The display range provides information about the maximum possible coverage of the original layout image. The histogram of the original layout is presented in *usint8* format in the dynamic range from 0 to 255. There is a red rectangular area above the histogram, which adjusts the contrast of the original.

The next step in improving the quality of risographic printing is the additional use of adaptive image rasterization.

Algorithms for the automated application of combined filtering have been developed, including primary processing of the original image by linear filtration and secondary processing by nonlinear filtration; operation of linear filters; operation of nonlinear filters; brightness and contrast settings. Based on the obtained algorithms, a program for forming the print profile of the original layout for the risograph has been developed.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С СИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В процессе работы электропривода (ЭП) производственных машин и механизмов ряд параметров моделей электродвигателя изменяются в зависимости от времени, внешних воздействий и переменных состояния. Применительно к синхронному двигателю с постоянными магнитами (СДПМ) прежде всего такими параметрами являются активное сопротивление обмотки статора R_1 , изменяющееся в зависимости от температуры, и суммарный приведенный момент инерции электропривода J_c , меняющийся при изменении момента инерции нагрузочного механизма. Очевидно, что изменениям подвержены и другие параметры моделей двигателя, но эти изменения, как правило, в гораздо меньшей степени сказываются на качестве регулирования [1].

СДПМ имеют схожую с асинхронным двигателем конструкцию статора и условия работы, поэтому можно считать, что изменения активного сопротивления статора СДПМ будут аналогичны изменениям активного сопротивления статора асинхронного двигателя. В [1] изменение активного сопротивления статора принимают в диапазоне от 0,8 до 1,5 номинального значения при рабочей температуре, что соответствует изменениям температуры обмоток двигателя от 293°К до 463°К. Следует отметить, что для ряда промышленных установок, например, кранов, работающих на открытом воздухе, этот температурный диапазон может быть увеличен поскольку в зимний период температура окружающей среды может принимать меньшие значения. Следовательно, диапазон изменения активного сопротивления обмотки статора СДПМ для таких механизмов может быть увеличен.

В [2] показано, что для СДПМ при скалярном частотном управлении (СЧУ) для обеспечения стабилизации момента может быть применен закон частотного управления с учетом параметров двигателя, в том числе от активного сопротивления обмотки статора. Вместе с тем по литературным источникам СЧУ не зависит от параметров электродвигателя и соответственно их изменений, что является преимуществом по сравнению с системами векторного управления. Поэтому представляет определенный интерес в определении степени влияния параметров двигателя на статические и динамические характеристики СДПМ при СЧУ.

Динамические характеристики и свойства ЭП переменного тока при СЧУ определяются соотношением постоянных времени двигателя (электромагнитной, электромеханической). Электромеханическая

постоянная времени T_m прямо пропорциональна суммарному моменту инерции электропривода J_c .

По характеру изменения суммарного момента инерции ЭП производственные машины и механизмы можно условно разделить на две группы. К первой группе отнесем машины, в которых суммарный момент инерции в ходе работы механизма является постоянным или изменяется незначительно, например, ножницы для резки металлов. Ко второй группе отнесем машины, в которых в ходе работы привода суммарный момент инерции на разных этапах производственного цикла может существенно изменяться от минимального до максимального значения в зависимости, например, для крановых механизмов от массы перемещаемого груза.

Для большинства производственных механизмов (в том числе, например, для одноконцевых лебедок) суммарный момент инерции ЭП составляет 1,2 – 1,6 момента инерции двигателя. В подъемных установках с двухконцевой лебедкой суммарный момент инерции превышает момент инерции двигателя в 2 – 5 раз. У механизмов передвижения и поворота кранов и для механизма поворота экскаваторов момент инерции движущихся масс может быть в 2 – 10 раз больше момента инерции двигателя, а для канатных и ленточных конвейеров большой протяженности – в 10 – 20 раз [3].

Для обеспечения стабилизации угловой скорости СДПМ в установившихся режимах при СЧУ необходимо использовать отрицательную обратную связь по угловому ускорению с коэффициентом T_0 , оптимальное значение которого зависит от суммарного момента инерции ЭП [4].

1. Виноградов, А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново, 2008. – 298 с.
2. Фираго, Б. И. Свойства, характеристики и параметры синхронного двигателя с постоянными магнитами при векторном и скалярном частотном управлении / Б.И. Фираго, С.В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. С. 205–218.
3. Онищенко, Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, [и др.]; Под общей редакцией Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН – 2001. – 520с.
4. Фираго, Б.И. Исследование переходных процессов электропривода с синхронным двигателем с постоянными магнитами при линейном изменении частоты питающего напряжения / Б.И. Фираго, С.В. Александровский // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2020. Т. 63, № 3. С. 197–211.

ИННОВАЦИОННЫЕ СТРАТЕГИИ ОБУЧЕНИЯ В СИСТЕМЕ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКИ

Алисеенко Д.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Сфера автоматизации процессов и производств, направленная на использование искусственного интеллекта и роботизацию монотонных многократно повторяющихся операций, принадлежит к тем ведущим отраслям экономики, которые составят основу формирующегося VI технологического уклада. Это предполагает в первую очередь внедрение инновационных стратегий обучения специалистов по автоматизации и робототехнике, которые смогут представить компетентный ответ современным вызовам профессиональной сферы; проявить креативное и инновационно ориентированное мышление; согласованно и эффективно осуществлять командную работу, в том числе в командах инновационного прорыва; выстраивать сотрудничество в профессиональной среде с целью обмена высокоразвитыми навыками и непрерывно наращивать собственный информационно-знаниевый арсенал.

Согласно Государственной программе молодежной политики на 2021–2025 годы модернизация системы высшего образования предполагает заимствование и адаптацию инновационных моделей обучения, доказавших свою эффективность в мировом образовательном пространстве. При этом должен сохраняться баланс «фундаментальности и практической направленности образовательных практик» [1, с. 15].

Совершенствование процесса профессиональной подготовки будущих специалистов по автоматизации и робототехнике подразумевает усиление его проблемно-исследовательской и прикладной направленности. В качестве перспективных следует выделить стратегии обучения, базирующиеся на использовании технологий проблемно-ориентированного, проектного и перевернутого обучения, кейс-технологий, концепции CDIO, подходов T-Shaped, Green STEM (STEAM) и других.

Одной из передовых образовательных моделей выступает «обучение через вызов» (англ. Challenge-Based Learning – CBL) [2]. Модель CBL основана на вовлечении студентов в разработку интеллектуального продукта, который является решением выдвинутой проблемы-вызова, обладающей актуальностью, междисциплинарным характером и преодолеваемой в процессе командного состязания (челленджа). Необходимо отметить, что особую продуктивность данная модель показала при внедрении в информационно-образовательную среду ведущих зарубежных технических университетов. При этом инициировать

челлендж могут как организации-заказчики кадров и преподаватели, так и студенты. В рамках диссертационного исследования автора включение модели «обучение через вызов» в систему подготовки будущих инженеров в Белорусском национальном техническом университете было имплементировано с опорой на принципы устойчивого развития и ESG (англ. Environmental – экологический, Social – социальный, Governance – корпоративного управления). За период с 2021 – 2022 учебного года по настоящее время было реализовано 8 челленджей, из них 2 – с участием будущих специалистов по автоматизации и робототехнике, для которых в качестве проблемного поля соревнований было предложено создание программного продукта:

1. Проектирование базы данных для устойчивого функционирования организации.

2. Разработка реляционной модели информационной системы для устойчивой административной деятельности с ориентацией на креативный дизайн.

На подготовительном этапе студентам были представлены целевые ориентиры челленджа, смоделированы возможные направления модернизации программного продукта. Представленные интеллектуальные состязания имели формат междисциплинарного кейс-челленджа с международным участием. Для каждого соревнования был разработан кейс, включающий техническое задание на проектирование программного продукта. Кроме этого, кейс был снабжен как типовыми, так и креативно-ориентированными заданиями и вопросами, которые участники челленджа должны были решать в процессе этапа проектирования. На заключительном этапе осуществлялась презентация проектов, их оценивание и награждение победителей членами жюри, которое было сформировано из представителей руководящего и преподавательского состава БНТУ, научной и бизнес-сферы, составляющих триаду «образование – наука – производство».

Результаты челленджей могут быть представлены на научно-практических конференциях и в будущем воплотиться в более масштабные научно-прикладные проекты.

5. Государственная программа «Образование и молодежная политика на 2021-2025 годы» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://crit.bspu.by/wp-content/uploads/2022/04/gosudarstvennaya-programma-obrazovanie-i-molodezhnaya-politika-na-2021-2025-gody.pdf> – Дата доступа: 03.02.2024.
6. Алисеенко Д. С. Реализация междисциплинарных челленджей как условие формирования креативных компетенций будущих инженеров для устойчивого развития / Д. С. Алисеенко // Современные исследователи за устойчивое развитие : сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса (10 июля 2023 г.). – Петрозаводск : МЦНП «Новая наука», 2023. – С. 10–20.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ПАНЕЛИ ПО ЕЕ ИЗОБРАЖЕНИЮ

Альбагуш А.А., Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современные солнечные электростанции имеют размеры в несколько десятков квадратных километров и содержат миллионы солнечных панелей. Размещаются такие электростанции преимущественно в пустынных местностях, характеризующихся отсутствием источников воды и большим количеством пыли. Попадание пыли на поверхность фотоэлектрических солнечных панелей приводит к снижению их эффективности. Для оценки влияния запыленности солнечной панели на ее выходную мощность были проведены лабораторные и натурные в условиях Ливии исследования относительного снижения мощности солнечной панели от плотности пыли на ее поверхности. Из полученных результатов следует, что при плотности пыли 5-7 грамм/м² выходная мощность снижается на 15-20%.

Ручная очистка панелей от пыли может занимать значительное время, периодическая (например, ежедневная) автоматизированная очистка панелей с помощью роботов чистильщиков приводит к большим затратам энергии, преждевременной деградации поверхностей панелей, а также не учитывает загрязнения во время песчаных штормов. На рисунке 1 показан вид солнечной панели до и после песчаной бури [1].



Рисунок 1. Вид солнечных панелей до и после песчаной бури.

Из этого рисунка видно, что в течении нескольких часов песчаной бури может произойти существенное запыление панелей, требующее немедленной их очистки.

В связи с этим возникает необходимость постоянного контроля загрязнения поверхностей солнечных панелей для принятия решения об их автоматизированной очистке при снижении выходной мощности панели за

счет загрязнения. Для оценки степени загрязнения солнечной панели можно использовать видеоизображение панели. При вычитания из текущего изображения панели изображения чистой панели можно получить изображение пыли на поверхности. Суммарное значение яркостей всех пикселей изображения пыли (интегральное изображение) будет пропорционально количеству пыли на поверхности. Периодически оценивая это интегральное изображение можно автоматически принимать решение о необходимости очистки панели и запускать робота-чистильщика.

Алгоритм оценки интегрального изображения пыли на поверхности солнечной панели предусматривает решение следующих задач:

1. запоминание изображения чистой панели;
2. получение текущего изображения панели;
3. выделение изображения панели без фона с помощью маски;
4. получение цветного разностного изображения чистой панели и загрязненной панели;
5. вычисление интегрального изображения.

Интерфейс программного приложения для реализации вышеперечисленных задач представлен на рисунке 2.

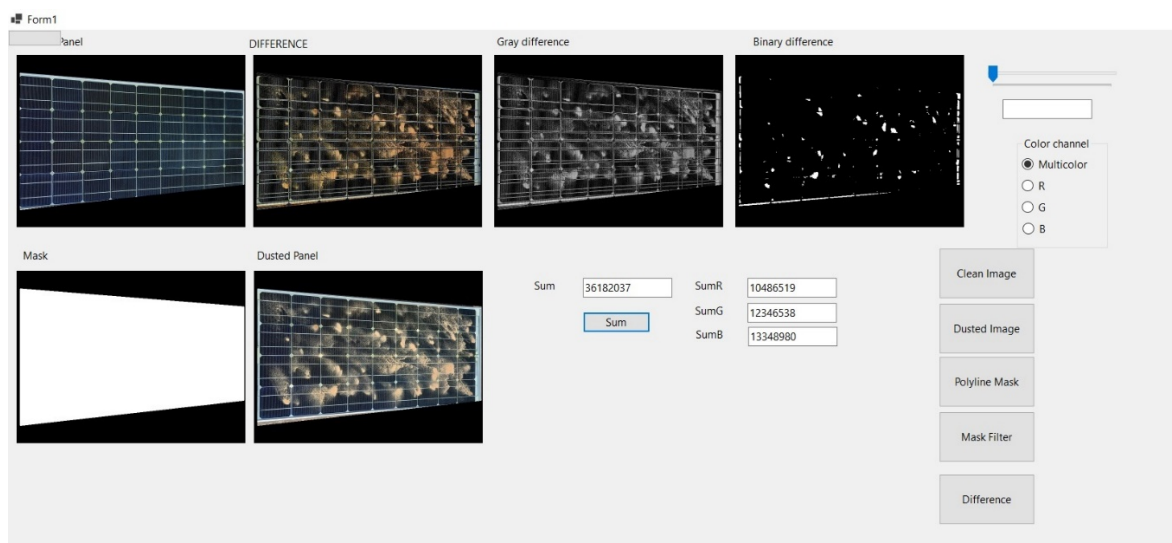


Рисунок 2. Интерфейс программного приложения

1. Albagoush A.A., Abuauba A.B., Kupriyanov A.B. Study of the effect of dust deposition on solar panels in Libya // Математические методы в технологиях и технике. 2023. № 10. С. 76-81. DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_10_76.

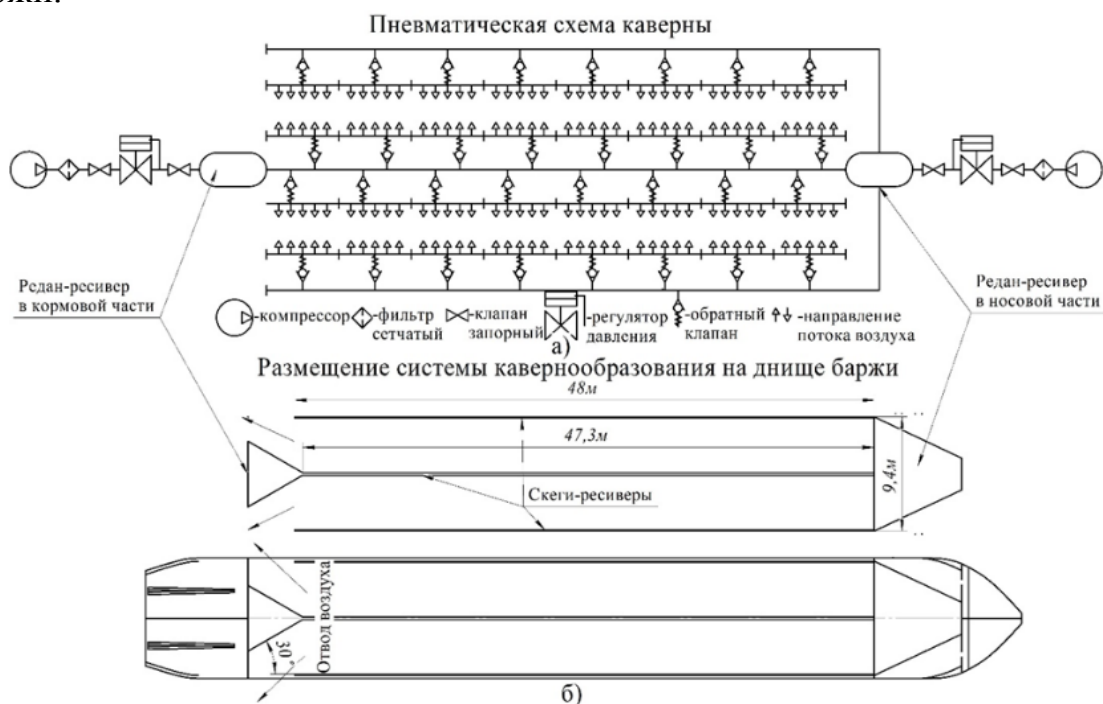
О СОЗДАНИИ ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНЫ ДЛЯ БАРЖИ ПРОЕКТА 775

Афанасьев А.П., Афанасьева Е.В., Качанов И.В, Ключников В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для повышения технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирного состава в условиях ограниченности фарватера и на мелководье при выполнении научно-технического договора №2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект» было предложено создание воздушной каверны под днищем баржи.

Для реализации системы подачи воздуха для создания воздушной каверны под днищем баржи предлагается приварить побортно трубы прямоугольного сечения с размерами 200x80 мм практически по всей длине цилиндрической вставки баржи (рис.1). По центру приваривается килевой скег, который также представляет собой трубу прямоугольного сечения с размерами 180x60 мм. Килевой скег выполняется несколько меньшей высоты относительно бортовых скегов с целью создания целостной воздушной прослойки на разделе вода-воздух, что дополнительно снижает сопротивление движению баржи. Также для обеспечения целостности воздушной каверны в носовой части размещается редан-ресивер в форме трапецеидального клина (рис.1, 2), который препятствует срыву воздушной каверны и прорыву воздушных пузырей в носовую часть баржи.



а) пневматическая схема подачи воздуха; б) система для создания каверны
Рис. 1 – Схематичное отображение реализации системы по созданию
воздушной каверны для баржи проекта 775

Редан-ресивер в форме треугольника в кормовой части (рис.1, 2) предназначен для отвода отработанного воздуха к бортам баржи, что исключит его попадание к винту буксира-толкача, а, следовательно, не приведет к явлению кавитации на его лопастях.

Скеги-ресиверы и реданы-ресиверы представляют собой единую систему, в которую воздух закачивается от двух компрессоров, один из которых располагается в носовой части, а второй в кормовой.

Согласно ранее приведенных расчетов для подачи необходимого объема воздуха достаточно двух бортовых скегов, однако наличие килевого скега позволит обеспечить более равномерную подачу воздуха по площади днища судна, что повысит его остойчивость и улучшит управляемость. Кроме того, запрещается устанавливать регуляторы давления (рис.1) в системах, где минимальная пропускная способность ниже установленной для самих регуляторов. Также в процессе эксплуатации будет неизбежно происходить снижение пропускной способности из-за обрастания подводной части судна и засорения труб-рассеивателей, поэтому установка килевого скега увеличит пропускную способность системы и обеспечит надежную работу пневмосистемы до периода планового обслуживания судна.

Подача воздуха из скег-ресиверов в трубы-рассеиватели осуществляется через обратные клапаны с условным внутренним диаметром DN 50, которые устанавливаются с шагом 6 м (рис.2).

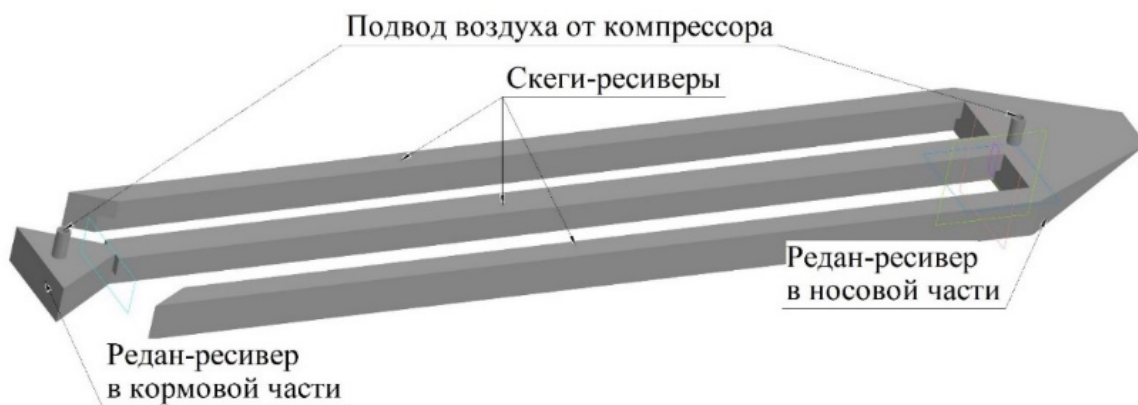


Рис. 2– Схематичная 3D модель системы кавернообразования

Также при разработке проекта модернизации следует учесть затраты на изготовление фундаментов и системы электропитания компрессорного оборудования.

Предлагаемая конструкция воздушной каверны, под днищем баржи проекта 775, прошла предварительные успешные испытания в гидродинамическом лотке на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Бачище В. Ф., Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Ленточные конвейеры для транспортировки руды имеют мощность привода в сотни киловатт. Поэтому применение электроприводов с частотным управлением на действующих конвейерах является актуальной задачей, обеспечивая энергосбережение. Основным требованием к регулируемому электроприводу является обеспечение скорости движения, пропорциональной транспортируемой массе руды, что позволяет экономить энергию при малой загрузке конвейера.

Ленточный конвейер горизонтального исполнения допускает установку его с уклоном в пределах угла трения. В связи с этим, нагрузка на электропривод формируется по-разному для трех углов φ наклона конвейерной ленты [1]. Для горизонтального и наклонного положений рабочего участка ленты длины L механическая мощность конвейера определяется соответственно выражениями

$$P = Fv, \text{ KBm}, \quad (1)$$

$$P = v(F_F \pm mgH/L_1) = v(F \pm mg \cdot tg(\varphi)), \text{ KBm}, \quad (2)$$

где F – натяжение ленты, $KН$, v – скорость, $м/с$, m – движущаяся масса руды, g – ускорение свободного падения, H и L_1 – высота верхней точки A_1 ленты и горизонтальная проекция ленты соответственно, $tg(\varphi) = H/L_1$ (рисунок 1). В случае (1) натяжение ленты преодолевает силу F_F трения.

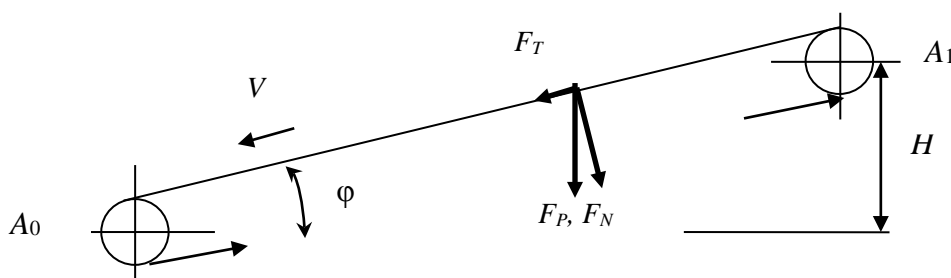


Рисунок 1 – Схема конвейера расчетная

Учитывая длительный режим работы, мощность электропривода рассчитывается по выражению (2) для наиболее нагруженного режима.

Если проекция силы тяжести на ленту направлена согласно со скоростью ленты, в выражении (2) применяется знак минус. Тогда сила

тяжести F_P (рисунок 1), разлагаясь на две составляющие F_T и F_N , создает нормальное давление F_N на ленту, увеличивая силу трения. Составляющая $F_T = mgH/L_1$ действует в направлении движения. Если сила трения $F_F \leq mgH/L_1 = F_T$, то движение груза вниз возможно под действием силы тяжести с растяжением ленты в верхней части и образованием слабины и петли внизу рабочей ветви (т. A_0), что является аварийным режимом. В связи с этим электропривод с частотным управлением должен не только регулировать скорость пропорционально загрузке конвейера, но и, при наличии уклона рабочей ветви ленты, обеспечивать устранение слабины ленты.

Конвейер как объект управления можно представить двухмассовой моделью [2]. Момент инерции J электропривода с приводным барабаном связан через упругое звено (лента конвейера с жесткостью c_e) с массой m транспортируемого груза. Модель описывается уравнениями

$$d(mv)/dt = aF - F_\Sigma,$$

$$dF/dt = c_e(v_0 - v),$$

$$J dv_0/dt = \rho(M - \rho F), \quad (3)$$

$$dM/dt = \alpha_e(-M - a_4 v_0 + b_P u).$$

Здесь F_Σ , - суммарная сила сопротивления движению, v_0 - скорость ленты в точке A_0 , ρ - радиус приведения, M - момент электропривода, α_e , a_4 , b_P - постоянные коэффициенты, u - сигнал управления. Параметр a характеризует натянутость ленты, $a = 1$, если лента натянута, и $a = 0$ при отсутствии натяжения. Нетрудно убедиться, что матрица N управляемости [3] имеет неполный ранг ($\text{rank } N = 3$) при $a = 0$, следовательно, модель (3) теряет управляемость.

Частотное управление электроприводом позволяет сформировать сигнал u с учетом загрузки конвейера и использованием обратной связи по скорости, что обеспечивает энергосберегающий режим пропорциональности скорости ленты загрузке конвейера. Устранение слабины ленты возможно, если на основании сигналов датчиков рассчитывается величина петли, которая затем используется при формировании сигнала управления.

1. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т.9. – Гос. Н.-т. изд-во машиностр. лит. М.: 1949.
2. Фираго Б.И., Павлячик Л.Б. Теория электропривода: учебное пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. - Минск: ЗАО "Техноперспектива", 2004. - 527с.
3. Спида К., Браун Р., Гудвин Д. Теория управления. Идентификация и оптимальное управление / М.: Мир – 1973. 248 с.

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ЗАТРАТАМИ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

Белоцерковский М.А., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

При нанесении покрытий центробежным методом используется одновременный индукционный нагрев заготовки по всей ее длине. Указанный вид нагрева не позволяет обеспечить стабильность физико-механических свойств по длине детали, что проявляется прежде всего в неоднородности структуры и нарушении геометрических параметров покрытия. Основной причиной описанных недостатков является неравномерность нагрева поверхности детали, что приводит к неоднородности распределения тепла по ее телу, обусловленное наличием ряда эффектов, проявляющихся в процессе взаимодействия детали и магнитного поля индуктора. Например, при нагреве цилиндрической втулки, толщина стенок которой постоянна по всей длине, всегда имеет место так называемый краевой эффект. Причиной его возникновения является неравномерный отток тепла из тела детали через ее торцы. В результате чего температура в указанных местах оттока тепла ниже чем в центре детали, что, в свою очередь приводит к возникновению пространственно-временной неоднородности физико-химических процессов, формирующих структуру и геометрию слоя. При нанесении покрытий на детали с более сложной формой внутренней поверхности, проявляющейся в наличии всевозможных внутренних уступов, проточек, канавок и т.д., количество неблагоприятных факторов возрастает. В этой связи помимо краевого эффекта свое влияние оказывает и разность толщин стенок втулки, при одинаковом количестве энергии для каждого участка детали осуществляется неравномерный прогрев ее стенок по глубине, и как следствие порошкового слоя.

Для обеспечения равномерности прогрева тела детали и получения покрытия с заданными физико-механическими свойствами нами предлагается использовать локализацию индукционного нагрева для каждого из участков детали.

Например, для простых деталей в виде цилиндра следует применять два режима нагрева: первый, предназначен для использования при обработке краев детали, второй, для работы на ее центральном участке. Это позволит достичь одинакового прогрева для каждого участка детали, и позволит избежать возникновения пространственно-временной неравномерности физико-химических процессов, формирующих структуру и геометрию покрытия. При нагреве детали с более сложной формой

внутренней поверхности режим индукционного разогрева подбирается для каждого участка индивидуально.

Для практической реализации предлагаемого способа разработаны три технологические схемы:

1) управление продольным перемещением заготовки при постоянном зазоре между индуктором и обрабатываемой деталью, при котором производится управление нагревом за счет изменения времени воздействия электромагнитного поля индуктора на деталь;

2) изменение величины зазора между индуктором и обрабатываемой деталью, при поддержании постоянной скорости продольного перемещения;

3) одновременное и согласованное изменение, как скорости продольного перемещения, так и величины зазора между индуктором и обрабатываемой деталью. В этом случае продольно-поперечное перемещение заготовки производится в соответствии с полученной расчетной зависимостью управления величиной энергии, передаваемой индуктором, от температуры разогрева формируемого покрытия.

Данная технология может быть реализована без значительных изменений существующего оборудования, путем введения двухкоординатного привода, возвратно-поступательного перемещения (рисунок 1). Управление упомянутым приводом обеспечивается системой автоматического регулирования, реализованной на программно-аппаратной базе микропроцессорных устройств, с каналами измерения от датчиков температур и линейных перемещений.

Разработанная технология позволит получать покрытия со стабильными физико-химическими характеристиками на протяжении всей длины детали, что особенно важно при изготовлении длинномерных деталей в машиностроении.

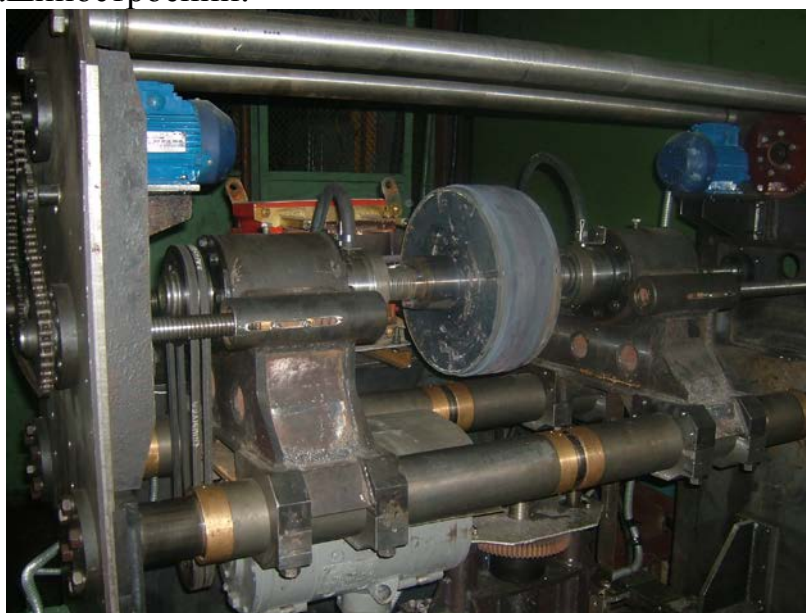


Рисунок 1 – Модернизированная установка центробежной индукционной наплавки покрытий

АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТА ДЛЯ АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

**Бородуля А.В.¹, Матрунчик Ю.Н.¹,
Мисинкевич Н.А.²**

- 1) Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь;
- 2) ООО «ЛАЦИТ - Лаборатория цифровых технологий»
г. Минск, Республика Беларусь.

В условиях развития современных производственных и логистических систем, эффективность их функционирования во многом зависит от применения автономных мобильных роботов (AMR). Сложность работы таких систем значительно увеличивается в динамически изменяющейся среде, требуя разработки адаптивных алгоритмов планирования маршрутов. Важность исследования заключается в необходимости обеспечения высокой адаптивности и гибкости маршрутизации, способной реагировать на непредвиденные препятствия и изменения в среде.

В рамках данного исследования, было сосредоточено внимание на разработке и адаптации алгоритмов планирования маршрута с акцентом на проблематику взаимодействия в динамической окружающей среде. Целью исследования было создание гибких и адаптивных систем, способных эффективно реагировать на непредвиденные изменения и препятствия в реальном времени.

На основе анализа существующей литературы, включая работы Долгова из Стэнфордского университета [1], Лавалле и Куфнера из Университета Иллинойса в Урбана-Шампейн [2], а также исследование, представленное на конференции AAAI в 2002 году [3], были выявлены перспективные направления для улучшения методов планирования маршрутов. Интерес вызвали подходы, основанные на вероятностном планировании и алгоритмах машинного обучения, открывающие новые возможности для адаптации к динамическим условиям среды.

В ходе исследования были разработаны и апробированы алгоритмы планирования, интегрирующие вероятностные модели для предсказания потенциальных изменений в окружающей среде, таких как появление новых препятствий или изменение траектории движения других объектов. Эти алгоритмы были дополнены механизмами машинного обучения, позволяющими системам самостоятельно обучаться и оптимизировать стратегии планирования маршрута на основе накопленного опыта.

Экспериментальная проверка модифицированных алгоритмов проводилась в два этапа: моделирование в среде ROS Gazebo и последующем испытании на реальной модели алгоритма для перестройки маршрута при внезапном возникновении препятствий во время движения.

Эта задача была усложнена введением динамически меняющихся условий окружающей среды, включая перемещение объектов, изменение конфигураций пространства и вариативность условий освещения.

В ходе моделирования в ROS Gazebo была создана виртуальная среда, имитирующая реальные условия эксплуатации роботов, включая сложные препятствия, такие как движущиеся объекты и изменяющиеся проходы. Это дало возможность выявить ключевые проблемы и недостатки существующих подходов, особенно в части их способности к быстрой адаптации к новым обстоятельствам.

Испытания на реальной модели позволили проверить применимость и эффективность разработанных алгоритмов. Реализация алгоритма перестройки маршрута была осуществлена на автономном мобильном роботе, оснащённом датчиками расстояния и камерами для восприятия окружающей среды. В ходе испытаний робот успешно демонстрировал способность к самостоятельной перестройке маршрута при возникновении непредвиденных препятствий. Особое внимание было уделено анализу реакции системы на сложные сценарии, такие как динамические изменения в расположении препятствий, которые требовали от робота не только изменения маршрута, но и переоценки стратегии движения в целом.

Результаты экспериментов подтвердили эффективность предложенных подходов, демонстрируя улучшение в способности мобильных роботов адаптироваться к динамическим изменениям окружающей среды. Таким образом, алгоритмы планирования маршрута, разработанные в рамках исследования, способны обеспечить высокую степень адаптации, обеспечивая эффективное преодоление препятствий и минимизацию времени достижения, а также повысить общую эффективность систем планирования маршрута для автономных роботов.

1. Dolgov, D., et al. "Practical and Efficient Path Planning for Autonomous Driving in Unknown Environments." Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2008. URL: https://ai.stanford.edu/~ddolgov/papers/dolgov_gpp_stair08.pdf (Дата обращения: 01.02.2024)
2. LaValle, S.M., Kuffner, J.J. "Randomized Kinodynamic Planning." The International Journal of Robotics Research, 20(5):378-400, 2001. URL: <https://msl.cs.uiuc.edu/~lavalle/papers/LavKuf01b.pdf> (Дата обращения: 01.02.2024)
3. Koenig, S., Likhachev M. "Integrated Techniques for Constraint Relaxation and Probabilistic Planning." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2002. URL: <https://cdn.aaai.org/AAAI/2002/AAAI02-072.pdf> (Дата обращения: 01.02.2024)

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ТОРМОЗОМ СКОЛЬЖЕНИЯ

Брель В.В.

Гомельский государственный технический университет
имени П.О.Сухого,
Гомель, Республика Беларусь.

Асинхронный двигатель с тормозом скольжения является простым устройством. Обладает низкой стоимостью, высокой надежностью и долговечностью, малой мощностью управления, облегчает автоматизацию различных процессов и режимов работы.

К недостаткам тормоза скольжения относятся громоздкость и низкий КПД при работе на пониженных частотах вращения [1, 2]. В тоже время АД с встраиваемым тормозом скольжения является компактным. Компактность требует особый порядок расчета параметров тормоза скольжения.

Задача проектного расчета состоит в том, чтобы по известным геометрическим размерам тормоза скольжения построить механическую характеристику, при этом, необходимо получить максимально возможный тормозной момент в области высоких и средних скоростей вращения ротора.

Анализ выражений для магнитной индукции приводит к выводу, что значение для переменнопольсных магнитных систем в несколько раз больше, чем для одноименнопольсных магнитных систем. Поэтому по соображениям компактности конструкции АД с тормозом скольжения предлагается изготавливать с переменнопольсным тормозом скольжения, хотя это и приводит к некоторому усложнению конструкции.

При расчете и проектировании магнитной системы тормоза скольжения, как показывает анализ уравнения тормозного момента, большое значение также имеет выбор и расчет оптимальных значений следующих параметров: активный диаметр якоря; активная длина якоря, определяемая длиной зубцов; количество зубцов-полюсов индуктора; удельное сопротивление материала якоря; абсолютная магнитная проницаемость материала якоря. Использование автором метода конечных элементов для расчета магнитной системы позволило спроектировать оптимальные конструкции тормоза скольжения.

Порядок расчета тормоза скольжения, можно применять для расчета тормоза скольжения встраиваемого в базовый электродвигатель.

1. Александров М.П., Лысяков А.Г. Тормозные устройства. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.
2. Щетинин, Т.А. Электромагнитные муфты скольжения / Т.А. Щетинин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 272 с.

ТВЕРДОТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ПЕЧАТНЫМ СТАТОРОМ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ SOLIDWORKS

Буйвид А.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Конструкции применяемых на сегодняшний день электродвигателей известны на протяжении почти сотни лет, и их модернизация происходит в направлении улучшения механических и регулировочных характеристик и повышения эффективности при работе. Совершенно новый тип электродвигателя был изобретён и запатентован в 2016 году американским производителем электродвигателей Infinitum Electric, который разработал технологию производства щёточных и бесколлекторных двигателей с осевым магнитным потоком со статором, изготовленным на печатной плате [1]. Этот тип электродвигателей получил название PCB Motor.

Двигатели с печатным статором произвели революцию в области моторостроения благодаря своим минимальным массогабаритным показателям, низкому энергопотреблению и возможности точного управления, что открыло возможности для их применения в ограниченном пространстве, где важна энергоэффективность и требуется точное управление движением – от систем стабилизации мультикоптеров до механизмов фокусировки видеокамер и звеньев промышленных роботов.

Актуальность применения двигателей с печатным статором всё более возрастает, вместе с тем методика их конструирования и расчёта ещё недостаточно исследована. В рамках данной публикации предлагается проанализировать конструкцию двигателя с печатным статором с помощью твердотельного моделирования в программном пакете САПР Solidworks.

Общий вид PCB двигателя и расположение его внутренних деталей в разрезе показаны на рис. 1 а), б).

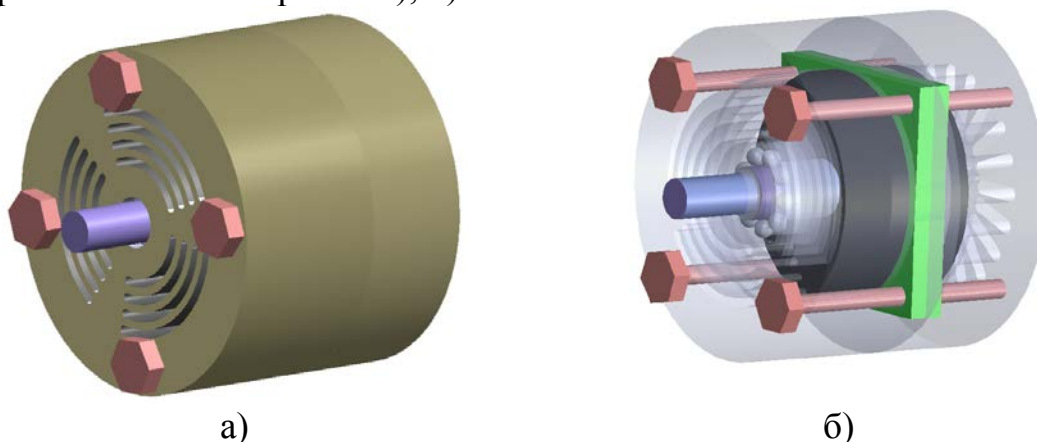


Рис. 1. а) общий вид PCB двигателя; б) внутренние узлы и компоненты PCB двигателя в разрезе

Ротор и статор РСВ двигателя интегрированы в печатную плату. Печатная плата служит механической структурой компонентов двигателя, электрическим соединением и корпусом. Двигатель с печатным статором работает по известному принципу вращающегося магнитного поля, где взаимодействие между магнитными полями ротора и статора создает вращательное движение, но при этом отсутствуют медные обмотки, требующие специализированного и дорогостоящего оборудования, а также листы электротехнической стали, что значительно снижает стоимость, массу и сложность производства двигателей [1].

Основные узлы двигателя с печатным статором показаны на рис. 2.

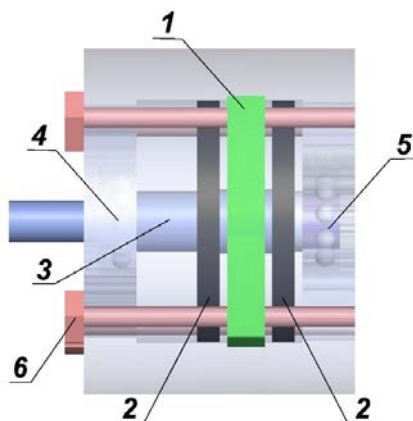


Рис. 2. Основные узлы и компоненты двигателя с печатным статором:
1 – печатный статор; 2 – стальные пластины ротора с постоянными магнитами; 3 – вал; 4 – подшипниковый узел; 5 – вентилируемый кожух с подшипниковым узлом; 6 – винты корпуса.

Двигатели с печатным статором обладают высокой эффективностью, преобразуя большой процент входной электрической мощности в выходную механическую мощность. Кроме того, компактная конструкция и небольшая масса позволяют интегрировать их в системы с ограниченным пространством [1].

Двигатель с печатным статором обеспечивает точный контроль скорости, положения и крутящего момента, что делает его пригодным в системах управления положением в качестве серводвигателя. Кроме того, РСВ двигатель является энергоэффективным, потребляющим минимальную мощность и обеспечивающий желаемый уровень производительности [1].

Таким образом, моделирование конструкции РСВ двигателя в среде Solidworks показало сравнительную простоту конструкции узлов, при этом учитывая описанные преимущества РСВ двигателей над традиционными двигателями постоянного и переменного тока, вероятно, что их распространение будет всё больше возрастать с развитием технологий.

1. Auer, D., Leitner, S., Muetze, A. PCB motors for sub-fractional HP auxiliary fan drives: a feasibility study. / David Auer, Stefan Leitner, Annette Muetze. // Elektrotech. Inftech (139), 2022. – P. 139–148. <https://doi.org/10.1007/s00502-022-01006-3>

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ УЧЁТА КНИГ В БИБЛИОТЕКЕ

Буцанец С.А., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Библиотека (греч. «место хранения книг») – учреждение, хранящее собранные произведения печати и письменности для общественного пользования и осуществляющее справочно-библиографическую работу. Библиотеки отражают потребность человечества в накоплении знаний, культурном и интеллектуальном развитии [1].

Несмотря на популярность электронных изданий во всем мире, «физические» библиотеки не утратили свою значимость. Учёт книг – один из важнейших процессов организации библиотечного фонда. Без эффективной системы учёта поиск нужной информации занимает большое количество времени, потеря печатных изданий и их воровство трудно контролировать.

Для упрощения ведения учёта книг можно использовать программные средства, которые автоматизируют труд библиотекарей, избавляя тем самым от ручной записи поступивших книг, долгого поиска необходимой литературы на полках, самостоятельного учёта должников. Программы учёта книг предназначены для автоматизации ведения учёта как в небольших домашних библиотеках, так и в больших научных. Ведение учёта в подобных системах позволяет быстро осуществлять поиск по читателям книг, авторам и названиям произведений, контролировать даты возврата книг и вести учёт должников.

Наиболее известные специализированные программы: ИРБИС; ОРАС-Global; МАРК-SQL; ПК «БиблиоГраф». Они позволяют вести электронные каталоги книг, газет, журналов, других печатных изданий, базы данных читателей, работников библиотек, отслеживать выдачу и приём книг, вести отчетную документацию.

Данные программы автоматизируют весь цикл учёта библиотечного фонда, начиная с момента поступления книги в библиотеку, заканчивая её списанием. Ведутся статистические отчёты о работе библиотеки. За любой период можно узнать количество посетителей, количество выданных печатных изданий, количество записавшихся в библиотеку и любую другую статистику.

1. О библиотеках, книгах и чтении [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://penzacitylib.ru/index.php?option=com_k2&view=item&id=103
2. Автоматизированные библиотечно-информационные системы: состояние и перспективы [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://laleshin.narod.ru/pto/T-4-2.pdf>

АЛГОРИТМ МОНИТОРИНГА ВИБРАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА

Бушtruk А. А.¹, Бушtruk Т.Н.²

1) Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров;

2) Самарский государственный университет путей сообщения,
Российская Федерация

Железнодорожный транспорт оказывает на прилегающие территории различного рода воздействия. Регламентируемые мероприятия направлены, как на формирование мониторинговой системы, так и на улучшение и совершенствование технологических режимов функционирования оборудования. Создание мониторинговой системы по контролю и исследованию воздействия вибрации на прилегающие к железнодорожному полотну территории является, безусловно, актуальной задачей. Мониторинговая система должна включать технические средства, обеспечивающие текущий и выборочный контроль и измерение исследуемых параметров, нормируемые и регламентируемые допустимые значения вибрации и шума (карты полей), программное обеспечение для проведения идентификации временной последовательности значений вибрации (шума) и модуль построения прогноза [1, 2,4]. Интерпретируется процесс линейным звеном с дробно-рациональной передаточной функцией при подаче на его вход сигнала типа белый шум с гауссовским распределением. Фиксируемые участки временного процесса аналитически можно представить следующим образом

$$y(t; \Delta t_1) = \int_0^{\infty} h(\mu_1; \Delta t_1) x(t - \mu_1) d\mu_1, y(t; \Delta t_2) = \dots = y(t; \Delta t_l) = \int_0^{\infty} h(\mu_l; \Delta t_l) x(t - \mu_l) d\mu_l,$$

В выражении $x(t) = \sigma \delta(t)$ – белый шум с неизвестным среднеквадратическим отклонением σ , $\delta(t)$ – дельта функция, $h(\mu_i; \Delta t_i)$ – импульсная переходная характеристика (ИПХ) квазистационарного линейного формирующего фильтра, $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots = \Delta t_l$. В процедуре обработки временных последовательностей вычисляются взаимные корреляционно-спектральные функции между произвольно выделенными равными по продолжительности реализациями временного процесса.

Используются сигналы $y(t) = \int_0^{\infty} h_{\phi\phi}(\theta) x(t - \theta) d\theta$ $z_1(t - \tau_1; \Delta t_\gamma) = \int_0^{\infty} h_\phi(\mu_\gamma) y(t - \tau_1 - \mu_\gamma; \Delta t_\gamma) d\mu_\gamma$,

где $\gamma, q = \overline{0, l}$, $h_\phi(t)$, $h_{\phi\phi}(t)$ – ИПХ полосового фильтра и формирующего фильтра. Алгоритм корреляционно-спектральной идентификации основан на вычислении корреляционных функций

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \frac{1}{t_0 - (\tau_2 - \tau_1)} \int_0^{t_0 - (\tau_2 - \tau_1)} z_2(t - \tau_2; \Delta t_\alpha) z_1(t - \tau_1; \Delta t_\beta) dt, \tau_2 \geq \tau_1,$$

где $\alpha, \beta, c, d = \overline{0, l}$ (участки временных последовательностей).

Получение модели временного ряда сводится к оценке значений постоянных времени, масштабных коэффициентов, показателей степени полиномов числителя и знаменателя дробно-рациональной передаточной функции линейного звена формирующего фильтра [1, 4].

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty h_{\phi\phi}(\theta_1; \Delta t_\alpha) h_{\phi\phi}(\theta_2; \Delta t_\beta) h_{\phi_2}(\mu_\alpha) h_{\phi_1}(\mu_\beta) \times \dots$$

В приведенное выше выражение входят импульсные переходные характеристики формирующего фильтра (опорная модель) временного ряда и импульсные переходные характеристики полосовых фильтров в структуре корреляционно-спектрального анализатора [1, 3, 4]. Приведенные интегралы вычисляются на основе фильтрующего свойства δ -функций и свойства эрмитовой симметрии для формирующего фильтра

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega_0) K_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega_0) \cos\{\omega_0(\tau_2 - \tau_1) - \Psi_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega_0) + \Psi_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega_0)\}.$$

В полученном выражении $K_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$, $\Psi_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$ - модуль комплексного коэффициента передачи и фазовая характеристика комплексного коэффициента передачи формирующего фильтра. Использование этих характеристик - $K_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$, $\Psi_{\phi\phi}^{(\cdot)}(\omega_0)$ обеспечивает получение информации о порядках полиномов числителя и знаменателя передаточной функции линейного звена (формирователя временного ряда), постоянных времени и масштабных коэффициентов [2, 3]. В результате проведения процедуры идентификации участков временного ряда измерений вибропараметров железнодорожного полотна получаем аналитическое выражение для модели временного ряда.

Таким образом, компоненты системы мониторинга, включающей контрольно-измерительный блок, модуль идентификации временного ряда с необходимым программным обеспечением, органично объединяются в едином комплексе, обеспечивая его эффективное функционирование.

1. Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием// А и Т. – 2011. - № 7. – С. 147-158.
2. Кун Макс, Джонсон Кьелл Предиктивное моделирование на практике. – СПб.: Питер, 2019. – 640 с.
3. Буштрук Т. Н. Двухэтапная идентификация нелинейных объектов и процессов в адаптивных системах управления /Вестник транспорта Поволжья: научно-технич. журнал. – Самара: СамГУПС, 2019. – Вып. № 1 (73). – С. 72-79.
4. Буштрук Т. Н., Засов В. А. Перспективные направления моделирования и идентификации динамических систем : монография / Т. Н. Буштрук, В. А. Засов. – Самара : СамГУПС, 2019. – 158 с.

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РЕЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ СКОРОСТНЫМ КОМБИНИРОВАННЫМ ВЫДАВЛИВАНИЕМ

Быков К. Ю., Качанов И. В., Ленкевич С. А., Шаталов И. М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью проведенных исследований было получение экспериментальных биметаллических образцов резцов и уточнение оптимальных технологических параметров процесса скоростного комбинированного выдавливания.

На начальном этапе, для достижения полного заполнения матричной полости и полости промежуточного бойка начальная температура штамповки составляла $T_0 = 1240$ °С, начальная скорость деформирования $v_0 = 100$ м/с, при диаметре хвостовой части резца $d_1 = 19$ мм. Тем самым обратное выдавливание в полость промежуточного бойка осуществлялось с коэффициентом вытяжки хвостовой части резца $\lambda_1 = 3,34$.

На рисунке 1 представлен экспериментальный образец, выдавленный с начальной скоростью деформирования $v_0 = 100$ м/с.



Рисунок 1 – Внешний вид биметаллического резца выдавленного с начальной скоростью деформирования $v_0 = 100$ м/с ($T_0 = 1240$ °С; $\lambda_1 = 3,34$)

По результату проведенного эксперимента было достигнуто полное заполнение матричной полости и полости промежуточного бойка, однако, наблюдались избыточное образование заусенца по разъему полуматриц, а также излишне повышенная температура выдавленного резца, что говорит о значительном превышении требуемой энергии выдавливания. Кроме того, при извлечении выдавленного резца из штамповой оснастки на нем образовывались поверхностные дефекты ввиду избыточной пластичности

металла в конце процесса выдавливания, а также, в некоторых случаях, наблюдалось разрушение промежуточного бойка (рисунок 2).

Учитывая вышеизложенное, начальная скорость деформирования была скорректирована до значений $v_0 = 80$ м/с.



Рисунок 2 – Характер разрушение промежуточного бойка

На рисунке 3 представлен экспериментальный образец, полученный с измененной начальной скоростью деформирования $v_0 = 80$ м/с.



Рисунок 3 – Внешний вид биметаллического резца выдавленного с начальной скоростью деформирования $v_0 = 80$ м/с ($T_0 = 1240$ °С; $\lambda_1 = 3,34$)

По результату проведенного эксперимента было достигнуто полное заполнение матричной полости и полости промежуточного бойка металлом с минимальным образованием заусенца по разъему полуматриц. Таким образом, были установлены оптимальные технологические параметры скоростного комбинированного горячего выдавливания для получения биметаллического резца.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАК ПОТРЕБИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Важным критерием оценки использования асинхронного электропривода (АЭП), является его эффективность как потребителя электроэнергии. Мерой эффективности, определяющей уровень реактивной энергии в цепях переменного тока, служит $\cos \varphi$ потребителя, а при питании несинусоидальным напряжением от преобразователей частоты (ПЧ), для оценки значения реактивной энергии пользуются коэффициентом мощности K_M . При питании постоянным током или наличии в цепях только активных сопротивлений, при одной и той же средней мощности за период $P_{cp} = UI \cos \varphi$ при данном напряжении U в системе протекает только активная составляющая тока $I_a = I \cos \varphi$. Потери в электрической системе, определяемые полным током I при заданной активной мощности $P = P_{cp}$, можно рассчитать по формуле

$$\square P = I^2 R_{\Sigma} = \left(\frac{P}{U} \right)^2 R_{\Sigma} \frac{1}{\cos^2 \varphi}, \quad (1) \quad \text{или} \quad \Delta P = \Delta P_{пт} \frac{1}{\cos^2 \varphi} \quad (2),$$

где $\Delta P_{пт}$ - потери активной мощности на постоянном токе.

Более сложная картина при оценке реактивной мощности наблюдается при питании АД несинусоидальным переменным током от ПЧ. Рассматривая проблемы уменьшения потерь в разных АЭП, целесообразно проанализировать потребление реактивной мощности. Этот показатель определяет энергетическую эффективность работы электроприводов, их влияние на питающую сеть и электромагнитную совместимость управляемых полупроводниковых АЭП с питающей сетью.

Для системы ПЧ-АД как потребителя электрической энергии в установившемся режиме работы рассмотрим потребляемую из сети реактивную мощность. Для расчета реактивной мощности на входе ПЧ воспользуемся формулами, полученными в предположении отсутствия высших гармоник в кривых токов и напряжений ПЧ, электрических потерь в вентилях выпрямителя и полупроводниковых ключах автономного инвертора напряжения, а также потерь в стали реакторов. При этих допущениях реактивная мощность на входе ПЧ определяется по формуле

$$Q = \frac{18}{\pi^2} \omega_{0\mathcal{E}} L_{p.вх} i_B^2. \quad (3)$$

Формула (3) показывает, что реактивная мощность Q зависит от величины выходного тока выпрямителя i_B и индуктивного сопротивления

$X_{p.вх} = \omega_{0\omega} L_{p.вх}$ коммутирующего реактора. Ток i_g при регулировании скорости и изменения момента нагрузки является переменной величиной. Это означает, что на потребление Q влияет ток статора i_1 и активная мощность P_1 , потребляемые от ПЧ. Ток статора i_1 , мощность P_1 и ток i_g связаны уравнением баланса мощностей ПЧ, которое для определения тока инвертора преобразуется к биквадратному уравнению

$$Ai_B^4 + Bi_B^2 + C = 0, \quad (4)$$

где коэффициенты A, B, C определяются из выражений [1].

На основании формулы (3) с учетом уравнения баланса мощностей в ПЧ можно сделать следующие выводы. Реактивная мощность на входе Q и реактивная мощность на выходе Q_1 ПЧ не равны друг другу. Так как мощность Q определяется при заданных параметрах реактора ПЧ током статора и активной мощностью АД, то при регулировании скорости вниз от основной скорости вращения АД реактивная мощность на входе ПЧ будет уменьшаться, а при постоянстве скорости АД с увеличением момента нагрузки на валу мощность Q будет возрастать. При этом входная реактивная мощность ПЧ отличается от его выходной мощности при любых знаках Q_1 и P_1 . Мощность Q всегда является положительной, то есть она потребляется от источника питания выпрямителем.

Ввиду незначительной величины реактивного сопротивления коммутирующего реактора потребление мощности Q при рабочих нагрузках достаточно мало. При $L_{p.вх} \rightarrow 0$ мощность $Q \rightarrow 0$.

Другим важным сетевым энергетическим показателем частотно-регулируемого АЭП является коэффициент мощности на входе преобразователя. В рамках принятых допущений коэффициент мощности по основным гармоническим составляющим сетевого тока и напряжения

$$k_{M(1)} = PS^{-1}. \quad (5)$$

Определяем активную и полную мощность электропривода

$$P = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} i_g \left[u^2 - \left(\frac{2\sqrt{3}}{\pi} X_{p.вх} \right)^2 i_g^2 \right]^{1/2}, \quad (6) \quad S = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} u i_g. \quad (7)$$

Из (5)...(7) следует, что при $L_{p.вх} = 0$ полная и активная мощности равны. В этом случае потребление от сети реактивной мощности отсутствует и коэффициент мощности $k_{M(1)} = 1$. Однако на практике из-за наличия конечного индуктивного сопротивления $X_{p.вх}$ коэффициент мощности $k_{M(1)} < 1$. Коэффициент мощности $k_{M(1)}$ зависит от момента M и скорости ω , а также режима управления двигателем.

1. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш. Энергосберегающий асинхронный электропривод - М.: АСАДЕМА, 2004. – 202с.

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ И ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гируцкий И.И.

Белорусский государственный аграрный университет
Минск, Республика Беларусь

Общесистемной базой цифровизации сельского хозяйства является достижения промышленных технологий. Но наличие в объекте управления биологической составляющей и непрерывный характер сельскохозяйственного производства определяют особые требования к автоматизации и роботизации таких биотехнических объектов. Причем значительные расширения внедрения средств автоматизации и роботизации связано с появлением микропроцессорной техники, надежной, адаптивной и относительно дешевой [1].

Началом автоматизации технологических процессов с помощью вычислительной техники можно считать появление в 1969 году, по заказу американской фирмы GM, программируемого логического контроллера (ПЛК). Первый ПЛК был разработан на обычных микросхемах транзисторно-транзисторной логики. Но благодаря своей универсальности и возможности изменения алгоритма управления путем перепрограммирования без необходимости перемонтажа стал эффективной альтернативой релейно-контактным схемам.

Сельское хозяйство, представляющее собой сложный биотехнический объект управления, предъявляет к системам управления ряд высоких требований, таких как надежность, многофункциональность, возможность построения распределенных систем управления, низкая стоимость и другие, которым и соответствуют микропроцессорные программируемые контроллеры.

Первым массовым внедрением ПЛК в сельское хозяйство Беларуси можно считать разработку автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) приготовления и раздачи жидких кормов свиньям. В настоящее время в сельскохозяйственное производство широко внедряются не только автоматизированные, но и роботизированные технологии. Исключение человека из процесса управления позволяет непрерывно, перейти к круглосуточной раздаче кормов, без участия человека, круглосуточно выполнять необходимые технологические операции по содержанию и уходу за животными и растениями, что коренным способом обеспечивает повышение продуктивности и снижению металло- и энергоемкости технологического оборудования [3].

Одним из наиболее перспективных направлений повышения эффективности управления сельскохозяйственным производством является использование опико-электронных методов бесконтактного

мониторинга биотехнических объектов сельскохозяйственного производства. Так использование информационных систем на базе геоинформационных технологий позволяют решать следующие задачи повышения конкурентоспособности сельскохозяйственного производства.

Для обеспечения руководителей комплексом необходимой для принятия управленческих решений информации на платформе ГИС создается база данных, содержащая: цифровую модель местности, на которой осуществляются агротехнические операции; сведения о дистанционном зондировании; информацию о свойствах и характеристиках почв и т.д. [4,5].

В животноводстве развиваются системы оптической идентификации коров. Перспективным направлением является получение и анализ термографических снимков животных с целью диагностики их состояния [6].

Темпы перемен зависят от качества подготовки будущих специалистов. В БГАТУ создана программно-техническая база для инновационной подготовки активных специалистов в области построения современных систем управления производством.

1. Гируцкий, И.И. Микропроцессорная техника систем автоматизации/ И.И. Гируцкий, А.Г. Сеньков.// Минск, БГАТУ, 2022.- 222 с.
2. Протокол №36-92 государственных приемочных испытаний опытного образца автоматизированной системы управления технологическим процессом кормления свиней// Белорусская государственная сельскохозяйственная машиноиспытательная станция. 1992.- 33 с.
3. Гируцкий И.И. Точное управление откормом свиней, [электр] /И.И. Гируцкий// Труды 6-ой Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления», ИПУ РАН, Москва, 2007.- с.508-525.
4. <https://integral-russia.ru/2020/07/30/tsifrovaya-platforma-razvitiya-agropromyshlennogo-kompleksa-kontseptsiya-i-osnovnye-tezisy/> Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей.
5. Робот над полем. [Текст] / И. Дашковский, И. Шивков // Агротехника и технологии: ООО "Москоутаймс". - 2017. - N 6. - С. 32-35. : цв. ил.
6. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Довлатов И.М., Юрочка С.С., Хакимов А.Р. Определение методом инфракрасной термографии заболеваний вымени коров маститом и их влияния на продуктивность // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. с. 4-9.

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МУЛЬТИКОПТЕРОВ

Гу Пэнхао, Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Летательные аппараты (ЛА) относятся к сложным техническим устройствам, производство, эксплуатация и исследование которых требует создания математических моделей, позволяющих решать задачи анализа и синтеза их подсистем и элементов без проведения натурных испытаний, которые требуют привлечения значительных материальных средств, а иногда и риска для людей. Значение математического моделирования ЛА существенно возросло в связи с широким распространением беспилотных летательных аппаратов (БЛА), у которых на борту отсутствует человек-оператор (пилот), что дает возможность широкого применения достижений науки и техники в конструкции и системах управления БЛА.

Вопросы математического моделирования движения ЛА достаточно изучены и исследованы за десятилетия существования данных задач. В основе построения математических моделей полёта ЛА лежат законы кинематики и динамики движения твердого тела атмосфере. Однако, интенсивное развитие современных технологий позволяет конструкторам и инженерам создавать ЛА, которые соединяют в себе такие свойства ЛА, которые ранее считались принципиально противоречивыми и несовместимыми между собой. Это касается в первую очередь достижений в области создания двигателей для ЛА, построенных на новых физических принципах, а также – автоматических систем управления аэродинамическими силами, создаваемыми различными частями конструкции ЛА, комбинированием различных по природе сил и моментов, действующих на ЛА.

В отдельную перспективную интенсивно развивающуюся группу ЛА следует отнести ЛА (БЛА) мультироторного типа (мультикоптеры). Данный тип ЛА имеет несколько двигателей (как правило – винтовых), управление которыми позволяет изменять вектор \dot{P} по величине и направлению. Управление вектором \dot{R} здесь как правило не используется, а влияние вектора \dot{R} сказывается на движении ЛА только в виде силы аэродинамического сопротивления.

В основе построения математической модели полета мультикоптера как правило лежит математическая модель четырехдвигательного БЛА (квадрокоптера), как самой простой. Построение математических моделей с большим количеством двигателей (винтов) отличается проецированием сил и моментов, создаваемых двигателями БЛА на оси связанной с конструкцией БЛА (строительной) трёхосевой системы координат [1].

При составлении математической модели движения БЛА необходимо учитывать его аэродинамическую и конструктивную компоновку. В работе [1] рассматривается наиболее распространенная четырехвинтовая конструкция БЛА мультироторного типа (квадрокоптер), схема которого представлена на Рис. 1.

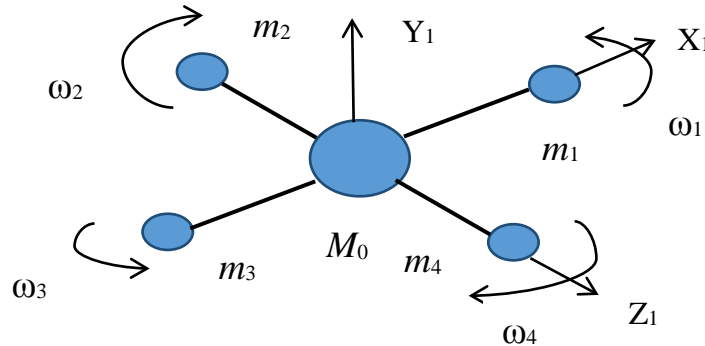


Рис. 1. Конструктивная схема квадрокоптера

Для перемещения БЛА по заданной (требуемой) траектории $\dot{S}_T(t)$ необходимо синтезировать закон управления БЛА в виде векторного ускорения центра масс БЛА $\dot{a}_T(t)$. Изменением величин скоростей вращения винтов БЛА достигается соответствующее значения вектора тяги $\dot{P}(t)$, формирующего фактическую траекторию движения БЛА $\dot{S}_\Phi(t)$. Обобщенная структурная схема процесса управления траекторией движения БЛА представлена на Рис. 2.

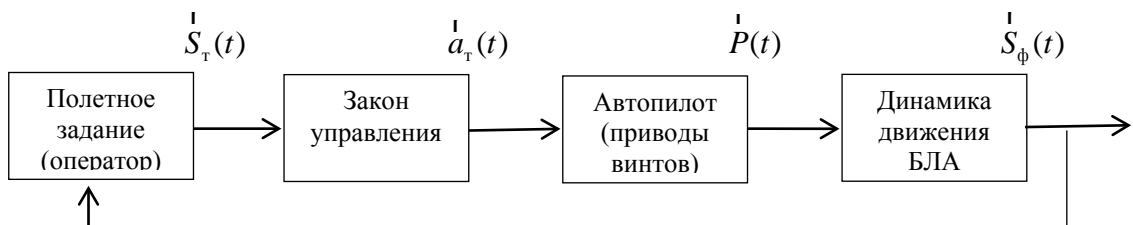


Рис. 2. Обобщенная структурная схема процесса управления Б

При рассмотрении математической модели пространственного движения БЛА обязательно следует учитывать направление осей применяемой системы координат (X, Y, Z) , так как в различных источниках оно может быть различным.

1. Гу Пэнхао. Математическое моделирование движения летательных аппаратов мультироторного типа / А.А. Лобатый, Гу Пэнхао // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1 – С. 10-15.

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ СИЛ СРЕДИ ПОСТОЯННЫХ. МАГНИТЫ В МАССИВЕ ХАЛЬБАХА

Губарь В.М., Прохорович С.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В последние годы были разработаны плоские актуаторы на магнитной подвеске [1], [2] в качестве альтернативы приводам, состоящим из сложенных друг на друга линейных приводов для таких требовательных применений, как этапы изготовления пластин.

Плоские приводы с подвижным магнитом демонстрируют многообещающие характеристики, однако они еще не обеспечивают требуемой точности позиционирования. Для достижения более высокой точности позиционирования необходимо выполнить несколько шагов. Одним из таких шагов является моделирование гибких режимов транслятора, который состоит из алюминиевой пластины, на которой установлена матрица постоянных магнитов Хальбаха. С этой целью необходимо понимание силы взаимодействия между постоянными магнитами в массиве Хальбаха.

Показанная матрица Хальбаха состоит из 2X2 постоянных магнитов, намагниченных в -направлении, и показана на рис. 1. Постоянный неодим-железо-бор (NdFeB)

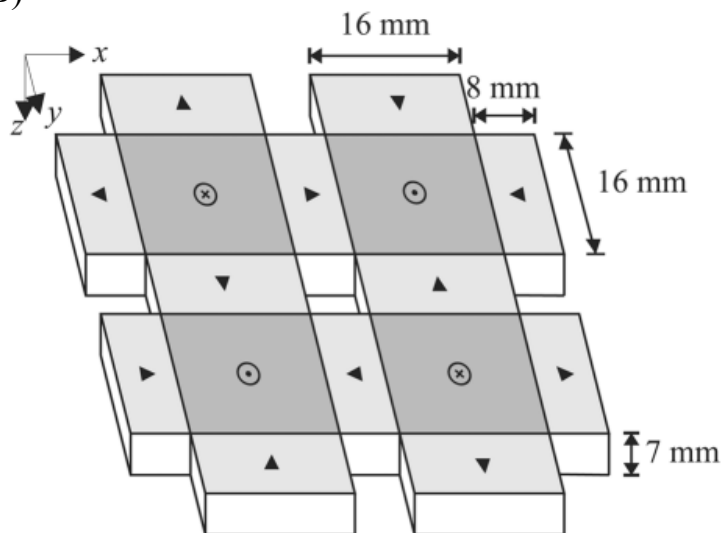


Рисунок 1. 2X2 матрица Хальбаха из постоянных магнитов.
Направление каждого указано стрелками.

Механическая конструкция, на которой установлен массив постоянных магнитов, будет деформироваться из-за магнитных сил, которые постоянные магниты оказывают друг на друга. Эта деформация была рассчитана с помощью механического моделирования FEM[5], для которого было сделано несколько допущений и упрощений:

Во-первых, магнитная пластина, на которой установлена матрица Хальбаха, цельная и изготовлена из изотропного алюминия с модулем Юнга 60 ГПа, плотностью 2600 кг/м и толщиной 5 мм.

Во-вторых, рассматриваются только силы, действующие в z -направлении, поскольку эти силовые составляющие являются доминирующими при деформации, и предполагается, что эти силы действуют на поверхность магнитной пластины непосредственно над центром постоянного магнита.

В-третьих, из-за ненулевого расстояния между магнитами и низкой жесткости клея по сравнению с алюминием в общей жесткости магнитного узла преобладает алюминиевая пластина, а влиянием магнитов и клея пренебрегают.

В-четвертых, магнитная пластина закреплена в угловых точках и сила реакции на этих закрепленных границах равна нулю (проверено, что аналогичные результаты получены и для других граничных условий).

Схематический вид поперечного сечения алюминиевой пластины с магнитами представлен на рис. 2. Размеры элементов сетки в (x,y,z) -направлении $2 \times 2 \times 1$ мм



Рисунок 2. Сечение алюминиевой пластины с постоянными магнитами.

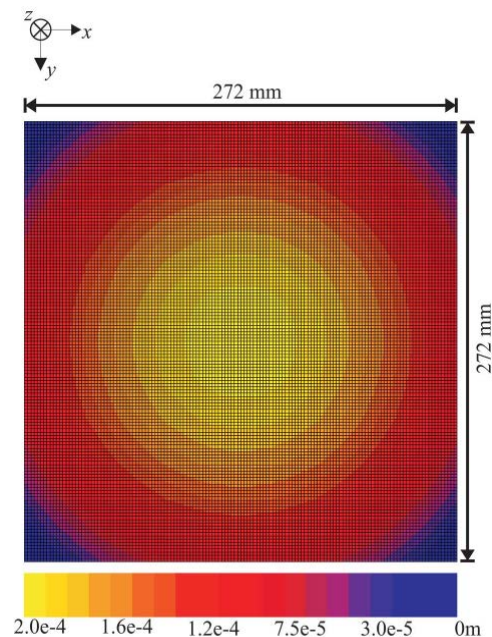


Рисунок 3. Деформация магнитной пластины. Легенда указывает на локальное смещение z -направление.

Результаты на рис. 3 показывают, что внешние края магнитной пластины имеют тенденцию изгибаться вниз примерно на 0,2 мм по отношению к центру магнитной пластины. Это важно, учитывая точность, требуемую приложениями, для которых разрабатываются эти типы плоских приводов. На практике отклонение в 0,1 мм в Воздушном зазоре приводит к изменению на 1,8% силы, создаваемой плоским приводом представленным в [1].

Вывод:

результаты используются для выполнения механического моделирования методом конечных элементов механической конструкции, на которой установлен массив Хальбаха, чтобы определить, до какой степени механическая конструкция деформируется магнитными силами, генерируемыми массивом Хальбаха. Результаты показывают, что конструкция существенно деформирована.

1. Дж. В. Янсен, К. М. ван Лироп, Е. А. Ломонова и А. Я. Ванденпут, «Безжелезный магнитно-левитирующий плоский привод», Дж. Прил. Физ., том. 103, нет. 7, 2008.
2. Ж. де Бой, Э. Ломонова и Ж. Дуарте, «Бесконтактный плоский привод с манипулятором: система движения без кабелей и физического контакта между двигателем и неподвижным миром», в Учеб. IEEE ИАС, 2008, стр. 1–8.
3. Г. Акун и Ж.-П. Йонне, «3D-аналитический расчет сил, действующих между двумя кубовидными магнитами», IEEE Trans, Магн., том. МАГ-20, нет. 5, стр. 1962–1964, октябрь 1984 г.
4. Дж. Янссен, Дж. Паулидес, Э. Ломонова, Ф. Белони, А. Тунци и Ф. Пириу, «Аналитический расчет силы взаимодействия между ортогонально намагниченными постоянными магнитами», в сб. Учеб. Конференция EMSA., 2008, стр. 88–.
5. Руководство пользователя Flux3D 10.2, 2008 г. Мейлан, Франция, Cedrat Group.

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПО ТЕХНОЛОГИИ АДДИТИВНОГО ФОРМОВАНИЯ БЕТОНОКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Гурский Н.Н., Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современной строительной промышленности при производстве изделий все чаще применяется технология аддитивного формования бетонокомпозитных материалов. Основой этой технологии является 3D модель проектируемого объекта. Для построения модели используются специальные программные средства - 3D редакторы геометрического моделирования трехмерных объектов. Процедура построения модели изделия сложной формы с большим количеством индивидуальных особенностей (окон, проемов, технологических отверстий различных форм и др.) - достаточно трудоемкий этап, требующий значительных профессиональных навыков работы в 3D графическом редакторе.

В настоящей работе рассматривается методика создания цифровой модели строительного изделия, включающая процедуры построения плана объекта (2D проектирование) и трехмерного моделирования, поддерживающие послойное «прямое выращивание (выдавливание)» исходного плана изделия с возможностью учета индивидуальных особенностей создаваемого изделия.

Для построения плана объекта могут использоваться как простейшие графические примитивы, так и ранее разработанные фрагменты, находящиеся в пользовательских библиотеках.

На рисунке 1 показана экранная форма 2D редактора для создания плана проектируемого строительного изделия.

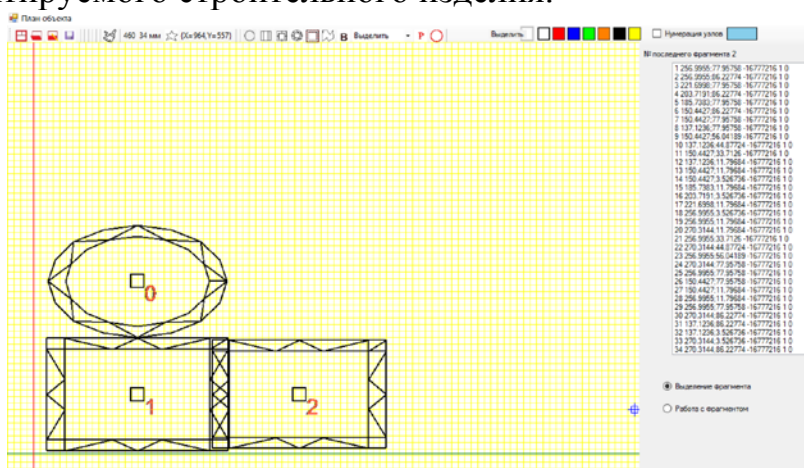


Рис. 1. Окно редактора создания планов объектов строительного назначения

Как видно, в данном примере, для создания плана используются уже существующие фрагменты прямолинейной и криволинейной формы и, при

этом, границы фрагментов имеют ячеистую структуру, что особенно важно для стенок будущего трехмерного объекта с точки зрения жесткости и возможности использования теплоизоляционных материалов.

Следует отметить, что функциональность 2D редактора располагает необходимым набором команд создания, редактирования и сохранения фрагментов в библиотеке элементов. Использование команд для работы с фрагментами позволяет в визуальном режиме перемещать, копировать, вставлять, масштабировать и выполнять другие операции над ними.

Созданный план – это нулевой (начальный) слой 3D модели производимого строительного изделия. В соответствии с предлагаемой методикой, на следующем этапе при выходе из 2D редактора автоматически строится 3D модель изделия, в которой необходимо учесть особенности реального объекта. Один из методов учета индивидуальных особенностей приведен в [1].

На рисунке 2 показана модель строительного объекта, соответствующая полученному на предыдущем шаге плану изделия.

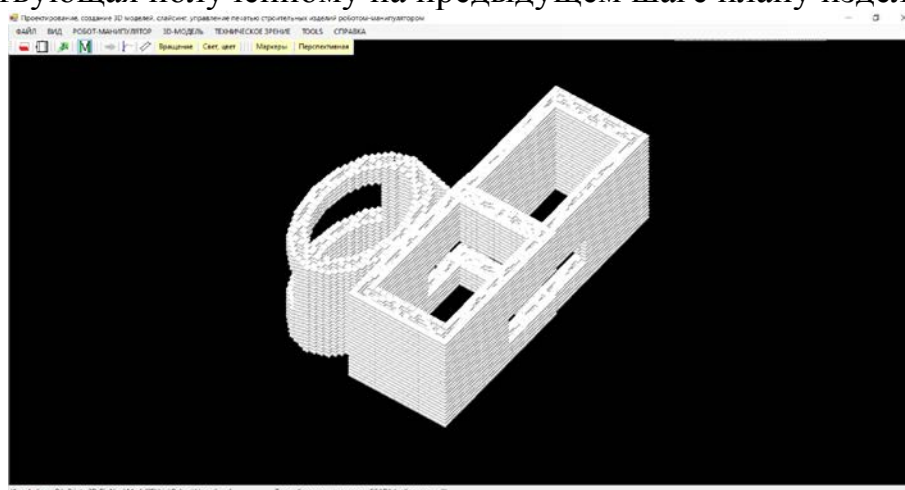


Рис. 2. Модель строительного объекта с несущими элементами ячеистой структуры

Изложенная методика получения 3D модели строительного изделия вписывается в принятый процесс проектирования, базирующийся на разработке плана изделия с последующим автоматизированным построением трехмерной цифровой модели, из которой, после несложных преобразований, может быть получен список команд в виде G-кодов, описывающих технологические движения рабочего органа робота-манипулятора при послойном аддитивном экструдировании бетонокомпозитных материалов в процессе производства строительных изделий способом беспалубочного 3D-бетонирования.

1. Гурский, Н.Н. Технология создания цифровой модели строительного изделия для печати роботом-манипулятором / А.Б. Куприянов, В.М. Трепачко, В.С. Юденков // Математические методы в технологиях и технике. – Санкт-Петербург, 2023. № 10. С. 23-26.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИИ В СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CIM МОДЕЛИ

Гутич И.И., Баштовенко К.О.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Использование Common Information Model (CIM) при реализации телеметрических систем в энергетике играет ключевую роль в стандартизации и интеграции всех процессов. CIM – это стандарт, который определяет единую информационную схему для обмена данными между различными узлами сети, обеспечивает коммуникацию и взаимодействие между различными системами учета и управления.

CIM модель позволяет операторам энергетических систем осуществлять структурированный и стандартизированный обмен данными, что способствует снижению сложности взаимодействия между различными системами, обеспечивает единую точку доступа к информации, а также упрощает интеграцию с другими информационными системами, используемыми в энергетике.

Одним из практических примеров применения телеметрии с использованием CIM модели является осуществление мониторинга трансформаторов в распределительных электрических сетях. В данном случае мониторинг проводится с использованием системы телеметрии, а сама информация структурирована в соответствии с моделью CIM. Это позволяет операторам системы быстро получать информацию о состоянии трансформаторов, их нагрузке, температуре и других важных параметрах.

CIM модель позволяет интегрировать системы учета и управления, что обеспечивает возможность автоматизации процессов принятия решений и оперативного реагирования на изменения в работе оборудования. Это в свою очередь снижает риски аварий, повышает надежность систем и обеспечивает эффективное управление ресурсами.

Стандартизация данных и интеграция с помощью CIM позволяют создавать единую информационную среду, что в итоге способствует повышению производительности, снижению издержек и обеспечению безопасности в энергетике.

Таким образом, совместное использование телеметрии и CIM модели подтверждает свою важность как для более эффективного управления ресурсами, так и для повышения общей надежности и безопасности систем энергетики.

1. Anuradha Annaswamy. (2018). Smart Grid Control: Towards intelligent power systems. Springer.

ОПТИМИЗИРОВАННЫЙ ПРОТОКОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ В ROBOT OPERATING SYSTEM2 (ROS2)

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

- 1) Белорусский национальный технический университет;
- 2) Иностранное производственное унитарное предприятие
«Дана Нетворкс»
Минск, Республика Беларусь

Внедрение Data Distribution Service (DDS) позволило существенно повысить безопасность и надежность функционирования устройств в робототехнических системах, основанных на ROS2. Версия DDS для существенно ограниченных в ресурсах систем (eXtremely Resource-Constrained Environments micro-XRCE-DDS) является основой для информационного взаимодействия встроенных вычислительных систем и микроконтроллеров, реализующих конкретные задачи в робототехнических системах.

Фактически XRCE-DDS представляет программное решение, реализующее взаимодействие на основе клиент-серверного протокола, который позволяет ограниченному в ресурсах клиенту взаимодействовать через XRCE-DDS агента с существующей DDS сетью. Низкие системные требования к оборудованию со стороны клиента основаны на лаконичном использовании оперативной памяти, рост использования которой связан только с использованием стека и расчета 2 кБайта на одно информационное взаимодействие. Специализированные программные библиотеки разработаны в соответствии со стандартом C99 как для операционных систем общего назначения (Linux и Windows), так и для ОС реального времени. По умолчанию могут быть использованы транспортные протоколы UDP или TCP, последовательные каналы передачи данных, а также есть возможность реализации и использования специфичных решений транспортного уровня. Использование XRCE-DDS позволяет получать надежные и производительные режимы передачи данных, которые в первом случае основаны на использовании определенных решений транспортного слоя, а во втором на легких и быстрых подключениях.

Рассматриваемый проект содержит стандартные конфигурации для реализации обмена данными по схемам информационного взаимодействия: издатель/подписчик, запрашивающая/отвечающая сторона и одноранговая сеть (p2p). Разработанный программный интерфейс (API) XRCE-DDS, а также готовые наборы тестовых решений с примерами использования, существенно упрощают понимание основ использования и особенностей функционирования протокола в рамках реализации конкретных технических решений. Программное обеспечение основано на открытом исходном коде и свободно распространяется базе ресурса GitHub.

ОПЕРАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ: FREERTOS, THREADX, ZEPHYR

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

- 1) Белорусский национальный технический университет;
- 2) Иностранное производственное унитарное предприятие
«Дана Нетворкс»
Минск, Республика Беларусь

Наиболее важной компонентой для современных встраиваемых систем и IoT решений является операционная система реального времени (OS RV) или real-time operating system (RTOS). Главной задачей таких ОС является гарантированно успешное выполнение программного кода, который может работать на широком спектре вычислительных средств: от микроконтроллеров до систем управления технологическим оборудованием общего и специализированного назначения.

На рынке существуют решения как от мировых гигантов программной индустрии, таких как Microsoft -ThreadX и Amazon - FreeRTOS, так и продукты, основанные на модели разработки открытым сообществом – Zephyr. Каждый из рассматриваемых продуктов обладает отличительными особенностями, например FreeRTOS работает минимальным потреблением памяти и быстрым выполнением кода, ThreadX славится приоритетным планированием, быстрой обработкой прерываний и синхронизаций потоков, тогда как Zephyr является масштабируемой ОС от микроконтроллеров до встраиваемых систем, в рамках различных архитектур, функционирующих в ограниченных аппаратных ресурсах. Важно понимать, что не все компании удовлетворены тем, что крупные коммерческие корпорации сохраняют непосредственный контроль на своими проектами, даже если они основаны на моделях функционирования открытых программных продуктов. Основными спонсорами, поддерживающими открытый проект Zephyr, являются известные мировые бренды: Intel, Nordic Semiconductor, NXP, SiFive, Synopsys и TI. Фактически Zephyr управляется организацией Linux Foundation, которая, как известно, является лидером в развитии и продвижении передовых технологических решений, а также их коммерческого использования.

Zephyr активно развивается с 2016 года, предоставляя разработчикам устойчивую платформу для профильных приложений. Во многом его бурное развитие основано на нежелании ряда компаний замыкаться на выборе, основанном на продуктах двух технологических лидеров ИТ индустрии. В ряде случаев Zephyr превосходит своих ближайших конкурентов, например, декларируется поддержка более широкого спектра оборудования, лучше реализована надежность сетевых подключений, тогда как широкое распространение FreeRTOS и ThreadX обусловлено широким охватом решений крупных мировых игроков ИТ сферы.

ПОДКЛЮЧЕНИЕ ЭКГ-УСТРОЙСТВА AD8232 К ПЛАТЕ ARDUINO MEGA 2560

Жабборов А. М.

Наманганский инженерно-технологический институт
Наманган, Республика Узбекистан;

В этой работе мы разрабатываем устройство ЭКГ, способное принимать 12-канальный сигнал ЭКГ. Устройство реализовано с использованием одноканального ЭКГ AD8232. Позволяет получать двенадцати отведения ЭКГ с помощью одноканального AD8232, что помогает в ранней диагностике различных заболеваний [1] [2] [3][4][5].

Таблица 1

Необходимые настройки для приема сигналов от модуля ЭКГ

контакты AD8232	Функции выводов	Ардуино ATmega2560	Функции выводов
GND	Земля (минус)	GND	Минусовая клемма
3.3v	источник напряжения	3,3 В	Источник напряжения
OUTPU T	Выходной сигнал	A0	Аналоговый контактный разъем
LO-	расширение выходного порта компаратора (-)	11	Имя контакта
LO+	расширение выходного порта компаратора (+)	10	Имя контакта
SDN	Чтобы заставить работать	-	

Сигнал ЭКГ от пациента сначала получают с помощью трех электродов для всех каналов, кроме расширенных, а для остальных каналов (каналы V1-V6) используем по одному дополнительному электроду. Снятие ЭКГ производится в следующей последовательности.

- Электрод изготовлен из гелевого электрода. Хотя гелевый электрод и одноразовый, он дешевле и удобнее в использовании. Другие типы электродов, например зажимные, более дорогие и требуют дополнительного геля для лучшей проводимости.

- В качестве микроконтроллера мы выбираем 10-битный ATmega на плате Arduino Mega 2560. Подключение к компьютеру осуществляется с помощью последовательного кабеля Arduino.

AD8232 предпочтительнее других устройств. HM301D — трехканальное устройство. ADS1191 не обеспечивает достаточно высокого качества вывода для получения хорошего разрешения. AD8232 имеет лучшее выходное сопротивление и качество вывода. Конструкции

фильтров верхних и нижних частот перечислены в техническом описании AD8232 [3]. В качестве фильтра верхних частот используется двухполосный фильтр верхних частот, а в качестве фильтра нижних частот — двухполосный фильтр нижних частот Саллена-Ки. AD8232 имеет плату ЭКГ 0,5–40 Гц. С помощью этой встроенной платы мы реализуем активные фильтры.

AD8232 выход 3,3 В с в Ардуино подключен (см. рисунок 1).

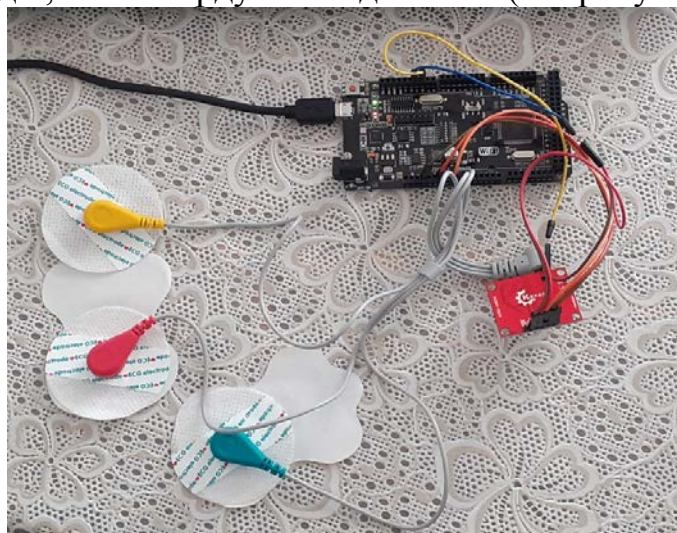


Рисунок 1. Устройство ЭКГ AD8232 и Ардуино Мега 2560

Arduino IDE используется для программирования микроконтроллера, поскольку язык программирования, написанный на нем, очень прост и удобен и может быть интегрирован с другими языками программирования через последовательный порт (в данном случае интегрирован с языком программирования C#). Программа в микроконтроллере используется для определения канала и отправки данных [6][7].

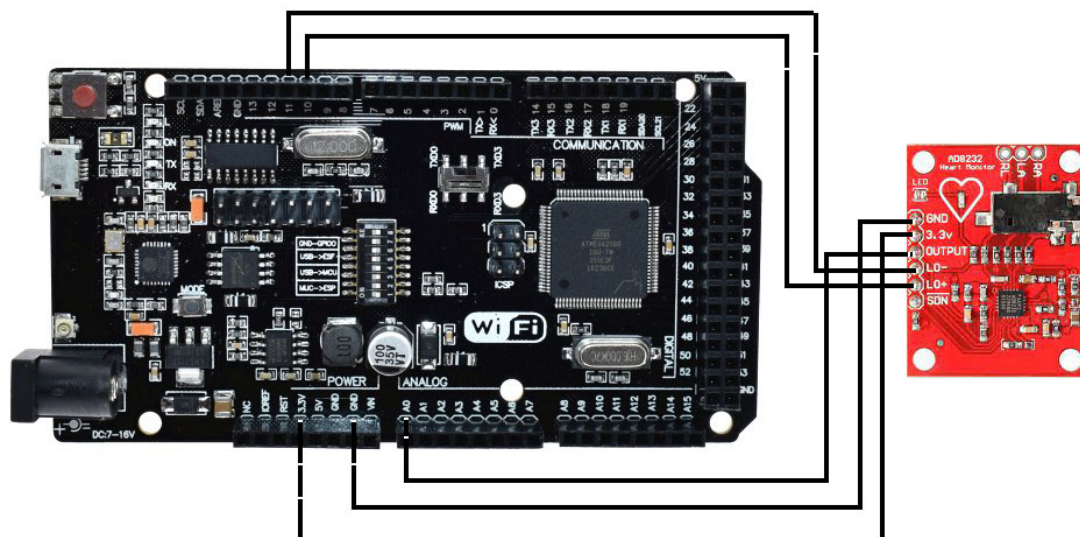


Рисунок 2. Устройство ЭКГ AD8232 и схема подключения Arduino Mega 2560.

На следующем этапе создается программное обеспечение на персональном компьютере. В этой программе выведете график входящих

данных через Arduino, запишите в файл *.txt и отправьте данные на сервер в формате JSON [8].

Данные передача инфекции очень конечно сигнал дает (см. рисунок 3).

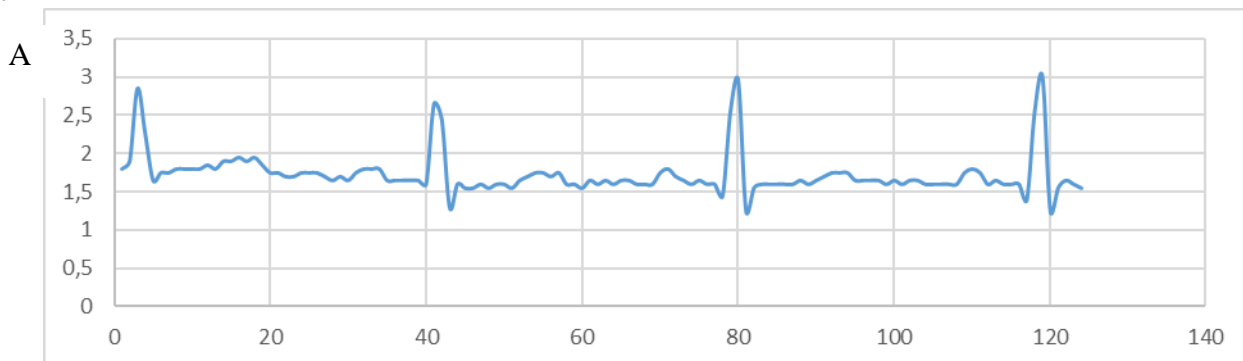


Рисунок 3. Результат устройства ЭКГ

Так, с помощью одноканальной ЭКГ была получена 12-канальная ЭКГ. Этот прототип был разработан и протестирован для стандартной клинической ЭКГ. ЭКГ, полученная с помощью этого устройства, имеет форму, аналогичную ЭКГ, полученной с помощью многоканальных устройств.

Сигнал ЭКГ, полученный устройством ЭКГ AD8232, сохраняется в виде файла *.txt, соответствующего стандарту MIT-BIH. Сигнал обрабатывается приложением C# и отправляется на сервер в формате JSON. 12-канальная обработка ЭКГ позволяет на ранней стадии выявить различные нарушения работы сердца.

1. B. A. Bharadwaj, A. E. Sr, U. Kamath, C. Workforce, and C. S. Corp, "Accurate ECG Signal Processing," Design, no. February, pp. 1–7, 2011.
2. R. Mohan, "Fully Integrated Analog Front-end for a 2-electrode ECG Device. Thesis," pp. 1–75, 2011.
3. Analog Devices, "AD8232 Single-Lead ECG," Data Sheet, pp. 1–28, 2013, [Online]. Available: www.analog.com/AD8232.
4. ADS1191, "Low-Power , 2-Channel , 16-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements ADS1191," no. September, 2012.
5. HM301D, "Diagnostic-quality acquisition system for bio-electric sensors and bio-impedance measurements," no. September, pp. 1–85, 2015.
6. A.Jabborov, "EKG signallarini AD8232 protsessorli modul yordamida qayd etish," 2020.
7. Jabborov A., "Recording Ecg Signals With Ad8232 Processor Module," Sci. Herit., vol. 1, no. 55, pp. 3–6, 2020.
8. A.M.Jabborov, "Architecture of database formation of ecg signals," NamDU ilmiy axborotnomasi – 2022-yil maxsus son, no. maxsus son, pp. 145–153, 2022

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ПРОИЗВОДСТВ: ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Журавлёва Е.Р.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Цифровые двойники (ЦД) широко обсуждаются в последние годы и обобщают различные решения и приложения в области поддержки принятия управленческих решений, в которых аналитические и имитационные модели технически связаны с информационными моделями реального производственного предприятия. Приложения в основном относятся к поддержке тактических решений в различных областях планирования и управления производством. Таким образом предпринимаются шаги в сторону перехода к «умному» производству.

«Умное» производство использует и интегрирует программные инструменты и данные на протяжении всего жизненного цикла продукта. При этом не только сам продукт и операции по его изготовлению существуют в цифровом двойнике, но и каждая единица оборудования, производственные участки и линии, персонал, поставщики и потребители, запасы ресурсов и готовой продукции отслеживаются и оптимизируются в цифровом формате.

На «умном» предприятии в любой момент времени можно получить полную информацию о текущем состоянии производства (выполняется ли план в сроки или с отставанием, какое оборудование работает в данный момент, причины простоя и пр.). Инструменты искусственного интеллекта применяются для прогнозирования отклонений от оптимальных условий работы. Системы поддержки принятия решений помогают выбирать наилучшие варианты управления по ключевым показателям эффективности – производительности, качеству, стоимости, своевременной доставке, устойчивости и отказоустойчивости. Эти показатели взаимосвязаны, поэтому важно, чтобы данные по всем компонентам и этапам производства были интегрированы с возможностью анализа влияния любого решения на все ключевые показатели эффективности одновременно.

«Умное» производство состоит из четырех взаимосвязанных компонентов [1]:

- виртуальное производство, где моделируется запуск ЦД продукта на виртуальном заводе для оптимизации производственных процессов и систем («ЦД процесса»), чтобы оценить производительность системы и технологические сбои;
- оптимизация управления предприятием и цепочками поставок в режиме реального времени, предусматривающая сбор и анализ данных со

средств управления, роботов, датчиков, камер, ИТ-систем, персонала, с последующей оптимизацией ключевых показателей эффективности;

- сервисное сопровождение продукта с возможностью сбора статистики в процессе эксплуатации продукта (поступление в систему информации от датчиков, установленных на продукте, анализ и прогноз необходимого сервисного обслуживания);

- оптимизация работы сервисных центров в режиме реального времени, обеспечивающая высокую пропускную способность, качество и своевременность обслуживания благодаря модификации ЦД.

Несмотря на весомые преимущества такого подхода к планированию, проектированию и функционированию производственных предприятий, конкретные практические применения в реальном секторе встречаются редко. Как правило эти решения используются крупными компаниями, потому что требуют значительных затрат.

Проблемы, с которыми сталкиваются предприятия при внедрении цифровых двойников [1]:

- отсутствие структурированной и целостной информационной модели как основной предпосылки для реализации основанных на ней аналитических подходов;

- руководители компаний обычно не могут самостоятельно разработать целостную нисходящую стратегию для конкретных мер и их технической реализации;

- количество сотрудников с современными навыками в сфере ИТ растет, однако конкретный опыт в области big data, искусственного интеллекта и моделирования присутствует редко.

Что касается эксплуатации существующих производственных ЦД, то вопросы практического применения возникают, прежде всего, при проектировании интерфейсов обмена данными между информационной моделью (хранилищем данных) и имитационной моделью.

Также возникают технические и организационные вопросы в процессе обновления модели ЦД на фоне динамично меняющейся структуры предприятия. Т.е. в дополнение к тестированию системных показателей эффективности работы самого предприятия необходимо будет одновременно проводить проверку имитационной модели. Это, в свою очередь, приводит к значительно большему объему экспериментов, требующих затрат времени и ресурсов.

В качестве возможных направлений исследований в отношении производственных ЦД следует включить в рассмотрение дополнительных показателей эффективности производства, например, выбор оптимального времени размещения заказов. Не менее актуальными могут стать экологические оценки эффективности производства.

1. Akcaş A., Biller S., Gan B.P., Laroque C., Shao G. Maintenance and operations of manufacturing digital twins // Proceedings of the 2023 Winter Simulation Conference. – 2023.

ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ВАКУУМНЫХ ДУГОВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Вакуумное оборудование ионно-плазменного нанесения защитных покрытий широко использует различные программируемые системы управления. Управление технологическими процессами начинается с момента откачки рабочего объёма и заканчивается управляемой работой плазменных испарительных устройств. Эффективность использования управляющих программных продуктов во многом зависит от качества экспериментального материала по изучению влияния различных технологических параметров процесса на среднюю энергию и зарядовый состав ионов плазменного потока. В большинстве вакуумно-плазменных установках нанесения покрытий для обеспечения стабильного горения дугового разряда, за счет ограничения области существования катодного пятна на поверхности катода, и транспортировки потока по криволинейному плазмоводу, широко применяется внешнее магнитное поле. Наложение внешнего магнитного поля может существенно изменить характер протекания процессов в прикатодной области и в потоке. Степень этого воздействия зависит от величины поля. С его ростом наблюдается возрастание напряжения на разрядном промежутке, а также изменение характеристик самого потока [1].

В работе приведены результаты изучения влияния внешних магнитных полей на структуру плазменного потока вакуумных дуговых испарителей.

При исследовании влияния магнитного поля на параметры плазмы дугового разряда следует помнить, что магнитное поле не влияет на изменение энергии ионов, а только оказывает влияние на направление движения заряженных частиц. Это влияние на параметры плазмы дугового разряда состоит в увеличении числа столкновений заряженных частиц друг с другом и с частицами технологического газа за счет сжатия плазменного потока и увеличения длины пути, проходимой заряженной частицей в технологическом объёме вакуумной камеры. Многократная ионизация в плазме вакуумного дугового разряда ведет к повышению среднего заряда ионов потока и, как следствие, к увеличению энергии конденсирующихся ионов без повышения ускоряющего напряжения, подаваемого на подложку. Наиболее значительно влияние на средний заряд потока сильных магнитных полей. Для числовых значений магнитных полей, используемых в вакуумных плазменных испарительных устройствах (до 5 мТл), это влияние не приводит к существенному изменению зарядового

состава ионов плазменного потока. Наложение фокусирующего магнитного поля приводит к увеличению средней энергии ионов и росту в потоке количества высоко энергетичных ионов. Более существенную роль играют давление и род технологического газа и расстояние от испарителя до поверхности конденсации. Однако для общего понимания механизма и характера влияния внешних магнитных полей на параметры плазменных потоков следует остановиться на анализе имеющихся экспериментальных данных по влиянию сильных магнитных полей. Под сильным магнитным полем следует понимать магнитное поле, которое влияет на существенное изменение траектории движения не только электронного, но и ионного компонентов плазмы. Такое поле способно более длительное время удерживать ионы потока в области интенсивной ионизации.

В работе [2] исследовалось влияние зарядового состава плазмы в магнитном поле с импульсами до 10 кГс. Авторы отмечают, что в присутствии сильного магнитного поля в плазменном потоке появляются такие многозарядные ионы, как C^{3+} , Ti^{5+} , Cr^{5+} , Mo^{6+} и другие. Доля ионов с зарядом $2+$ и $3+$ также резко увеличивается. Расчёты показывают [3], что с ростом величины внешнего магнитного поля наблюдается увеличение как концентрации электронов в потоке, так и электронной температуры. Это повышает эффективность неупругих электрон-ионных столкновений и, как следствие, рост среднего ионного заряда в потоке. Установлена строгая связь между ростом среднего заряда ионов потока и возрастанием напряжения горения дуги. При максимальных значениях магнитного поля и тока дуги, обеспечивающих достижение наибольшей доли высоко зарядных ионов величина напряжения горения дуги достигала 100 – 120 В, что, в среднем, в 5 – 6 раз превышает напряжение на разрядном промежутке при относительно низких значениях тока дуги и в отсутствие магнитного поля. Увеличение тока дуги, приблизительно, до 1кА практически не влияет на зарядовое распределение ионов плазменного потока. Это позволяет сравнивать результаты различных экспериментов по измерению зарядового состава плазменных потоков вакуумной дуги. Однако при токах разряда существенно превышающих данный порог величина собственного магнитного поля столба дуги составляет порядка 1 кГс, что соизмеримо с величиной внешнего магнитного поля.

1. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий.- Мн.:БЕСТПРИНТ, 1998.- 284с.
2. Николаев А.Г., Окс Е.М., Юшков Г.Ю. Зарядовое распределение ионов в плазме вакуумного дугового разряда в сильном магнитном поле// Журнал технической физики.- 1998.- т.68.- № 5.- С. 39 – 43
3. Кринберг И.А., Матафонов Г.К. Структура протяженной плазменной струи в вакуумной дуге в аксиальном магнитном поле// Журнал технической физики.- 2006.- том 76.- вып. 4.- С. 114 – 119

УДК 681.51 (075.8)

МАГНИТНАЯ ЛЕВИТАЦИЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ВАКУУМЕ

Карабан Г.А., Прохорович С.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Реализация движения в прецизионных системах координат в вакууме является важным аспектом для различных сфер производства и науки. К примеру, обладая техническим вакуумом и высокой точностью перемещения стола установки, становится возможным создание глубокого ультрафиолета (длина волны около 13.5 нм) для использования его в экстремальной литографии. На сегодняшний день, для реализации точно позиционирования в условиях вакуума разработан принцип магнитной левитации [1].

Магнитная левитация достигается активным контуром управления, в котором измеряется положение и управляются магнитные поля для подвешивания и позиционирования объекта. Эти системы нашли свое широкое применение в различных оптических установках, турбомолекулярных насосах и др.

Благодаря своей бесконтактной природе и совместимости с вакуумом активная магнитная левитация обещает стать технологией, подходящей для следующего поколения высокоточных позиционирующих машин. Об этом свидетельствует растущее число новых патентных заявок на данные системы.

Рассмотрим один из основных вариантов реализации магнитных приводов, которые применяются в системах точного позиционирования в вакууме – IU-модуль [2].

IU-модуль изначально разработан как электромагнитный привод с 2 степенями свободы для приведения в действие подвески и тягового усилия. Приводные усилия генерируются без каких-либо проводов, подсоединенных к подвижной части привода.

Благодаря своим беспроводным возможностям и компактному дизайну IU-модуль потенциально может стать модульным приводом, совместимым с вакуумом, для использования в прецизионных системах нового поколения.

Сила подвески генерируется силой противодействия, в то время как движущая сила использует силу Лоренца. Данный привод способен создавать 2 дополнительных крутящих момента, помимо сил инерции и тяги.

Принципиальная схема IU-модуля показана на рис. 1.

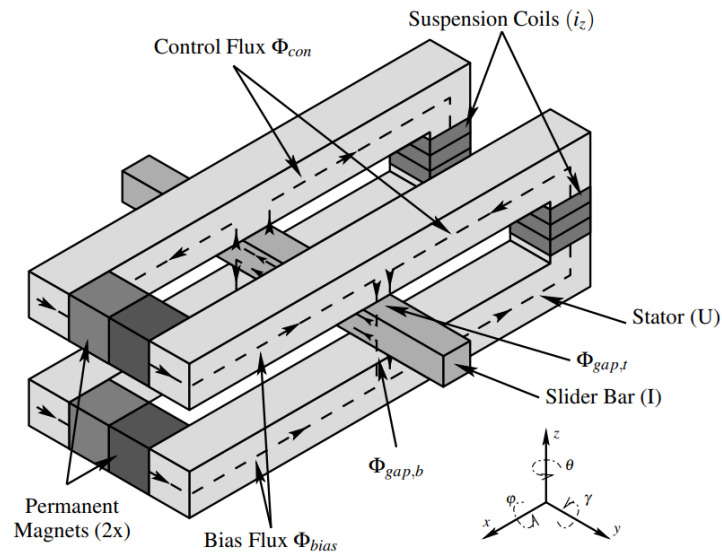


Рисунок 1 - IU-модуль, показывающий упрощенные траектории потока, влияющие на усилие подвески на ползунке.

На рисунке изображены I-образный ползун и U-образные стержни статора. Привод способен подвешивать I-образный стержень в направлении z и перемещать его в направлении движения x . IU-модуль способен генерировать усилие подвески в направлении z и толкающее усилие в направлении x на ползуне. Как ползун, так и статор изготовлены из ферромагнитных материалов.

Далее будет рассмотрен принцип действия IU-модуля. Траектории потока указаны на рис. 1.

$$F_z = \frac{1}{2} \frac{\Phi_{gap,t}^2 - \Phi_{gap,b}^2}{\mu_0 A_{gap}}$$

Постоянный магнит создает поток смещения Φ_{bias} , проходящий через стержни статора, проходящий через воздушные зазоры и попадающий в ползун. Затем поток смещения проходит по длине ползунка и возвращается обратно через стержень статора на противоположной стороне IU-модуля. Аналогичная траектория потока на нижней стороне IU-модуля генерируется нижним постоянным магнитом. Ток i_z , проходящий через подвесные катушки, генерирует управляющий поток Φ_{con} на задней панели IU-модуля [3]. Этот поток проходит свой путь через стержни статора, проходит через зазор в ползун и затем возвращается непосредственно через нижний стержень статора. Эта схема создает избыток потока в верхнем зазоре:

$$\Phi_{gap,t} = \Phi_{bias} + \Phi_{con}$$

При этом создается дефицит потока в нижнем зазоре:

$$\Phi_{gap,b} = \Phi_{bias} - \Phi_{con}$$

Результирующее усилие на каждой стороне ползунка приблизительно равно:

$$F_z = \frac{1}{2} \frac{\Phi_{gap,t}^2 - \Phi_{gap,b}^2}{\mu_0 A_{gap}}$$

где A_{gap} - площадь зазора, а где μ_0 - проницаемость свободного пространства.

Поток смещения локально линеаризует усилие подвески F_z относительно управляющего тока i_z и z-положения подвески. Линеаризованное усилие в направлении подвески может быть описано формулой:

$$F_z = -k_{zz} \cdot z + h_{zz} \cdot i_{zz}.$$

Здесь k_{zz} и h_{zz} - константы жесткости и приведения в действие, зависящие от геометрии и свойств материала. Отрицательная жесткость, k_{zz} , в сочетании со смещением ползуна по z позволяет компенсировать статическую нагрузку без расхода энергии. Привод способен совершать небольшой ход в направлении z, составляющий до нескольких миллиметров. Точка приложения прижимной силы, F_z , перемещается вместе с ползунком, когда он перемещается в направлении движения по оси x.

Выводы:

1.реализовать перемещение в прецизионной системе координат в условиях вакуума возможно с помощью использования магнитной левитации;

2.IU-модуль - один из основных вариантов реализации магнитных приводов, которые применяются в системах точного позиционирования в вакууме;

3.был рассмотрен IU-модуль с 2 степенями подвижности и его принцип действия;

4.данный привод, помимо сил инерции и тяги, данный привод способен создавать 2 дополнительных крутящих момента.

1. A. Peijinenburg, J. Vermeulen, and J. Eijk. Magnetic levitation systems compared to conventional bearing systems Vol.83, No.4-9 – 2006. – 1375 с.
2. W. Kim and D. Trumper. High-precision magnetic levitationstage for photolithographym – 1998. – 650 с.
3. Prof.dr.ir. J. Eijk. Mechatronic Design of an electromagnetically Levitated Linear Positioning System / Prof.dr.ir. H. van Brussel, Dr.ir. A. Molenaar – Netherlands, 2009. – 230с.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НЕСАМОХОДНОГО СУДНА (НС) ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300Т

**Качанов И. В., Ключников В.А., Ленкевич С.А., Шаталов И.М.,
Власов В.В., Афанасьева Е.В.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При эксплуатации судов на внутренних водных путях часто встречаются случаи, когда-либо ширина, либо глубина водных потоков бывает ограниченной, а иногда эти ограничения наступают одновременно. Практика эксплуатации судов показала, что с переходом судна в ограниченную среду сразу возрастает величина сопротивления движению и падает скорость движения судна.

Таким образом, при проектировании несамходного судна (НС) следует учитывать оценки допустимых пределов изменения тех или иных параметров формы корпуса, не являющихся в общем случае наивыгоднейшими.

Несамходные суда внутреннего плавания должны обеспечивать заданную грузоподъемность при ограниченной осадке, а также достаточно простую форму обводов в оконечностях, не вызывающую существенного возрастания гидродинамического сопротивления.

Экспериментальные исследования воздействия гидродинамических факторов на варианты конструктивных параметров корпуса несамходного судна осуществлялись на ряде 3D-моделей корпуса несамходной баржи, изготовленных в масштабе 1:150 с различными кормовыми и носовыми оконечностями и различным соотношением длины и ширины корпуса L/B .

На базе исходных данных, предоставленных заказчиком ОАО «Белсудопроект», для разработки 3D-моделей были выбраны три судна прототипа (таблица 1)

Таблица 1

Исходные данные для судна-прототипа №1,2,3

№ п/п	Наименование величины	Прототип 95055		
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1.	Длина судна L , м	78,8	85,0	80,0
2.	Ширина судна B , м	15,0	17,0	17,0
3.	Высота борта H , м	3,2 (3,4)	3,4	3,4
4.	Водоизмещение в грузу D , м	2900	3080	3035
5.	Осадка судна в грузу T , м	2,8	2,51	2,63
6.	Надводный борт ΔH , м	0,44 (0,60)	0,89	0,77
7.	Объем бункера грузового V , м ³	3290	3275	3295
8.	Высота бункера грузового над палубой Δh , м	2,40	1,20	1,50

На рисунке1 приведена принципиальная схема сборки одной из трех модели, из составных частей, которые были изготовлены на 3D – принтере.

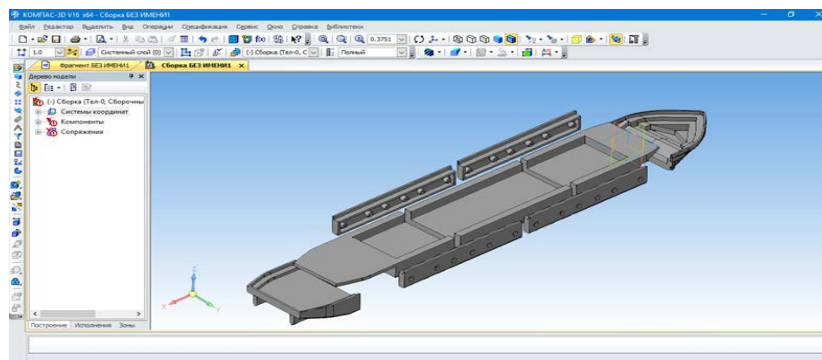


Рисунок 1 – Принципиальная схема сборки модели из составных частей

Экспериментальные исследования по определению основных силовых и гидродинамических характеристик 3D-моделей корпуса несамоходного судна проводились на экспериментальном стенде в гидродинамическом лотке кафедры «ГЭСВТГ» БНТУ в режиме обращенного движения.

По результатам проведенных экспериментальных исследований, можно рекомендовать для кормовой оконечности несамоходного судна выполнение угла подъема $\beta = 14^{\circ}$ при котором создается наиболее благоприятное сопротивление формы. Направление линии борта в кормовой части также должно приниматься в пределах этого угла.

Для одиночных барж, рекомендуются обводы с носовой частью с углом наклона к основной плоскости $\alpha = 25^{\circ}$, с боковыми подрезами под углом к вертикали $\gamma = 40^{\circ}$. При проектировании составов рекомендуется выполнения носовой части с боковыми подрезами для головной баржи и обводы с плоской носовой частью без подрезов с углом наклона к основной плоскости $\alpha = 25^{\circ}$ для второй и последующих барж.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что характеристики формы несамоходного судна описывают форму судна и тем самым его внешний вид через соотношения между главными размерениями длиной, шириной, высотой борта и должны соотноситься с конструктивной осадкой. В частности, они оказывают влияние на поведение судна на воде, причем при выборе относительных величин учитывают в первую очередь требования к данному типу судна.

Отношение длины к ширине L/B влияет главным образом на скоростные качества судна, на его маневренность и остойчивость. Большие значения L/B (длинные узкие суда) благоприятно сказываются на скорости судна и его устойчивости на курсе. Поэтому несамоходные грузовые суда должны иметь большие значения L/B .

Устойчивость на курсе несамоходного судна улучшается за счет большей боковой поверхности подводной части судна (площадь проекции). Верхняя граница отношения L/B определяется необходимой поперечной остойчивостью судов. Кроме указанных преимуществ, большое отношение L/B позволяет увеличить объем корпуса несамоходного грузового судна. Наиболее оптимальным соотношением является $L/B=5$.

**ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ 3D-МОДЕЛЕЙ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300Т**

**Качанов И. В., Ключников В.А., Ленкевич С.А., Шаталов И. М,
Власов В.В., Афанасьева Е.В.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что связано в свою очередь с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна, которая зависит от большого количества факторов, к основным из которых относятся геометрия обводов носовой и кормовой частей судна и соотношения основных размерений судна L/B (где L – длина судна; B – ширина судна).

Оптимизация обводов корпуса для снижения сопротивления движению является одной из наиболее актуальных проблем гидродинамики судна. Величина сопротивления движению прямо связана с затратами энергии и топлива, от которых существенно зависят технико-эксплуатационные и экономические показатели судов.

Достоверные оценки влияния формы корпуса на сопротивление движению могут быть получены путем проведения модельного эксперимента. В последние годы аналогичные оценки все чаще выполняются и с помощью численного моделирования. Судя по материалам международного семинара по проблемам численного моделирования обтекания корпуса вязким потоком, при сетках с числом неизвестных порядка нескольких миллионов точность численного расчета несколько уступает модельному эксперименту, но уже сопоставима с ним.

Для определения гидродинамических характеристик были разработаны цифровые модели несамходного судна исследуемой баржи грузоподъемностью 2300 т, которые в последствии были напечатаны на 3D-принтере.

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Из исходных данных, предоставленных заказчиком ОАО «Белсудопроект», для разработки 3D-моделей были выбраны три судна прототипа.

Разработанные 3D – модели представлены на рисунках 1-3.

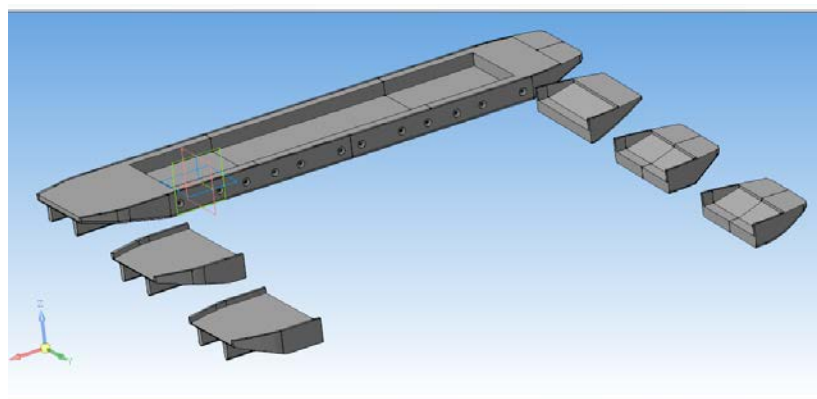


Рисунок 1 – Внешний вид 3D-модели прототипа №1 в сборе и сменные части оконечностей (нос и корма)

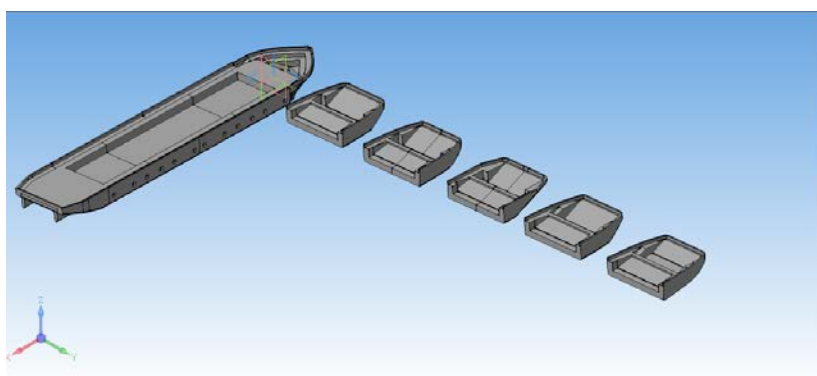


Рисунок 2 – Внешний вид 3D-модели прототипа №2 в сборе и сменные части носовых оконечностей

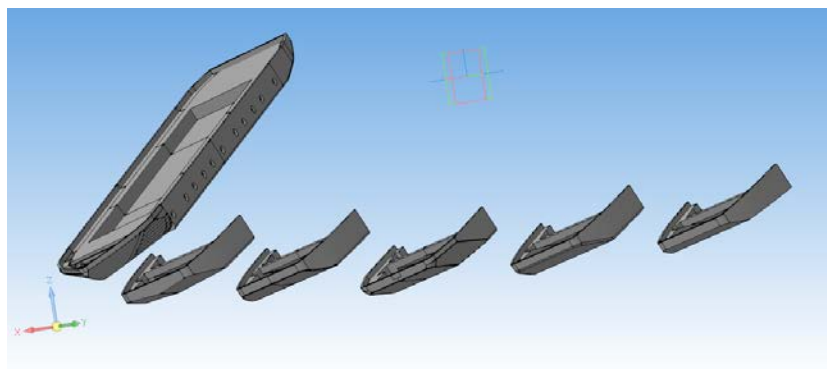


Рисунок 3 – Внешний вид 3D- модели прототипа №3 в сборе и сменные части носовых оконечностей

Изготовленные 3D-модели корпусов несамоходного судна с переменной геометрией обводов на носовой и кормовой частях и различным соотношениям L/B были испытаны в гидродинамическом лотке в гидравлической лаборатории кафедры «ГЭСВТГ» и НИИЛ СТИСЗ БНТУ (рис. 4,5) с целью выбора оптимальных конструктивных параметров

корпуса несамходного судна и оценки влияния отношения размерений судна L/B на сопротивление движению 3D-моделей в режиме обращённого движения.



Рисунок 4 – Модель несамходного судна в гидродинамическом лотке (вид сверху)



Рисунок 5– Модель несамходного судна в гидродинамическом лотке (вид сбоку)

Экспериментальные исследования 3D-моделей корпусов несамходного судна с переменной геометрией обводов в носовой и кормовой частях и различными соотношениями L/B длины корпуса судна L к ширине B , проведенные в гидродинамическом лотке в режиме обращенного движения, позволили выбрать оптимальные параметры корпуса несамходного судна:

– при эксплуатации несамходных судов на водных путях РБ с большим количеством мелководных участков предпочтительным являются корпуса с минимальной осадкой. Наиболее оптимальной формой обводов в носовой части являются обводы с углом подъема батоксов к грузовой ватерлинии $\alpha = 25^{\circ}$, а также обводы с тем же углом подъема батоксов α с боковыми подрезами относительно диаметральной плоскости под углом $\gamma = 40^{\circ}$; наиболее оптимальной формой обводов в кормовой части являются обводы с углом подъема батокса $\beta = 14^{\circ}$,

– анализ результатов проведенных экспериментов по выбору оптимального отношения основных размерений судна L/B показал, что оптимальное отношение L/B с учетом минимальной осадки судна необходимо принимать равным 5.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ОТ КОРРОЗИИ

Качанов И. В., Филипчик А. В., Ковалевич В. С., Шаталов И.М.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При эксплуатации машин и механизмов отмечается значительный рост потерь от коррозионных разрушений, что требует резкого улучшения мер противокоррозионной защиты. Практически каждый технологический процесс в современном машиностроительном производстве включает операцию очистки деталей от коррозии, различных загрязнений.

Выбор того или иного способа очистки зависит от объема выполняемых работ, типа коррозии, размеров очищаемых изделий. Исследования, приведенные рядом авторов, показывают, что весьма эффективно для борьбы с коррозией может быть использована технология гидроабразивной очистки (ГАО), обеспечивающая наряду с очисткой, формирование защитного пленочного покрытия (ЗПП) с достаточно высокой адгезионной прочностью.

На кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика» БНТУ разработан и запатентован новый эффективный способ борьбы с коррозией с применением бентонитовой глины, кальцинированной соды, полиакриламида, обеспечивающая наряду с очисткой формирование защитного пленочного покрытия с высокой адгезионной прочностью.

Для экспериментального исследования, а также для оценки практической применимости новой технологии ГАО в качестве образца был выбран гребной винт (марка материала – ВСтЗсп4), применяемый в роли движителя на буксире-толкаче проекта 861У.

Гребной винт до обработки (рисунок 1а), имевший серьезный износ от биологической и химической коррозии основного металла, не мог обладать проектными качествами, что приводило к потере ходкости судна, а следовательно, снижению КПД пропульсивного комплекса и повышенному расходу топлива.

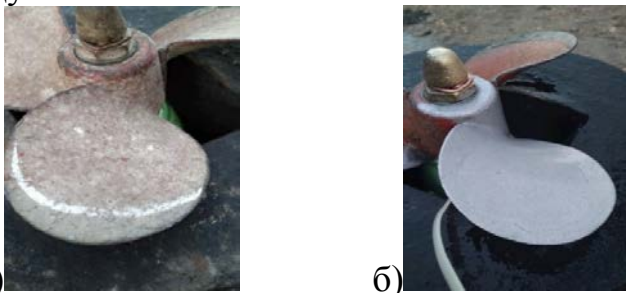


Рисунок 1 – Внешний вид лопастей гребного винта: а – поверхность до обработки; б – обработанная поверхность

В ходе экспериментальных исследований в лабораторных условиях на кафедре ГЭСВТГ гребной винт был обработан с помощью новой технологии струйной ГАО (рисунок 1б). После обработки было обнаружено и зафиксировано на поверхности гребного винта пленочное покрытие (рисунок 2), которое далее было исследовано на морфологию и химсостав.

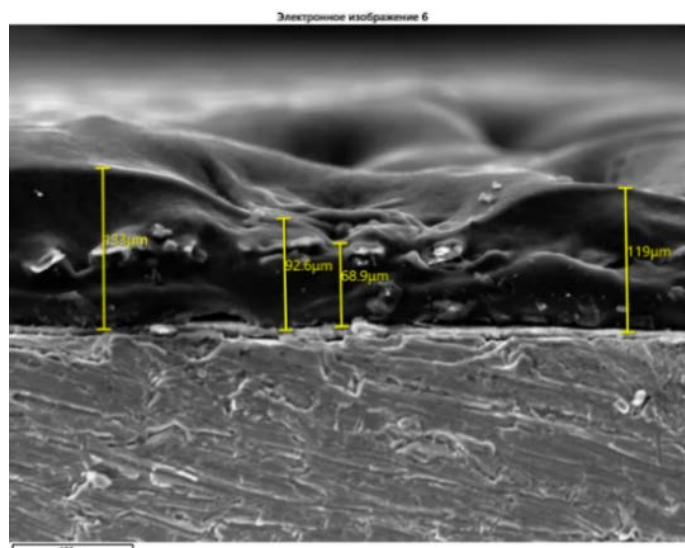


Рисунок 2. – Пленочное покрытие, образованное после обработки струйной ГАО на поверхности гребного винта

Для установления химического состава пленочного покрытия на поверхности гребного винта в нескольких точках производился рентгеновский энергодисперсионный спектрометрический анализ с учетом Fe и без учета Fe. Анализ полученных данных позволил установить, что в состав пленочного покрытия входят те же элементы, которые составляют химическую основу компонентов рабочей жидкости (бentonитовая глина, кальцинированная сода, полиакриламид).

Эффективность метода гидроабразивной очистки, а также стойкость обработанной поверхности к образованию очагов повторной коррозии была подтверждена с помощью визуального наблюдения. Изменения, происходившие на поверхности обработанного гребного винта во времени, фиксировались последовательным фотографированием. Визуальное наблюдение позволило фиксировать изменение внешнего вида поверхности металла, при этом отмечено, что в течение как минимум трех недель после обработки металлическая поверхность гребного винта сохраняла матовый цвет, очаги возникновения повторной коррозии отсутствовали.

Обработанный гребной винт (марка материала – ВСтЗсп4) предполагается испытать в навигационный период, в реальных условиях, на речных судах Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

Королёв А.Ю., Нисс В.С.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

В работе исследовалось распределение плотности тока на различных участках внутренней поверхности в процессе электролитно-плазменной обработки (ЭПО). Для этого использовалось электродное устройство, включающее 11 изолированных друг от друга кольцевых анодов из стали AISI 304 шириной 5 мм с внутренним диаметром 28 мм, помещенных внутрь трубы из полипропилена длиной 125 мм с толщиной стенки 6 мм (рис. 1). Изоляция анодов друг от друга выполнялась с помощью колец из фторопласта шириной 1 мм. В свободной части трубы из полипропилена закреплялся отрезок трубы из стали AISI 304 с внутренним диаметром 28 мм длиной 59 мм. Аноды фиксировались в трубе из полипропилена шпильками. Кроме того, для создания естественных условий обработки дополнительно поляризовался отрезок трубы длиной 59 мм. Обработка выполнялась в 5% растворе сульфата аммония с температурой 90 °С при напряжении 300 В.

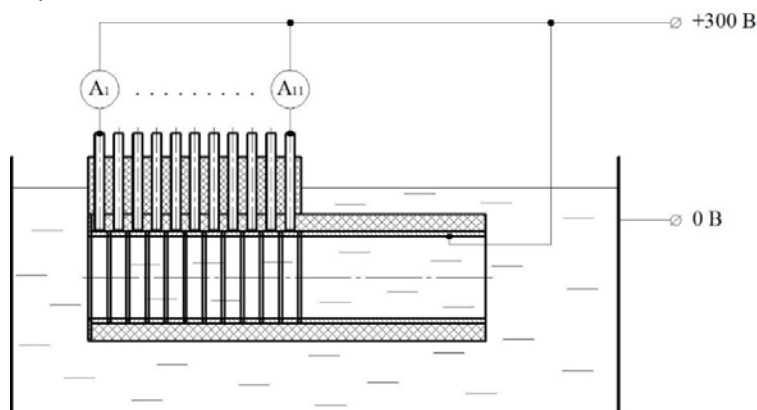


Рис. 1. Схема электродного устройства

Для каждого из анодов через токоизмерительный шунт фиксировались осциллограммы тока в режиме усреднения по результатам 16 циклов для определения среднего тока. Кроме того, выполнялось измерение массы каждого анода до и после обработки. Дополнительно с использованием этого же электролита (при температуре 60 °С) определялась плотность тока в режиме электрохимической обработки при напряжении 10 В. Масса анодов до и после обработки определялась на аналитических весах Ohaus Pioneer PA214. Осциллографические исследования выполнялись с помощью цифрового осциллографа OWON XDS 3102A.

Распределение плотности тока на внутренней поверхности для электрохимического процесса $i_{\text{ЭХО}}$ имеет существенные различия с установленным распределением для процесса ЭПО. Так при электрохимическом процессе уже при небольшом удалении от края образца (анод №2) происходит резкое снижение плотности тока с ($0,63 \text{ A/cm}^2$ до $0,04 \text{ A/cm}^2$). Такие связаны с особенностями изменения напряженности электрического поля на внутренней поверхности обрабатываемого образца, а также комплексными процессами, сопровождающими процесс ЭПО. ЭПО выполняется при гораздо более высоком напряжении (300 В) по сравнению с традиционным электрохимическим процессом. Соответственно напряженность электрического поля при ЭПО существенно выше, а ее снижение по мере удаления от края образца менее интенсивное. Кроме того, на среднюю плотность тока и съем металла при ЭПО существенное влияние оказывает нарушение сплошности парогазовой оболочки вокруг анода. Резкое снижение напряженности на внутренней поверхности и воздействие на парогазовую оболочку формирующихся гидродинамических потоков в результате приводит к повышению плотности тока.

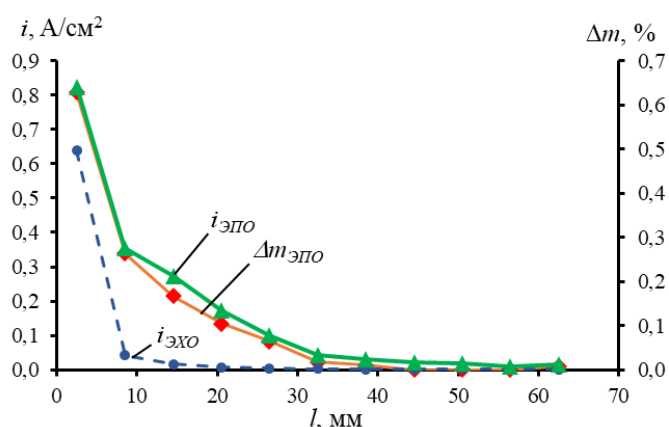


Рис. 2. Распределение плотности тока и съема металла на внутренней поверхности по мере удаления от по мере удаления от границы открытого участка

Для установления особенностей протекания анодных процессов на различных участках обрабатываемой поверхности выполнены осциллографические исследования электрического тока. Установлено, что на аноде №1 протекает преимущественно электролитно-плазменный режим с плотностью тока $i_{\text{эп1}} = 0,70 \text{ A/cm}^2$ при среднем значении $i_{\text{лср}} = 0,81 \text{ A/cm}^2$. Доля электролитно-плазменной составляющей в средней плотности тока для анода №1 составляет 86 %. Таким образом исключительно электролитно-плазменный режим протекает только в приграничной зоне протяженностью менее 5 мм. Плотность тока электролитно-плазменной составляющей на аноде №2 – $i_{\text{эп2}} = 0,14 \text{ A/cm}^2$, а его доля в средней плотности тока снижается до 41 %. Для анода №3 доля тока электролитно-плазменного процесса снижается до 28 %, для анода №4 – до 15%, а для анода №5 – до 8 %.

МОРФОЛОГИЯ И ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Королёв А.Ю., Нисс В.С., Иванов А.И., Сенченко Г.М.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Технология электролитно-плазменного упрочнения позволяет насыщать поверхность обрабатываемых образцов атомами легких элементов, входящих в состав электролита, в частности, атомами азота.

В работе проводились исследования по изучению влияния состава электролита для электролитно-плазменного азотирования на морфологию и шероховатость поверхности образцов при различной концентрации насыщающего компонента в электролите. Обработка проводилась в электролите, представляющем собой водный раствор хлорида аммония (10%) и аммиака водного. Процентное содержание аммиака в растворе составляло 2,5, 5 и 10 %. В качестве образцов были выбраны плоские образцы из титана ВТ1 и титанового сплава ВТ6 с размерами 25x10x1 мм. Время обработки составляло пять минут. Величина рабочего напряжения выбиралась так, чтобы обеспечить максимальную температуру нагрева обрабатываемых образцов.

Морфология полученных поверхности исследовалась с помощью стереомикроскопа МИКРОМЕД МС-2-ZOOM (рис. 1).

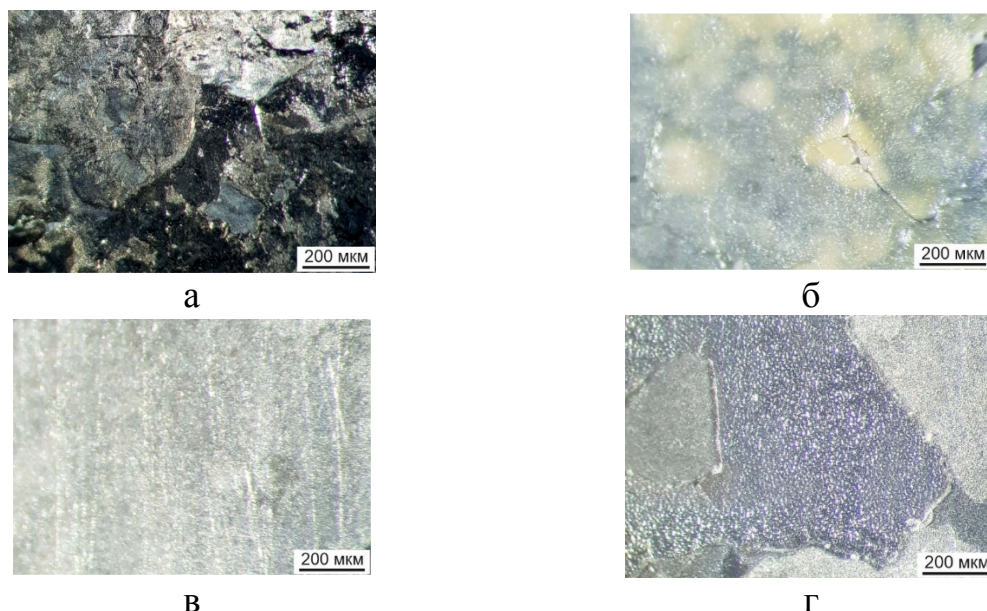


Рис. 1. Поверхность образцов из титана ВТ1 (а, б) и титанового сплава ВТ6 (в, г) после электролитно-плазменного азотирования: а, в – поверхность без оксидного слоя; б, г – оксидный слой

Установлено, что концентрация аммиака в процессе электролитно-плазменного азотирования не оказывает влияния на морфологию

поверхности. На поверхности обработанных образцов образуется оксидный слой толщиной 20–25 мкм. Цвет и структура формируемого оксидного слоя зависят от состава обрабатываемого материала. На образцах из титана ВТ1 формируется слой с белым цветом, соответствующим оксиду титана (IV). Образцы из сплава ВТ6 покрываются черным слоем, что связано с наличием в его составе ванадия, оксид (III) которого имеет черный цвет.

Шероховатость поверхности образцов измерялась профилометром MarSurfPS1. По полученным данным был построен график изменения шероховатости поверхности обработанных образцов при различном содержании аммиака водного в электролите (рис. 2). При изменении концентрации аммиака в пределах 2,5–10,0 % параметр шероховатости поверхности Ra для образцов из титана ВТ1 находится в диапазоне 2,10–2,40 мкм. Поверхность образцов из сплава ВТ6 имеет значительно меньшие значения параметра шероховатости Ra по сравнению с образцами из титана ВТ1. Причем для сплава ВТ6 характерно снижение качества поверхности с увеличением концентрации аммиака. Так, при увеличении концентрации аммиака с 2,5 до 10,0 % параметр шероховатости поверхности Ra увеличивается с 0,95 мкм до 1,53 мкм.

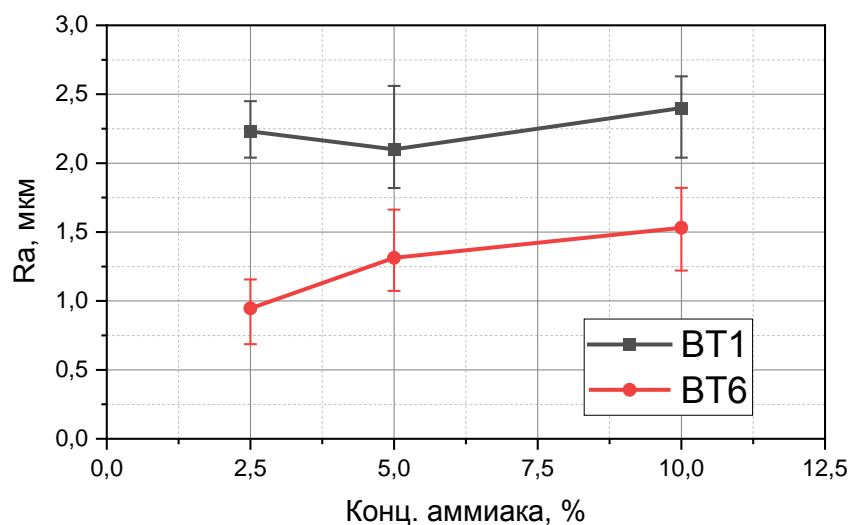


Рис. 2. Изменение шероховатости поверхности обработанных образцов при различном содержании аммиака водного в электролите

Таким образом, можно утверждать, что концентрация аммиака в исследованных диапазонах не оказывает существенного влияния на шероховатость поверхности обработанных образцов.

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ШТАМПОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Костюченко Ю.А., Галимская П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

В современном авто- и тракторостроении до 30% деталей по массе приходится на кузовные элементы, получаемые с применением листовой штамповки. Дефекты, получающиеся при штамповочных операциях при несоблюдении режимов, износе инструмента, неоптимально подобранных материалах и конструкциях штампов, приводят к значительному снижению качества и эксплуатационных свойств кузовных деталей. Выявлению дефектов в процессе производства является достаточно трудноосуществимой задачей, при этом, используются в основном субъективные методы, основанные на визуальном контроле. Наиболее прогрессивным методом выявления дефектов в листоштамповочном производстве является компьютерное зрение, которое обеспечивает объективный контроль изделий на наличие дефектов.

Методы выявления дефектов на поверхности изделий, получаемых листовой штамповкой, основываются на обработке изображений готовых изделий. Для этого могут использоваться как специальные алгоритмы, которые обеспечивают возможность для обнаружения как определённых типов дефектов, так и групп дефектов.

В рамках проведённых экспериментов, было установлена возможность выявления таких типов дефектов как заусенцы, окислы и следы коррозии, трещины, отпечатки и оттиски [1-2]. На рисунке 1 представлены результаты до и после обработки изображения с поверхностным дефектом в виде отпечатка на поверхности отштампованного изделия.

Для реализации подобной методики требуется наличие камеры достаточного разрешения, программы обработки изображения с камеры и средства обработки информации. Тем не менее, одним из недостатков подобной методики является узкая направленность выявляемых дефектов.

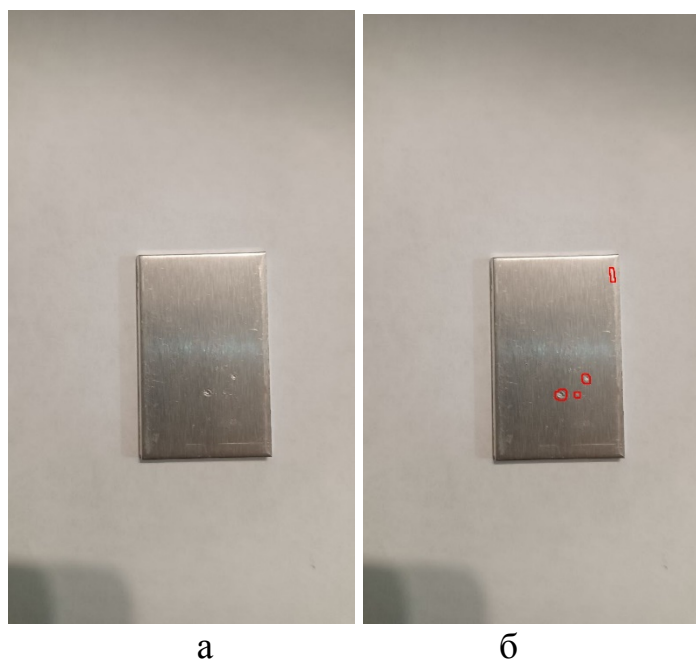


Рисунок 1 – Отштампованное изделие (а) и распознавание дефектов на его поверхности (б)

Помимо этого, может быть использована методика, основанная на использовании систем искусственного интеллекта, основанных на самообучении. Подобная методика обеспечивает возможность для работы в широком диапазоне обнаружения дефектов и брака на поверхности штампованных изделий. При этом, методы самообучения позволяют системе самостоятельно определять любые отклонения от нормального состояния штампованного изделия, а также самостоятельно классифицировать тот, либо иной тип дефекта. Для подобных целей могут создаваться как довольно простые, так и достаточно сложные CNN-модели.

1. Петрович, Ю.В. Методика контроля качества поверхности заготовок на наличие дефектов методом технического зрения / Ю.В. Петрович, А.В. Радионов ; науч. рук. Ю.А. Костюченко // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс]: сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 21–22 апреля 2022 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 140–141.
2. Галимская, П. В. Методика выявления дефектов на полуфабрикатах и изделиях, получаемых листовой штамповкой методами технического зрения / П.В. Галимская; науч. рук. Ю.А. Костюченко // Новые материалы и технологии их обработки [Электронный ресурс]: сборник научных работ XXIII Республиканской студенческой научно-технической конференции, 18–19 апреля 2023 года / сост.: А. П. Бежок, И. А. Иванов. – Минск : БНТУ, 2023.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРОВ ВПРЫСКОВ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Кулаков Г.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматические системы регулирования (АСР) температуры перегретого пара (регуляторы впрыска) предназначены для поддержания заданного температурного режима в паровом тракте котлов.

В отечественной практике и СНГ в основном применяют АСР температуры перегретого пара с исчезающим импульсом из промежуточной точки (температура пара за местом впрыска), хотя в зарубежной практике нашли применение каскадные системы автоматического регулирования (КСАР) с корректирующим стабилизирующим регулятором. КСАР в некоторых случаях могут иметь значительные преимущества перед типовыми АСР с исчезающим импульсом из промежуточной точки [1]. В КСАР стабилизирующий регулятор (СР) целесообразно настраивать на оптимальную обработку внутренних возмущений по методу частичной компенсации по передаточной функции опережающего участка пароперегревателя, а параметры динамической настройки корректирующего ПИ-регулятора (КР) рассчитывать на оптимальную обработку внешних возмущений по передаточной функции инерционного участка пароперегревателя, используя метод полной компенсации в частном виде [2]. Так как экспериментально невозможно получить переходную характеристику инерционного участка, то её определяют трудоёмким графическим путём по переходным характеристикам главного и опережающего участков [1]. Кроме того, методика расчётов параметров динамической настройки таких АСР обычно базируются на предположении о возможности расчета настройки АСР внутреннего контура независимо от настройки внешнего контура с КР [3], которая не всегда соблюдается.

Для устранения указанных недостатков предложено типовую каскадную систему автоматического регулирования (ТКСАР) модернизировать в инвариантную каскадную (ИКСАР), структурная схема которой приведена на рис. 1, а графики переходных процессов при основных воздействиях приведены на рис. 2.

Из анализа графиков переходных процессов сравниваемых САР следует, что настройки ТКСАР ($k_{p1}=0,51$ т/ч/°С; $T_{и1}=14,8$ с; $k_{p2}=2,04$; $T_{и2}=131$ с) обеспечивают слабоколебательный переходный процесс при обработке задания со временем регулирования, равным 620 с, (рис. 2,а) что соответствует относительному времени регулирования $t_p/\tau_y=12,5$. При этом время обработки скачка внутреннего возмущения составляет 880 с при максимальной динамической ошибке регулирования 0,053 (рис. 2, в).

Крайнее внешнее возмущение было обработано ТКСаР за 580 с при максимальной динамической ошибке регулирования 7,4 и степени затухания переходного процесса $\Psi=0,9$ (рис. 2, с).

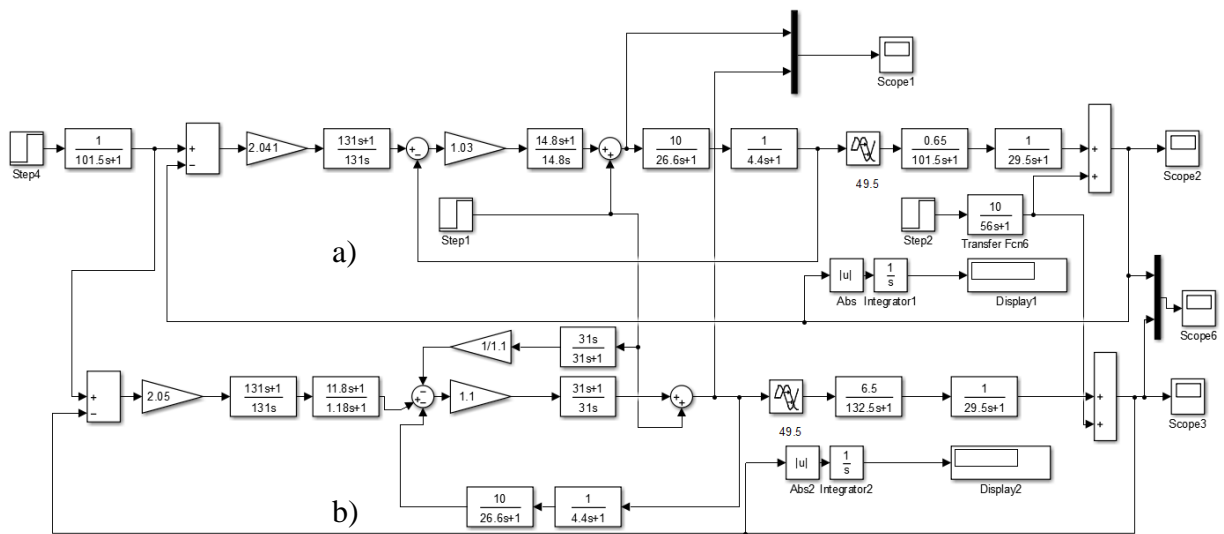


Рис. 1 Структурная схема моделирования переходных процессов ТКСаР (а) и ИКСаР (б)

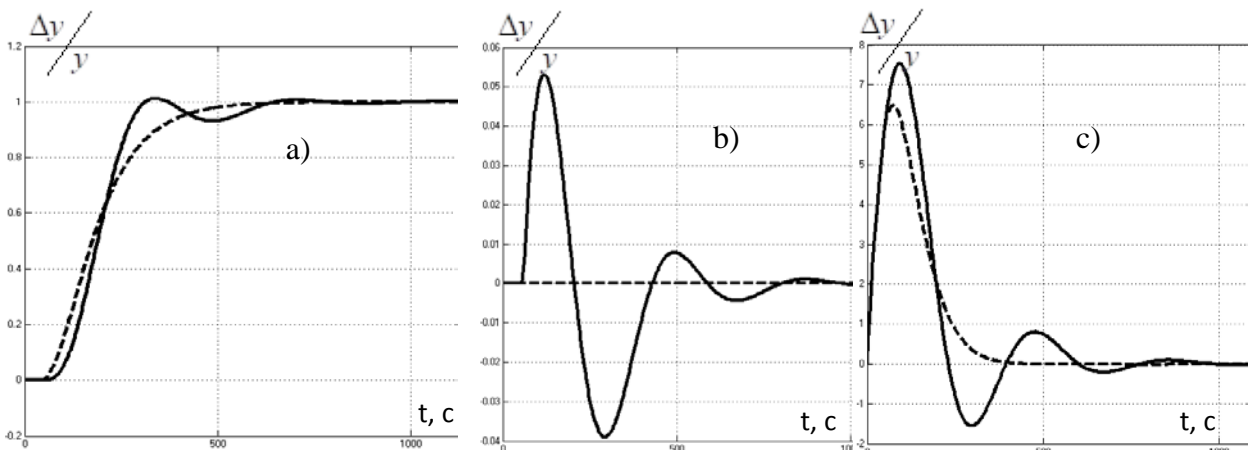


Рис. 2. Графики переходных процессов сравниваемых САР при обработке скачка задания (а), внутреннего возмущения (б) и внешнего возмущения (с): ТКСаР – сплошная линия, ИКСаР – пунктирная линия

Настройки стабилизирующего регулятора ИКСАР (рис. 1, б) рассчитывались по упрощенной передаточной функции опережающего участка с использованием передаточной функции оптимального регулятора с динамической компенсацией ($k_{p1}=1,1$ т/ч/°С; $T_{и1}=31$ с) [2]. При этом измерялось наиболее опасное внутреннее возмущение f_1^0 дополнительным датчиком, входной сигнал которого подавался на вход устройства инвариантности (УИ) этого возмущения, реализованного дифференциатором с передаточной функцией, обратной передаточной функции СР, выход УИ с минусом подавался на вход СР, обеспечивая

полную инвариантность по отношению f_1^0 (рис. 2, в). Между выходом КР и СР устанавливают звено быстрого реагирования, передаточная функция которого обратно пропорциональна общей передаточной функции внутреннего контура со СР при обработке корректирующего воздействия. Это позволяет рассчитывать настройку КР по методу полной компенсации в частном виде на основе упрощенной передаточной функции главного участка в виде инерционного звена первого порядка с условным запаздыванием, а также реализовать настройки КР и звена быстрого реагирования на базе реального ПИД-регулятора. Это позволило повысить быстродействие ИКСАР при обработке задания на 25% (рис. 2, а), сократить модуль площади ошибки регулирования на 37,6%, сократить относительное время регулирования при обработке крайнего внешнего возмущения в 2 раза (рис. 2, с) и добиться полной инвариантности при изменении наиболее опасного внутреннего возмущения f_1^0 (рис. 2, б) по сравнению с ТКСАР.

Выводы:

1. вместо типовой системы автоматического регулирования температуры перегретого пара за котлом с исчезающим импульсом из промежуточной точки целесообразно использовать инвариантную каскадную систему автоматического регулирования (ИКСАР);

2. структуру и настройки СР необходимо определить с использованием передаточной функции оптимального регулятора динамической компенсации по передаточной функции опережающего участка в виде инерционного звена первого порядка;

3. для достижения полной инвариантности по отношению к наиболее опасному внутреннему возмущению f_1^0 устройство инвариантности этого возмущения целесообразно рассматривать в виде дифференциатора, передаточная функция которого обратна передаточной функции СР;

4. реализация КР и звена быстрого реагирования технически осуществляется на базе классического ПИД-регулятора.

1. Клюев, А.С. Настройка системы автоматического регулирования барабанных паровых котлов / А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. И. Новиков. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280с.
2. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 197 с.
3. Ротач, В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования / В.Я. Ротач – Л. М.: Госэнергоиздат, 1961. – 344 с.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННЫХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ САУ ВЫСОКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Теория автоматического управления указывает направления улучшения качества и повышения динамической точности систем автоматического регулирования в переменных режимах на базе современных математических методов и технических средств. Одна из главных целей состоит в раскрытии объективного характера системных противоречий и разработке методов их преодоления. Проектированию систем автоматического управления (САУ) высокой динамической точности, на основе традиционной теории автоматического управления, препятствует ряд основных принципиальных проблем, снижающих эффективность использования промышленных регуляторов серийного производства: повышение точности экспериментальной идентификации объектов с запаздыванием; формирование показателей существенного улучшения качества САУ при основных воздействиях; выбор типа регулятора и метода его оптимальной динамической настройки; решение проблемы технического противоречия между быстродействием и устойчивостью системы; решение проблемы физической реализуемости оптимальных регуляторов и инвариантных систем; сохранение высокого качества регулирования во всем диапазоне изменения нагрузок объекта.

Решение этих проблем позволяет существенно повысить качество управления технологическими параметрами сложных объектов, например, ТЭС и АЭС во всем диапазоне нагрузок теплоэнергетических объектов при глубоких возмущениях. Это приводит к повышению экономичности, надежности, долговечности и экологичности работы теплоэнергетического оборудования.

Основные трудности идентификации объектов заключаются в четкой математической формулировке задачи, которые можно преодолеть с помощью соответствующих методов аппроксимации, например используемых в работах [1÷4]. Так, в работе [1] впервые было предложено для объектов с запаздыванием использовать инерционные звенья второго порядка с условным запаздыванием по каналу регулирующего воздействия. В работе [3] приведена универсальная методика определения динамики объектов регулирования передаточными функциями различной структуры. В работе [1] предложен метод полной компенсации в частном виде для расчета настроек ПИ- и ПИД-регуляторов с критерием оптимальности в виде колебательного звена с коэффициентом демпфирования, равным $\xi = 1/\sqrt{2}$, обеспечивающим максимальное

быстродействие при обработке скачка задания. Вместе с тем при использовании для выбора регулятора из ряда типовых и определения параметров его динамической настройки в методе полной компенсации в общем виде предложен критерий оптимальной обработки скачка задания в виде инерционного звена первого порядка с условным запаздыванием, численное значение которого равно времени разгона [2]. Однако при этом в большинстве случаев оптимальная передаточная функция замкнутой системы по задающему воздействию не будет соответствовать структуре передаточной функции объекта по каналу управляющего воздействия и графики переходной характеристики системы будут лишь приближаться к заданной. Для устранения этого недостатка критерий оптимальности при обработке скачка задания целесообразно представить в виде следующей заданной передаточной функции системы [5]:

$$W_{зд}(p) = \frac{e^{-\tau_{зд}p}}{(T_{зд}p + 1)^{n-m}}, \quad (1)$$

где $\tau_{зд}$ – заданное значение запаздывания равно условному запаздыванию объекта по каналу регулирующего воздействия; $T_{зд}$ – заданное значение постоянной времени критерия оптимальности, численное значение которой определяет требуемые прямые показатели качества обработки скачка задания; n, m – соответственно порядок знаменателя и числителя передаточной функции объекта по регулирующему воздействию.

Критерий оптимальности обработки задания (1) входит в передаточную функцию оптимального регулятора с динамической компенсацией [4]:

$$W_p^{opt}(p) = \frac{W_{зд}(p)}{W_{об}(p)[1 - W_{зд}(p)]}. \quad (2)$$

Здесь $W_{об}(p)$ – передаточная функция объекта по управляющему воздействию:

$$W_{об}(p) = W_{об}^o(p)e^{-\tau_y p}, \quad (3)$$

где $W_{об}^o(p)$ – часть передаточной функции объекта, которая не содержит условного запаздывания τ_y .

Для объектов с запаздыванием по каналу управляющего воздействия передаточную функцию оптимального регулятора (2) целесообразно представить в виде:

$$W_p^{opt}(p) = W_\phi(p) \frac{1}{1 - W_{зд}(p)}, \quad (4)$$

где передаточная функция фильтра будет физически реализуема и равна:

$$W_\phi(p) = \frac{W_{зд}(p)}{W_{об}(p)} = \frac{W_{зд}^o(p)e^{-\tau_y p}}{W_{об}^o(p)e^{-\tau_y p}} = \frac{W_{зд}^o(p)}{W_{об}^o(p)}. \quad (5)$$

В этом случае порядок числителя передаточной функции фильтра, компенсатора динамики объекта, равен порядку знаменателя. Это позволяет обеспечить качество регулирования САУ, равное заданному (1), и добиться оптимальной отработки не только задания, но и внутренних и крайних внешних возмущений, а также реализовать структуру и настройки типовых регуляторов на базе передаточных функций оптимальных регуляторов, приближая качество регулирования при основных воздействиях к оптимальным переходным процессам САУ с динамической компенсацией.

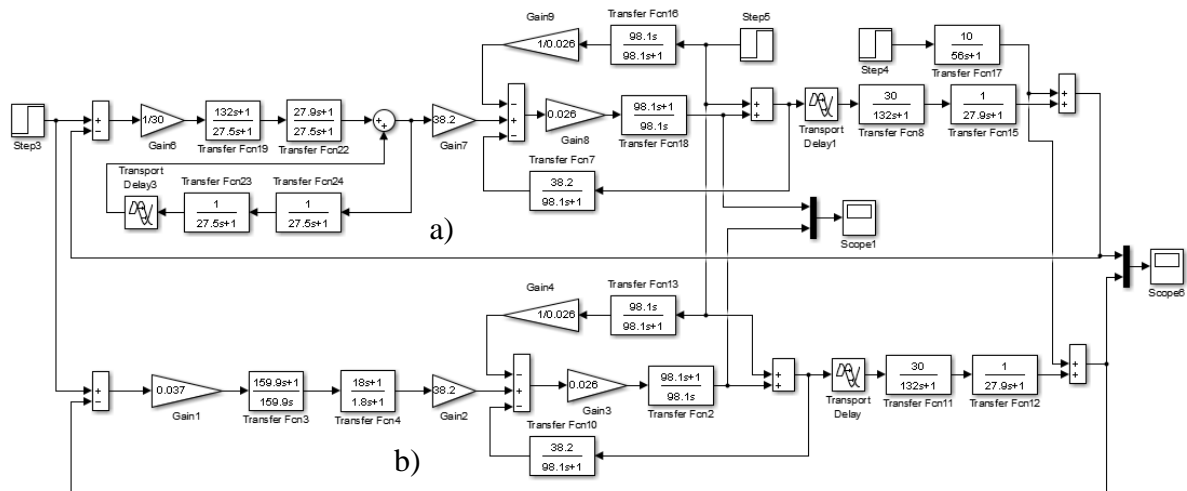


Рис. 1. Схемы моделирования переходных процессов сравниваемых двухконтурных КСАР

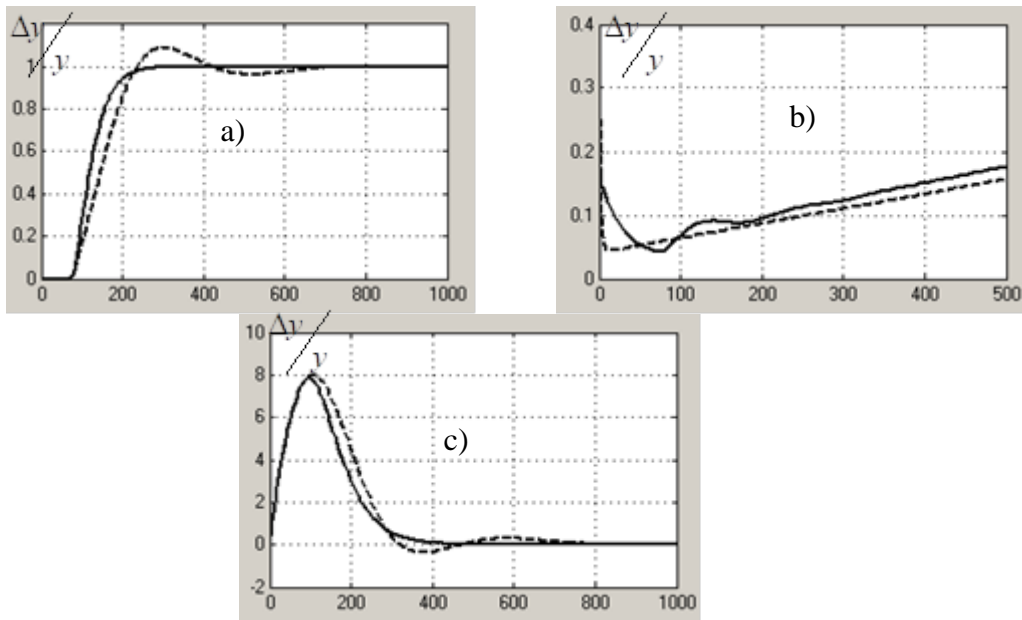


Рис. 2. Графики переходных процессов в сравниваемых КСАР с корректирующим регулятором на базе передаточной функции оптимального регулятора (б) и реального ПИД-регулятора

На рис. 1 приведены структурные схемы моделирования переходных процессов в двухконтурной каскадной системе автоматического

регулирования (КСАР) с корректирующим регулятором (КР) на базе оптимального регулятора (схема *a*) и реального ПИД-регулятора с настройкой по методу полной компенсации в общем виде [4] (схема *в*). В обеих схемах внутренние контура реализуют динамику усилителя с единичным коэффициентом передачи, что позволяет структуру и настройки КР реализовать по передаточной функции главного участка, а также добиться полной инвариантности по отношению к наиболее опасному измеряемому внутреннему возмущению [4].

Из анализа переходных процессов (рис. 2, *a*) следует, что график $Y, X_{зд}$ отработки скачка задания $X_{зд}$ в системе с реальным ПИД-регулятором (пунктирная линия) колеблется вокруг переходного процесса в системе с оптимальным регулятором (сплошная линия) с небольшим отклонением. Переходные характеристики $X_{p, \varepsilon}$ обоих вариантов реализации корректирующего регулятора имеют ярко выраженные составляющие реального ПИД-регулятора (рис.2, *в*). При отработке крайнего внешнего возмущения y, f_2 (рис.2, *с*) интеграл по модулю ошибки регулирования в КСАР с реальным корректирующим ПИД- регулятором больше значения соответствующего интеграла в системе с оптимальным регулятором всего на 20%. При этом включение в систему устройств компенсации внешнего возмущения при глубоких изменениях нагрузки уменьшает значение интеграла модуля ошибки регулирования в 11,6 раза по сравнению с типовой КСАР [5]. Для сохранения высокого качества регулирования во всем диапазоне изменения нагрузки объекта необходимо автоматически корректировать параметры динамической настройки и модели САУ в функции нагрузки. Экспресс-методы оптимизации САУ высокой динамической точности прошли апробацию на котлах ТГМП-114 и БКЗ-320-140 Лукомльской ГРЭС и Гродненской ТЭЦ-2 соответственно могут быть рекомендованы для широкого внедрения.

1. Кулаков, Г.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования / Г.Т. Кулаков. - Минск: Вышэйшая школа, 1984. – 192с.
2. Кулаков, Г.Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования: Учеб. пособие / Г.Т. Кулаков. – Мн.: УП и Технопринт, 2003. – 135с.
3. Кулаков, Г.Т. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулаков. Минск: Вышэйшая школа, 2017. 238с.
4. Теория автоматического управления: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2022. – 197с.
5. Кулаков, Г.Т. Современная теория и практика автоматизации теплоэнергетических процессов / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков // Тезисы доклада, материалы IX МНПК «Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино - и приборостроении» / ред. кол. : Маляревич А.М. (гл. ред.) [и др.]; Минск: Бизнессофт, 2021. С98-100.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ УЧЕБНЫХ ТЕСТОВ С ПОДСИСТЕМОЙ РЕШЕНИЯ ГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Кундро А.В.¹, Полозков Ю.В.¹, Полозков А.Ю.²

1) Белорусский национальный технический университет

2) Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь

В целях развития онлайн-образования разрабатывается клиент-серверное web-приложение «Онлайн редактор для решения тестовых графических задач», включающее три основных модуля, представленных собственным интерфейсом. Первый модуль обеспечивает компоновку элементов, выступающих связующим звеном для дальнейшей разработки алгоритмов в соответствии с областью их применения. Второй представляет собой конструктор алгоритмов решения задач, позволяющий задавать и редактировать описательные условия, входные параметры и исходные данные учебной задачи, используя вышеописанные элементы. Этот конструктор позволяет формировать последовательность алгоритмов для контроля составляющих этапов решения общей задачи, а также связывать входные факторы и выходные параметры. Третий модуль предоставляет возможность взаимодействия пользователя с созданными экземплярами задач для их выполнения. Пример разработанной последовательности алгоритмов для графической задачи по построению профильной проекции пространственной точки приведен на рисунке 1.

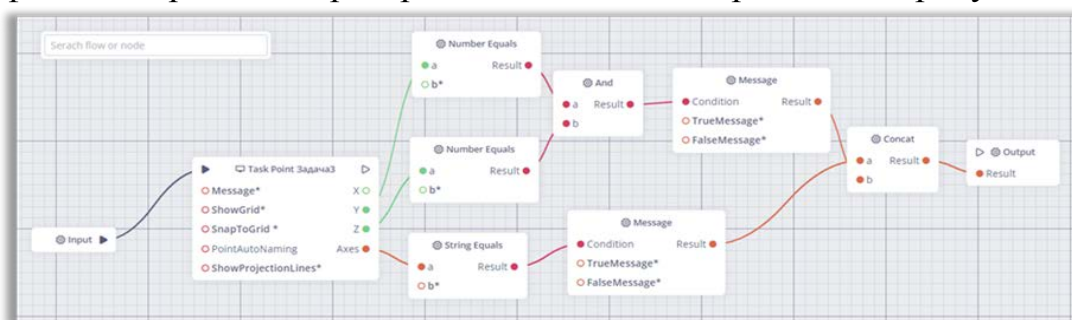


Рисунок 1 – Пример формирования алгоритма контроля выполнения графической задачи

Решение учебных задач выполняется обучающимся в графическом окне в соответствии с заданными описательными условиями и корректируется путем изменения значений контролируемых (входных) факторов (рисунок 2).

Приложение реализовано с использованием фреймворков .NET Core, Entity Framework Core и React.js. Пользовательский интерфейс построен с применением библиотек Bootstrap, MUI и Reactstrap.



Рисунок 2 – Пример выполнения задачи в графическом окне приложения

Для решения задачи в графическом интерфейсе в коде указывается специальная команда. Страница внешнего графического конструктора отображается внутри iframe web-приложения. Связь между iframe и web-приложением осуществляется через обработчик события «message» и метод send. Это позволяет отправлять параметры во внешний интерфейс и получать результат после выполнения определённых действий. После получения результата происходит переход к следующему узлу, который выполняет свою команду, получая определенный результат. Важным моментом является то, что выполняются только те узлы, у которых известны все параметры. Если какой-либо параметр неизвестен, узел ожидает пока он заполнится. Для работы графического интерфейса, программный код, обрабатывающий команду, реализован на стороне внешнего конструктора:

```

window.splate = {
  url: window.location !== window.parent.location
    ? document.referrer
    : document.location.href,
  send: (data) => { window.parent.postMessage(data, splate.url); },
  onSubmit: () => { },
  onReceived: (data) => { }
};
window.addEventListener("message", e => {
  if (e.data === "submit") {
    splate.onSubmit();
  }
  else {splate.onReceived(e.data);}
});

```

Для функционирования обработчика переопределяются функции onSubmit и onReceived. Функция onSubmit срабатывает при нажатии на кнопку «Submit». При этом необходимо вызвать функцию send и передать объект с ответом, который затем преобразуется в выходные параметры узла. Функция onReceived выполняется при запуске узла, а в качестве параметра функции передаются входные данные узла. Если после вызова onSubmit функция send не отвечает в течение 10 секунд, узел отклонит обработку.

ИЗМЕРИТЕЛЬ КООРДИНАТ СОПЛА СТРОИТЕЛЬНОГО 3-D ПРИНТЕРА

Куприянов А.Б., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Постоянное отслеживание реального положения сопла строительного 3-D принтера позволит решать следующие задачи:

1. повышение точности позиционирования за счет использования обратной связи в системе управления положением рабочего инструмента;
2. обеспечение безопасности персонала и оборудования за счет отключения робота при аварийном попадании инструмента в запрещенную зону;
3. отключение подачи строительной смеси при отклонении траектории движения сопла от заданной траектории.

Для исключения влияния ракурса сопла принтера на точность измерений предложено разместить на сопле излучатель света (светодиод) и измерять координаты этого светодиода. По результатам измерений можно построить траекторию движения сопла принтера и непрерывно оценивать разность между заданными и реальными координатами сопла.

Для оценки координат излучателя необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить независимость точности измерений от наличия фона в области излучателя;
- обеспечить выделение контура излучателя и измерение его центра;
- обеспечить независимость точности измерений от точности установки телекамеры.

Для обеспечения независимости точности измерений от наличия фона предлагается осуществить расположить излучатель на слабоотражающей подложке и измерять его координаты только в области выделения, размеры которой не превосходят размеров подложки.

Выделение контура излучателя и определение его центра производится с помощью функций библиотеки OpenCV FindContours и Moments.

Момент — это суммарная характеристика контура, рассчитанная интегрированием (суммированием) всех пикселей контура. Момент контура M_{pq} определяется формулой:

$$M_{pq} = \sum_x \sum_y I(x, y) x^p y^q, \quad (1)$$

где $I(x, y)$ – яркость пиксела с координатами x, y .

В бинаризованном черно-белом изображении $I(x, y)$ равно либо 0, либо 1, поэтому момент M_{00} — равен длине контура (числу пикселей контура).

Моменты, найденные по формуле (1), не позволяют сравнить контуры одинаковой формы, но разных размеров, поэтому для распознавания формы контура по его моментам нужно сначала их нормализовать.

Функция Moments вычисляет пространственные и центральные моменты до третьего порядка контура, а затем вычисляются координаты центра по формулам:

$$\begin{aligned} X &= M_{10} / M_{00} \\ Y &= M_{01} / M_{00} \end{aligned} \quad (2)$$

Эти координаты считаются координатами излучателя, а значит и координатами рабочего инструмента, на котором установлен излучатель в выделенной области.

Для исключения влияния небольших смещений камеры на точность измерений в поле зрения камеры располагается неподвижный светодиод, определяющий положение начала координат системы формирования траектории и смещенный относительно этого светодиода второй неподвижный светодиод, определяющий некоторое направление в системе координат формирователя траектории. Этот второй светодиод также может быть использован для определения масштаба по осям X и Y для пересчета измеренных координат и пикселей на изображении в миллиметры в рабочей области принтера. Третий светодиод располагается непосредственно на сопле принтера и его координаты, измеренные телевизионно-оптическим измерителем считаются реальными координатами сопла.

При включении измерителя сначала определяются координаты неподвижных светодиодов и масштаб, а затем измеряются координаты и строится траектория движения сопла принтера. Основное изображение при задании движения сопла принтера по прямоугольнику показано на рисунке 1.

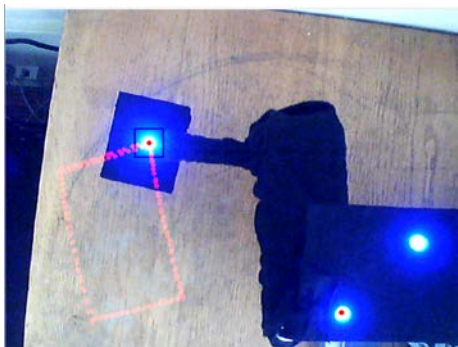


Рисунок 4. Основное изображение измерителя координат при движении сопла принтера по прямоугольнику.

Разработанный телевизионно-оптический измеритель координат сопла строительного 3-D принтера содержит только web-камеру и три светодиода, его программное обеспечение может быть размещено на компьютере, задающем траекторию движения принтера.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, НАСТРАИВАЕМЫЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ПЕЧАТИ НА 3D ПРИНТЕРЕ

Лапко О.П., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Параметры 3D печати оказывают существенное влияние на качество и точность получаемой модели. Существует большое количество приложений для подготовки модели к печати, одним из лучших является Cura. Рассмотрим основные параметры, которые настраиваются в Cura перед печатью.

Одним из существенных параметров является температура печати, которая влияет не только на качество получаемой модели, но и на скорость и время печати. Величина температуры, в основном, определяется в соответствии с используемым материалом. Например, для PLA пластика рекомендуется температура экструдера порядка 190-215 градусов.

Качество получаемой модели и ее точность также зависят от скорости печати и толщины слоя. Более высокая скорость может привести к более грубой поверхности модели. А более тонкие слои могут дать более точную модель, но время печати при этом увеличится.

Температура печати и толщина слоя согласуются с размером и формой модели. Более крупные модели могут требовать более высокой температуры печати и более толстых слоев.

Для создания некоторых деталей модели, в частности расположенных под определенным углом (зависит от остальных параметров печати), может быть необходима поддержка. Однако, она может оставлять следы на поверхности модели, а также ее не всегда легко удалить.

В целом, правильный выбор параметров печати может существенно повлиять на качество и точность получаемой модели.

Также при подготовке к печати, как правило, настраивается еще один параметр, влияющий на прочность и вес модели, - заполнение модели. Заполнение - один из важнейших факторов печати. Благодаря нему происходит уплотнение модели, а так же меняется ее вес. У моделей без заполнения отсутствует надежная структура. Заполнение выполняется в разных стилях, плотностях и узорах, в зависимости от потребностей и особенностей 3D принтера. Выбор правильного заполнения также может улучшить качество и точность 3D печати.

Рассмотрим варианты заполнения. Оптимальными считаются шаблоны, состоящие из сеток (рисунок 1), линий, сот, концентрических (рисунок 2), подходящих для круговых или закругленных объектов, или прямолинейных узоров. Наиболее точно принтер печатает горизонтальные кромки над пустотой, а при таких узорах заполнения объем между

зазорами будет достаточным для качественной, то есть с наименьшим количеством ошибок, печати.

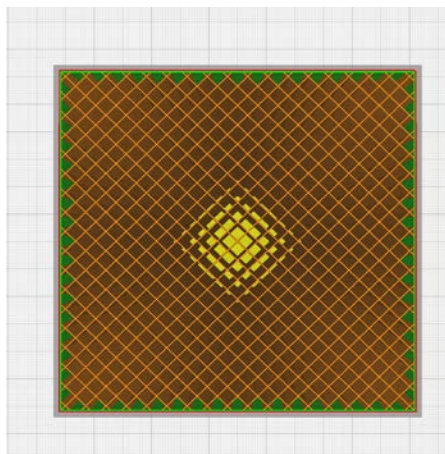


Рисунок 1 - Заполнение “сетка” в Cura

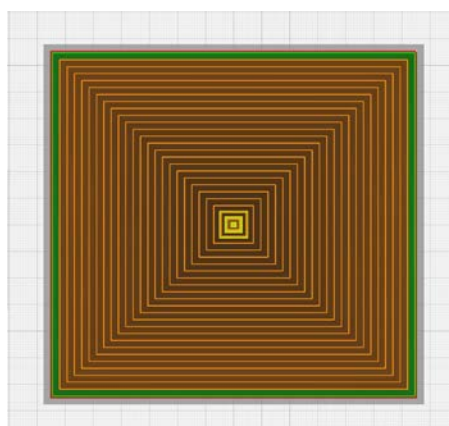


Рисунок 2 - Концентрическое заполнение в Cura

Стандартный процент заполнения порядка 20-25%. При таком диапазоне соблюдается баланс между прочностью модели и расходом материала. Для моделей, у которых прочность конструкции не имеет особого значения, используется 10-15% заполнения. Также небольшой процент заполнения можно задавать для построения «пробной» модели, по которой выверяются важные геометрические размеры. Когда же главным критерием является прочность и большой расход материала приемлем, выставляется плотность заполнения 30-50%. В редких случаях для повышенной прочности заполнение может достигать и 100%.

Задача минимизации процента заполнения при условии достижения необходимой точности с учетом ограничений, связанных с размером детали, материалом пластика, является нетривиальной задачей оптимизации.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ

Лившиц Ю.Е., Задорожная В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Диспетчеризация котельной – это процесс контроля и управления работой котельной. Включает сбор и обработку данных от различных устройств и датчиков, а также удаленное управление исполнительными механизмами. Диспетчеризация позволяет оптимизировать работу котельной, снизить затраты на топливо и повысить эффективность использования энергии. Важным компонентом системы является ПЛК, который обеспечивает автоматизацию процессов управления котельной [1].

Контрольные приборы представляют собой набор устройств, который обязательно присутствует в конструкции котла. Предназначены они для защиты конструктивных компонентов и управления процессами для подачи горячей/холодной воды и отопления. В большинстве случаев, такое оборудованное выполнено в виде набора контрольно-измерительных и управляющих приборов автоматического режима действия. Конкретный состав, комплектация и функционал будут зависеть не только от блока, но и от возможностей основного нагреваемого узла, а именно: конструкции, максимальной температуры во внутреннем контуре и отопительных характеристик.

Для управляющих систем характерно наличие:

- датчика контроля пламени/нагрева ТЭНа и клапана-отсекателя;
- датчика давления, контролирующего высокое/низкое давление в топочном контуре для газа;
- термопары, выполняющей повышение/понижение температуры в котельном контуре;
- датчика тяги разреженности среды в камере;
- контроллера загазованности.

Шкафы управления и автоматики включают различные элементы управления. В них входят реле, кнопки и тумблеры. Также они содержат автоматические выключатели с разным количеством плюсов, специальные устройства для защиты. Данные шкафы включают устройства, чтобы проводить визуализацию состояния объекта: лампы и мониторы. В случае необходимости, шкафы имеют системы для регуляции микроклимата.

Автоматы защиты и устройства защитного отключения предохраняют персонал от поражения током, а кроме того они защищают подключаемое оборудование от коротких замыканий и перегрузок в сети. Снаружи шкафов управления устанавливаются элементы сигнализации.

Система будет автоматически очень точно контролировать любой производственный процесс, анализировать данные работы

электродвигателя и других приборов, выбирать оптимальные параметры их работы в зависимости от заложенного алгоритма. Во-первых, это позволит избавить персонал от необходимости непрерывно контролировать оборудование. Во-вторых, значительно снизить потребление электричества и однозначно продлить срок эксплуатации самих электродвигателей [2].

Шкафы управления АСУ обеспечивают:

- автоматическое управление и диагностику оборудования;
- возможность выбора режима работы: автоматический, полуавтоматический и ручной;
- защиту электросети и оборудования от перепадов напряжения и перегрузок по току;
- регулирование параметров технологических промышленных процессов (давления, температуры, влажности и пр.);
- индикацию текущих и заданных параметров автоматики;
- аварийную сигнализацию;
- передачу телеметрической информации о идущих процессах на диспетчерский пункт или ПК;
- архивирование данных технологических процессов и нештатных аварийных ситуаций с привязкой ко времени и дате;
- возможность выполнять команды диспетчера.

Современные системы диспетчерского управления котельной строятся в виде интегрированной модульной архитектуры, одними из основных компонентов которых являются:

- средства измерения и контроля параметров: датчики температуры, давления, уровня, расхода, теплосчетчики и т.д.;
- устройства регулирования и безопасности: предохранительные клапаны, регуляторы температуры, реле давления и т.д.

Сбор, анализ данных, формирование алгоритмов работы и управляющих сигналов распределяются по контроллерам и модулям на основе функциональных групп. Информация от всех устройств передается на пульт управления, откуда она может быть выведена на диспетчерский компьютер. Для визуализации параметров и их настройки используется специализированное ПО.

Система диспетчеризации представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, который позволяет осуществлять удаленное управление котельной.

Автоматизированная система диспетчерского управления необходима для контроля оборудования, разнесенного территориально, а также расположенного в труднодоступных местах. Диспетчеризация включается в систему управления многофункциональными объектами со сложной инженерной инфраструктурой, такими как офисные здания, торгово-развлекательные центры, а также производственные комплексы и другие промышленные предприятия.

В систему диспетчеризации включены следующие подсистемы: электроснабжение, газоснабжение, тепло- и водоснабжение, учет энергоресурсов, охранно-пожарная сигнализация, системы пожаротушения и дымоудаления, вентиляция и кондиционирование, видеонаблюдение, контроль и управление доступом.

Суть диспетчеризации заключается в визуализации информации о функционировании систем и предоставлении оператору возможности прямого управления оборудованием из диспетчерского пункта. Данные о состоянии оборудования поступают от контроллеров локальной автоматики и передаются на сервер. Обработанные технологические данные с необходимой аналитической информацией поступают на сервер диспетчеризации и выводятся на экранах компьютеров на рабочих местах операторов в наглядном динамическом графическом виде [3].

Данные, полученные и обработанные системой диспетчеризации, формируются в сообщения разного вида, которые архивируются в долговременные хранилища. На основе этой информации, доступной в любое время, формируются отчеты.

АСДУ дает ключевые преимущества при управлении объектом:

- постоянный централизованный контроль работы систем;
- оперативное реагирование в аварийных ситуациях;
- уменьшение влияния человеческого фактора;
- оптимизация документооборота, системы отчетности.

Системы диспетчеризации нужны для:

- мониторинга параметров всех систем предприятия;
- учета потребляемых ресурсов;
- контроля и оптимизации расходов на потребляемые ресурсы;
- организации единого управления всеми системами предприятия;
- обеспечение оперативной реакции на аварийные ситуации;
- контроль параметров и предотвращения перегрузок в системах жизнеобеспечения предприятия;
- снижение затрат на обслуживающий персонал [3].

1. Система диспетчеризации котельной [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://xn--90aefk0afdbjdc7m.xn--p1ai/press/sistema-dispetcherizacii-kotelnoy/>
2. Шкаф АСУ [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://ap-n.com/shkaf-upravleniya/>
3. almateks.com [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://almateks.com/catalog/system_dispatcherizacii.html

РОБОТИЗИРОВАННАЯ МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА С МЯГКИМИ ЗАХВАТАМИ

Матрунчик Ю.Н.¹, Карпович П.С.², Сенько А.И.²

1) Белорусский национальный технический университет

2) УО «Национальный детский технопарк»

г. Минск Республика Беларусь.

Целью разработки роботизированной манипуляционной системы является необходимость автоматизации процесса манипулирования и сортировки объектов кондитерского производства для дальнейшей транспортировки.

Система включает в себя два программно управляемых конвейера, антропоморфный робот-манипулятор с захватным устройством, а именно трехпальцевый мягкий пневматический захват, и погрузочно-разгрузочного мобильного робота.

В качестве управляющих микроконтроллеров выбраны ATmega328P на платформе Arduino Uno R3 и ARM CortexM0 16k RAM 16MHz плата Micro:bit. Система оснащена датчиками контроля положения объектов и камерой компьютерного зрения для выполнения операции сортировки (KittenBot KOI AI module). Привод конвейеров электромеханический – ДПТ и ременная передача. Манипуляционный робот имеет сервоприводы звеньев с датчиками угловых перемещений. Камера машинного зрения осуществляет проверку правильности работы роботизированной системы и сообщает оператору о сбоях.

Программирование микроконтроллеров выполнено на языках C (CodeVisionAVR, Arduino IDE) и Python (MakeCode). Проектирование механических исполнительных элементов конструкции системы выполнено в САПР SolidWorks.

Разработанная система позволит сократить производственные затраты за счет снижения количества обслуживающего персонала, улучшить показатели качества производства за счет увеличения выпуска продукции (многосменное производство по безлюдной технологии). Снизит энергозатраты производства, уменьшит процент брака за счет автоматизированной сортировки готовой продукции с помощью системы технического зрения. Уменьшит количество повреждений продукции за счет использования специально разработанных «мягких» захватов.

1. Бачинин, А. Основы программирования микроконтроллеров / А. Бачинин, В. Панкратов, В. Накоряков. – ООО «Амперка», 2013. – 207с.
2. Виды и устройство микроконтроллеров AVR [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <http://electrik.info/main/praktika/1333-ustroystvo-mikrokontrollerov-avr.html>

ОСОБЕННОСТИ СЕТИ YOLOV4, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА

Мисякова В.А., Ковалева И.Л.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В работе [1] для определения положения рабочего инструмента 3D-принтера предлагается использовать сверточную нейронную сеть семейства YOLO. Рассмотрим архитектуру YOLOv4 и основные методы, которые позволяют обеспечивать высокую результативность ее работы.

YOLOv4 [2] представляет собой одноэтапную сеть обнаружения объектов, которая состоит из трех частей: магистрали (backbone), шеи (neck) и головы (head) (рис. 1).

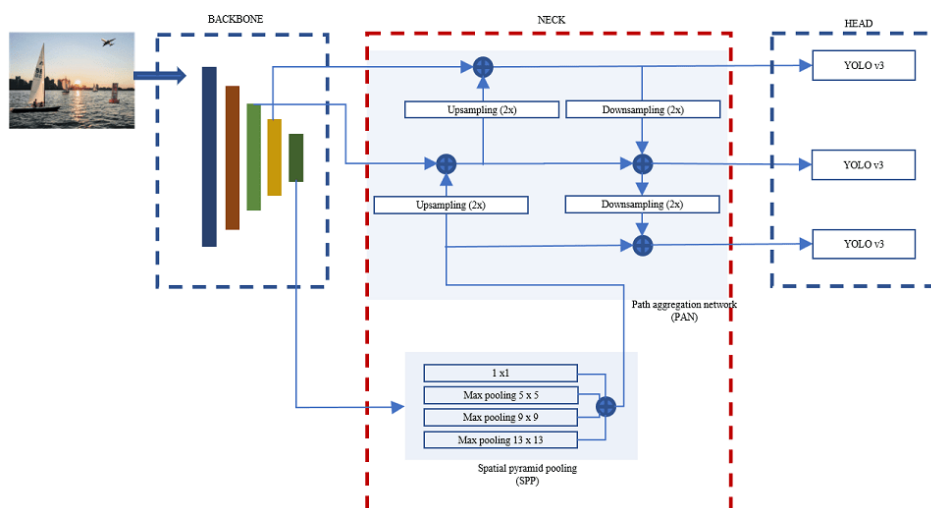


Рисунок 1 – Архитектура YOLOv4

При обучении YOLOv4 используются две группы методов повышения точности детектирования: Bag-of-Freebies (BoF) и Bag-of-Specials (BoS).

В группу BoF входят методы, которые не влияют на вычислительную сложность обученной модели и скорость ее работы. В данной версии разработчики внедрили новые методы мозаичного увеличения данных (Mosaic) и самовредоносного обучения (Self-Adversarial Training, SAT). Mosaic представляет собой новый метод аугментации данных, который объединяет четыре обучающих изображения. Это позволяет обнаруживать объекты вне их обычного контекста. SAT работает в два этапа – прямом и обратном. На первом этапе нейронная сеть выполняет атаку на саму себя, изменяя исходное изображение для создания иллюзии отсутствия на нем желаемого объекта. На втором этапе нейронная сеть обучается обнаруживать объект на этом модифицированном изображении обычным способом. Группа BoS включает методы, которые незначительно

уменьшают скорость работы обученной модели, при этом значительно улучшая точность детектирования.

Сеть YOLOv4 использует предварительно обученную сверточную нейронную сеть CSPDarkNet53 [3] в качестве магистрали для извлечения признаков из входных изображений. Магистральная сеть состоит из пяти модулей остаточных блоков, где каждый блок содержит набор сверточных слоев, а выходные карты признаков из этих остаточных блоков объединяются в шее сети YOLOv4.

Модуль Spatial pyramid pooling (SPP) [4] в шее объединяет выходы подвыборки карт признаков низкого разрешения для извлечения наиболее репрезентативных признаков. Модуль SPP использует ядра размером 1x1, 5x5, 9x9 и 13x13 для операции подвыборки (max-pooling operation). Значение шага установлено равным 1. Объединенные карты признаков из модуля SPP агрегируются с картами признаков высокого разрешения с использованием Path aggregation network (PAN) [5]. Модуль PAN выдаёт набор агрегированных карт признаков, которые используются для предсказаний. Эта агрегация позволяет лучше учесть разнообразие объектов и условий в изображении.

Сеть YOLOv4 выдает карты признаков размерами 19x19, 38x38 и 76x76 для предсказания ограничивающих рамок, оценок классификации и оценок объектности [1].

Рассмотренная архитектура YOLOv4 имеет по сравнению с предыдущими версиями меньшее количество параметров и позволяет работать с относительно небольшим размером мини-пакета, что уменьшает объем вычислений и требования к памяти. YOLOv4 позволяет осуществлять обучение и достигать высокой скорости обнаружения объектов на одном графическом процессоре среднего уровня с объемом графической памяти 8-16 ГБ (например, GTX 1080 Ti или RTX 2080 Ti).

1. Мисякова В.А., Ковалева И.Л. Обоснование использования нейронной сети yolo для определения положения рабочего инструмента 3d-принтера // Новые технологии и материалы, автоматизация производства : материалы международной научно-технической конференции (Брест, 16-17 ноября 2023 г.) / редкол. С.Р. Онысько [и др.] ; Министерство образования РБ, Брестский государственный технический университет. – Брест, 2023. – С. 45-49.
2. Alexey Bochkovskiy, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection / arXiv: journal. – 2020.
3. Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao, I-Hau Yeh, Yueh-Hua Wu, Ping-Yang Chen, Jun-Wei Hsieh. CSPNet: A New Backbone that can Enhance Learning Capability of CNN / arXiv: journal. – 2019.
4. Kaiming He, Xiangyu Zhang, Shaoqing Ren, Jian Sun. Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition / arXiv: journal. – 2015.
5. Shu Liu, Lu Qi, Haifang Qin, Jianping Shi, and Jiaya Jia. Path aggregation network for instance segmentation / arXiv: journal. – 2018.

УДК 658.512.22.011.56

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА НА ЯЗЫКЕ APDL

Напрасников В.В., Ван Цзы Жуй, Чжан Цзыхан, Петаков Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью настоящей работы является создание модели и исследование напряженно-деформированного состояния секции подъемного крана, и выполнение на ее основе расчетов прочности, жесткости и устойчивости конструкции для проверки рационального использования материала.

В докладе подробно описываются этапы подготовки конечно-элементной модели конструкции, в которой для моделирования секций стрелы используется элемент Beam 188, для моделирования каната используется элемент Link1, для моделирования гидроцилиндра используется элемент Combin14.

Ниже представлен фрагмент скрипта с комментариями для формирования модели на языке APDL.

```
/PREP7 ! Вход в препроцессор
```

```
ET,1,COMBIN14 ! Задание элемента тип COMBIN14
```

```
ET,2,LINK1 ! Задание элемента тип LINK1
```

```
ET,3,BEAM188 ! Задание элемента тип BEAM188
```

```
R,1,2E+10, , , ! Задание коэффициента упругости пружины
```

```
R,2,0.00045,0.0001, ! Задание площадь каната, предварительное  
натяжение
```

```
SECTYPE, 1, BEAM, HREC,, 3 ! Создание сечений для элемента  
BEAM188
```

```
SECOFFSET, CENT
```

```
SECDATA,0.5,0.35,0.005,0.005,0.005,0.005,0,0,0,0 ! Размеры сечений 1
```

```
SECTYPE, 2, BEAM, HREC,, 3!Создание 2-ое сечений для элемента  
BEAM188
```

```
SECOFFSET, CENT
```

```
SECDATA,0.45,0.3,0.005,0.005,0.005,0.005,0,0,0,0 ! Размеры сечений 2
```

```
! Задание материала Номер 1 (ДЛЯ БАЛКИ)
```

```
MP,EX,1,2E+11 ! Задание модуля упругости
```

```
MP,PRXY,1,0.3 ! Задание коэффициента Пуассона
```

```
MP,DENS,1,7850 ! Плотность стали
```

! Задание материала Номер 2 (ДЛЯ КАНАТА)
 MP,EX,2,1E+11 ! Задание модуля Юнга
 MP,PRXY,2,0.3 ! Задание коэффициента Пуассона
 MP,DENS,2,7850 ! Плотность стали

Некоторые результаты моделирования представлены на рисунках 1,2.
 На рисунке 1 представлены реакции в узлах и внешние нагрузки.

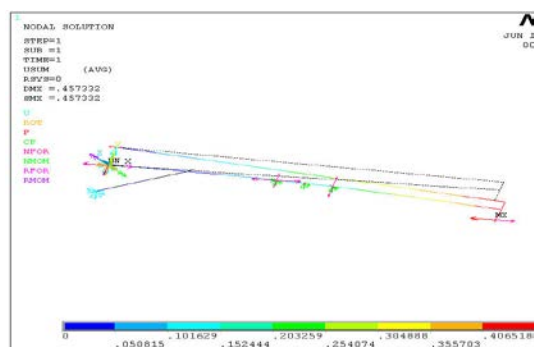


Рисунок 1. Графическое изображение реакций в узлах и внешних нагрузок

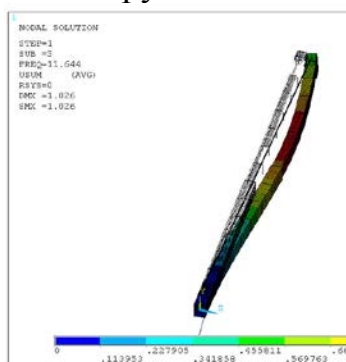


Рисунок 2. Третья форма потери устойчивости

Анализ результатов показывает, что:

- максимальные перемещения возникают в узле с номером 21 на конце стрелы и составляют (-0,212м; -0,375м; -0,260м);
- максимальное растягивающее напряжение возникает в основании стрелы (первая секция) и составляет $S1=346$ МПа;
- максимальное напряжение по Мизесу возникает в основании стрелы и составляет 408 МПа;
- максимальное срезающее напряжение незначительно и составляет $SXY=0,316$ МПа;
- максимальное срезающее напряжение незначительно и составляет $SXZ=0,316$ МПа;
- коэффициент запаса потери устойчивости по первой форме составляет 1,67, потеря устойчивости для рассматриваемого варианта не произойдет.

СОВМЕЩЕННЫЕ КОРНЕВЫЕ ПОРТРЕТЫ ПРИ СИНТЕЗЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ РЯДА РЕАЛЬНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА

Несенчук А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

В работе рассматривается система автоматического управления объектами, функционирующими в условиях неопределенности [1,2], при изменении двух реальных физических параметров объекта в бесконечных пределах действительных значений. Введено понятие «совмещенного корневого годографа» («совмещенного корневого портрета») системы.

Рассмотрим математическую модель системы в форме корневого портрета (корневого годографа) при изменении двух реальных физических параметров объекта. Будем рассматривать математическую модель в виде корневых траекторий характеристического полинома автоматической системы, коэффициенты $a_j(\bar{q})$ которого являются функциями вектора $\bar{q} = \{q_i, i = \overline{1, m}\}$ реальных физических параметров системы:

$$p(s, \bar{q}) = s^n + a_1(\bar{q})s^{n-1} + a_2(\bar{q})s^{n-2} + \dots + a_{n-k}(\bar{q})s^k + \dots + a_{n-2}(\bar{q})s^2 + a_{n-1}(\bar{q})s + a_n(\bar{q}), \quad (1)$$

где s – комплексное переменное, $s = \sigma + i\omega$; $a_j \in \bar{a}$ – коэффициенты полинома, $j = 1, 2, \dots, n$.

Рассмотрим пример системы, когда изменяются два параметра объекта управления, которые фактически являются коэффициентами полинома. Характеристический полином системы имеет следующий вид:

$$s^3 + s^2 + q_1s + q_2 = p(s, q_1, q_2). \quad (2)$$

Подобные системы часто встречаются в реальных практических задачах синтеза систем автоматического управления техническими объектами.

Тогда, выделив в (2) интересующий нас параметр, например q_1 , в качестве параметра корневого годографа, получим уравнение корневого годографа в общем виде [2]:

$$\phi(s) + q_1\psi(s) = (s^3 + s^2 + q_2) + q_1s = 0. \quad (3)$$

Для исследования системы используем совмещенный корневой портрет. Приняв $q_1=0$, можно выполнить исследование динамических свойств системы при вариации коэффициента q_2 , т.е. установить реакцию системы на изменение этого параметра в пределах бесконечного интервала изменения его значений, учитывая, что построенный для этого случая корневой годограф $RL(q_2)$ полинома $\phi(s)$ (3), имеющий параметр годографа q_2 , представляет собой траекторию полюсов (начальных точек) корневого годографа характеристического полинома системы.

Исследовав влияние параметра q_2 на динамику системы, следует выбрать приемлемое в смысле расположения корней и удовлетворяющее пользователю значение $q_2 = \bar{q}_2$ этого параметра.

На следующем этапе, используя выбранное значение $q_2 = \bar{q}_2$, с помощью корневого годографа (3), построенного уже относительно параметра q_1 годографа, $RL(q_1)$, выполняем исследование влияния изменения параметра q_1 на динамику рассматриваемой системы управления. В этом случае корни полинома (3) представляют собой корни системы при найденном на предыдущем этапе значении параметра $q_2 = \bar{q}_2$.

Соответствующие корневые траектории представлены на рис. 1.

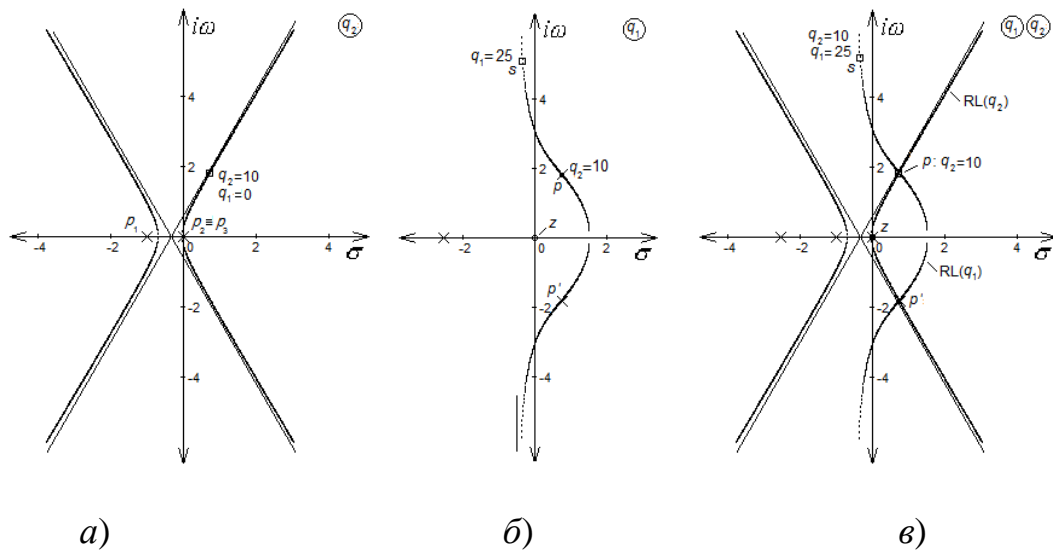


Рис. 1. Корневые годографы $RL(q)$ системы:

- а) $RL(q_2)$ полинома $\phi(s)$ (5) с параметром годографа q_2 при $q_1=0$;
- б) $RL(q_1)$ полинома (6) с параметром годографа q_1 при $q_2=10$;
- в) совмещенный корневой годограф системы $RL(\bar{q})=RL(q_1)+RL(q_2)$: годограф относительно q_1 совмещен с годографом относительно q_2

Искомая точка s ($q_1=25, q_2=10$) выбрана в левой полуплоскости комплексной плоскости s корней системы (рис. 1, в).

Совмещенный корневой годограф обладает большой наглядностью, позволяя не только исследовать характер влияния параметрических вариаций на динамические свойства системы, но также установить взаимовлияние отдельных ее параметров и на этой основе определять значения параметров, обеспечивающих устойчивость системы.

- 6. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. Управление линейными системами при внешних возмущениях. М.: ЛЕНАНД, 2014. – 560 с.
- 7. Несенчук А.А. Анализ и синтез робастных динамических систем на основе корневого подхода. Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 234 с.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ РЕЖИМОВ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОРМИРУЕМЫХ ПОКРЫТИЙ

Нисс В.С., Королёв А.Ю., Паршута А.Э., Сорока Е.В.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Для повышения производительности с возможностью управления структурой и свойствами формируемых оксидных слоев предложен метод микродугового оксидирования, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов напряжением до 600 В с регулируемой частотой от 50 до 2500 Гц. В работе исследовалось влияние периода импульсов (частоты) и радиуса кривизны обрабатываемых цилиндрических поверхностей на толщину, шероховатость, микротвердость формируемого оксидного слоя и прирост массы образцов. Для использования использовались электроды-образцы различного диаметра – 10, 20, 30 мм и высотой 10 мм из алюминиевого сплава Д16Т.

Обработка образцов выполнялась в водном растворе КОН (0,3 % масс.) и Na_2SiO_3 (0,9 % масс.). Температура электролита составляла 25 °С. Для обработки использовались биполярные импульсы с длительностью 0,25–2,0 мс (период 1–8 мс) в форме меандра с коэффициентом заполнения 50 %. Амплитуда импульса положительного напряжения составляла 500 В, отрицательного – 160 В. Для сравнительной оценки характеристик покрытий на цилиндрических поверхностях, полученных при высокочастотных режимах, дополнительно выполнялась обработка образцов на традиционно применяемом в процессах микродугового оксидирования тиристорном источнике питания с фазовым регулированием напряжения, формирующим импульсы с частотой 50 Гц (период 20 мс). Обработка на тиристорном источнике питания выполнялась при тех же значениях амплитуд положительного и отрицательного импульса.

Зависимости толщины, микротвердости, шероховатости оксидного слоя и изменения массы от периода импульсов для образцов различного диаметра представлены на рис. 1–3. При использовании высокочастотных режимов толщина формируемого оксидного слоя зависит от периода импульсов (рис. 1). При этом диаметр образца не оказывает значимого влияния на толщину слоя. При значении периода 1 мс (длительность импульса 0,25 мс) толщина оксидного слоя составляет 30–37 мкм, а при периоде 8 мс – 160–163 мкм. При использовании тиристорного источника питания с периодом импульсов 20 мс (частота 50 Гц) толщина оксидного слоя для образцов различного диаметра составляет 74–99 мкм.

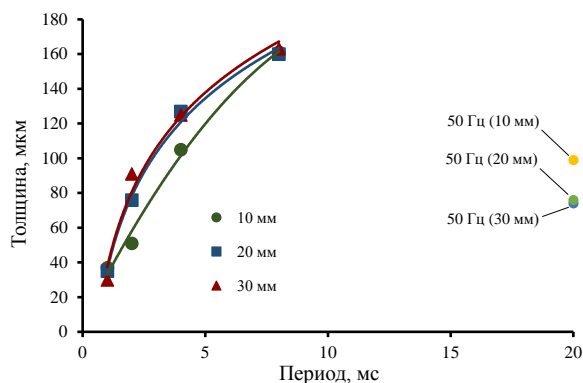


Рис. 1. Зависимости толщины оксидного слоя от периода импульсов

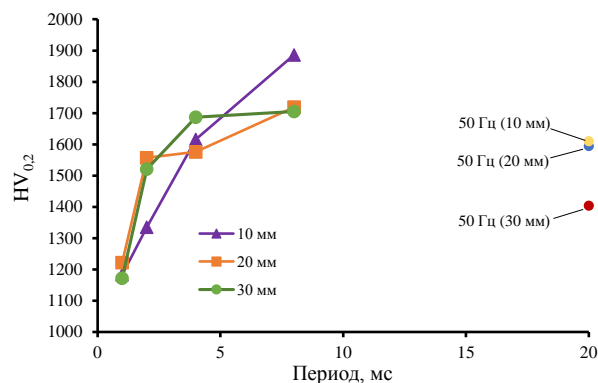


Рис. 2. Зависимости изменения микротвердости оксидного слоя от периода импульсов

Период импульсов также оказывает существенное влияние на микротвердость формируемого оксидного слоя (рис. 2). Как и в случае с толщиной формируемого слоя диаметр обрабатываемого образца не оказывает значимого влияния на микротвердость. При периоде 1 мс микротвердость оксидного слоя составляет HV 1172–1222, а при периоде 8 мс – HV 1700–1886. При периоде импульса 20 мс (тиристорный источник питания) микротвердость оксидных слоев зависит от диаметра электрода составляет около HV 1600 для образцов диаметром 10–20 мм и HV 1404 при для образца диаметром 30 мм.

Диаметр образца оказывает существенное влияние на прирост массы образцов (рис. 3). Так при периоде 1 мс изменение массы оксидного слоя составляет 0,4–0,5 % при диаметре 20–30 мм и 1,1 % при диаметре 10 мм. При периоде 8 мс прирост массы увеличивается до 1,5–1,9 % для образцов диаметром 20 и 30 мм и до 4,8 % для образца диаметром 10 мм. При обработке на тиристорном источнике питания наибольший прирост массы (3,8 %) также обеспечивается для образца диаметром 10 мм. Для образцов диаметром 20 и 30 мм изменение массы составляет 1,1–1,4 %.

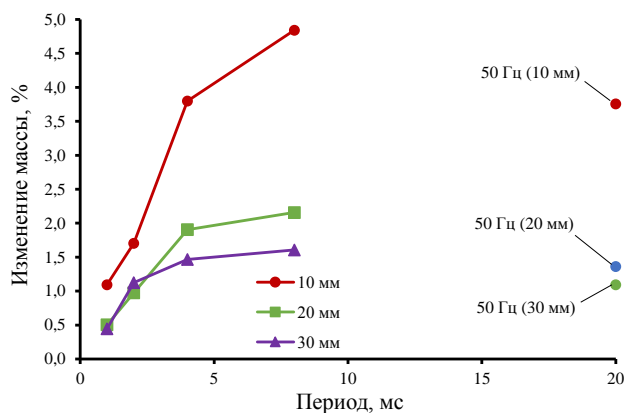


Рис. 3. Зависимости изменения массы оксидного слоя от периода импульсов

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ЧЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МДО-ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ

Нисс В.С., Королёв А.Ю., Сенченко Г.М., Паршута А.Э.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Одной из задач современной промышленности является разработка процессов формирования черных износостойких покрытий, обеспечивающих поглощение света. Большой интерес для формирования светопоглощающих покрытий представляет метод микродогового оксидирования (МДО), характеризующийся как надежный и экологически безопасный процесс, обеспечивающий формирование твердого керамико-подобного оксидного слоя с высокой коррозионной стойкостью и хорошей адгезией к основе [1, 2].

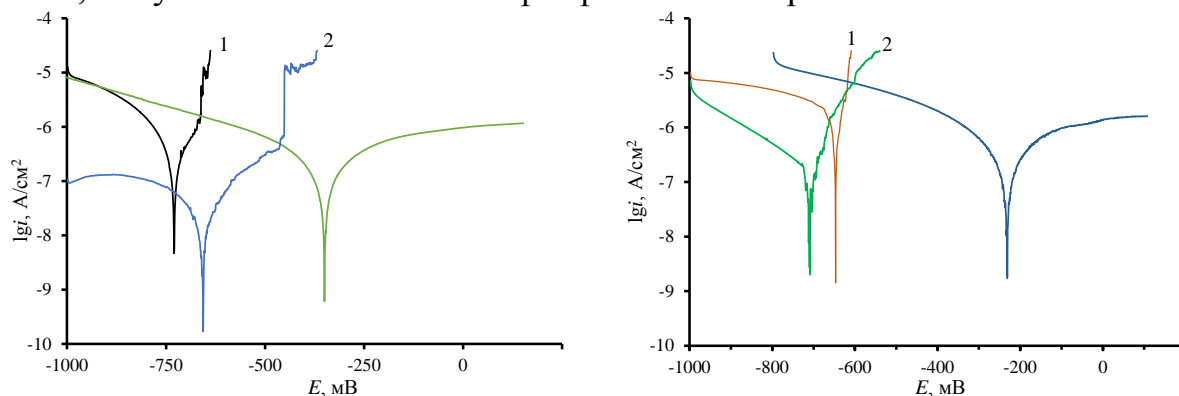
В работе приводятся результаты исследования коррозионной стойкости черных керамических покрытий на алюминиевых сплавах Д16Т и АМг2, полученных методом МДО с применением силикатно-фосфатного и силикатно-щелочного электролитов.

Черные МДО-покрытия наносились на плоские образцы из алюминиевых сплавов АМг2 и Д16Т с размерами 20x15x1 мм. Обработка выполнялась с применением силикатно-щелочного электролита с вольфраматом натрия следующего состава: NaOH – 0,2 %; Na₂SiO₃ – 1,0 %; Na₂WO₄ – 1,0 %; и силикатно-фосфатного электролита с ферроцианидом калия, имеющего состав: Na₂HPO₄ – 1,0 %; Na₂SiO₃ – 1,0 %; K₄[Fe(CN)₆] – 1,5 %. Температура электролита при обработке образцов поддерживалась в диапазоне 20–25 °С. Продолжительность обработки образцов составляла 30 мин.

Электрохимическая ячейка включала плоский образец, являющийся рабочим электродом и систему измерения, состоящую из вспомогательного платинового электрода марки ЭПВ-1СР-100, хлорсеребряного электрода сравнения и электролитического ключа.

Полученные поляризационные кривые исследуемых образцов представлены на рис. 1. Значения потенциала коррозии $E_{корр}$ и плотности тока коррозии $i_{корр}$ были определены по пересечению линейных участков анодной и катодной кривых. Потенциалы коррозии $E_{корр}$ исследованных покрытий (за исключением покрытия на сплаве АМг2, полученном в силикатно-щелочном электролите с вольфраматом натрия) смещаются в сторону более положительных значений, ток коррозии $i_{корр}$ уменьшается. Для сплава Д16Т происходит увеличение значений потенциала коррозии $E_{корр}$ с –0,730 В для исходного образца, до –0,656 В для покрытия полученного в силикатно-щелочном электролите, до –0,350 В для покрытия полученного в силикатно-фосфатном электролите и уменьшение плотности тока коррозии $i_{корр}$ с $21,38 \cdot 10^{-8}$ А/см² для исходного образца, до

$5,50 \cdot 10^{-8}$ А/см² для покрытия, полученного в силикатно-щелочном электролите, до $18,62 \cdot 10^{-8}$ А/см² для покрытия полученного МДО в силикатно-фосфатном электролите. Для сплава АМг2 установлено изменение значений потенциала коррозии $E_{корр}$ с $-0,645$ В для исходного образца, до $-0,709$ В для покрытия полученного в силикатно-щелочной электролите, до $-0,231$ В для покрытия, полученного в силикатно-фосфатном электролите, и снижение плотности тока коррозии $i_{корр}$ с $15,49 \cdot 10^{-8}$ А/см² для исходного образца до $4,36 \cdot 10^{-8}$ А/см² для покрытия полученного в силикатно-щелочной электролите и до $2,75 \cdot 10^{-8}$ А/см² для покрытия, полученного в силикатно-фосфатном электролите.



а

б

1 – исходный образец; 2 – образец с покрытием, полученным в силикатно-щелочном электролите; 3 – образец с покрытием, полученным в силикатно-фосфатном электролите

Рис. 1 Поляризационные кривые для образцов из сплавов Д16Т и АМг2

Смещение потенциала коррозии образцов с покрытием аноднее потенциала коррозии исходного образца говорит о том, что данные такие покрытия будут замедлять коррозию основного материала. В случае с образцом из АМг2 с покрытием, получаемым в силикатно-щелочном электролите, когда потенциал коррозии смещался катоднее потенциала исходного образца, будет наблюдаться увеличение скорости коррозии алюминиевого сплава.

Потенциал питтингообразования образцов из сплава Д16Т смещался в сторону положительных значений с $-0,665$ В для исходного образца до $-0,452$ В для покрытия, полученного в силикатно-щелочном электролите с вольфраматом натрия и до $+0,176$ В для покрытия, полученного в силикатно-фосфатном электролите с ферроцианидом калия, что также подтверждает влияние покрытий на повышение коррозионной стойкости.

1. Структура и свойства черных керамических МДО-покрытий на алюминиевых сплавах / Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, В.С. Нисс, А.С. Будницкий // Наука и техника. 2023. Т. 22, № 1. С. 27–33. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2023-22-1-27-33>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСНОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТОТЕХНИКЕ

Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Дистанционное обучение все более широко заявляет о себе как о самостоятельном, инновационном явлении в национальной педагогической науке. И если, как вариант получения первого базового образования, очное обучение остается на сегодняшний день вне конкуренции, то, как вариант получения второго образования и повышения квалификации, дистанционное обучение является наиболее перспективным и экономически оправданным. Вот почему во многих ведущих вузах страны, включая Академию управления при Президенте Республики Беларусь, дистанционное обучение выступает на передний план.

Перспективность и инновационная направленность дистанционного обучения (далее – ДО) заключается не столько в использовании новейших информационных технологий и доступе практически к безграничному объему информации благодаря развитию современных интернет-технологий, сколько в организации самого педагогического процесса, позволяющем не только обучить студента определенным знаниям, умениям и навыкам, а получить на выходе специалиста с системным мышлением, умеющего работать в коллективе. Вместо ориентации на усвоение готовых знаний, как в традиционной системе обучения, в ДО используется пробле-

мноое обучение, которое предполагает умение в определенных ситуациях увидеть проблему, требующую исследования, и выдвигать методы ее решения.

В настоящее время при создании того или иного курса ДО наиболее часто используется подход, заключающийся в переработке уже существующего в системе очного обучения курса с учетом требований концепции ДО.

В данном случае была предпринята попытка решения обратной задачи, т.е. использовать все лучшее и инновационное, что есть в системе ДО, для процесса обучения на дневном отделении студентов и магистрантов на кафедре «Робототехнические системы» БНТУ.

Лекции. Большая часть лекционного материала была представлена в виде презентаций в среде MS Office PowerPoint с использованием таких технических средств как проектор, ноутбук и интерактивная доска. Это позволило, с одной стороны, повысить наглядность и информативность изложения материала, и, с другой стороны, «оживить» его, внося пояснения и дополнения в режиме реального времени с помощью

интерактивной доски. Подобная форма изложения в значительной степени напоминала гипертекст, используемый в интернете. Кроме того, для усиления эффекта присутствия, демонстрационный компьютер (ноутбук с достаточно высокими тактовой частотой и объемом ОЗУ) был постоянно подключен к мобильному интернету с помощью 3G модема Velcom, что позволило обеспечить нахождение в интернете для целой поточной аудитории студентов с использованием только одного компьютера и одного экрана. Мало того, что использование интернета в реальном времени при изложении лекционного материала позволило значительно повысить его информативность и наглядность, насытить видео и аудио фрагментами, примерами с использованием анимации и, следовательно, увеличить эффективность восприятия и запоминания, одновременно решалась и другая, не менее важная педагогическая задача. А именно, было продемонстрировано студентам, как на основе базовых знаний самостоятельно получать новые с использованием безграничных возможностей интернета (гиперссылки, поисковики, библиотеки, словари, энциклопедии, тезаурусы и т.д.). При этом значительное внимание уделялось проблемам эргономики и культуры общения в интернете, что является проблемным местом современной молодежи.

Практические занятия и самостоятельная работа студентов. Здесь основной упор делался на самостоятельную работу студентов и магистрантов и использование в дидактических целях основных педагогических технологий ДО, таких как:

- обучение в малых группах сотрудничества;
- метод проектов;
- эвристические методы (дискуссии, «мозговые» атаки, круглые столы);
- ролевые игры проблемной направленности;
- «портфель ученика» (рефлексия);
- ситуационный анализ (case-stady);
- разноуровневое обучение (дифференциация обучения).

Всем обучающимся были розданы темы для докладов, которые они должны были сделать в виде презентаций с использованием MS Office PowerPoint, при распределении которых учитывался их уровень подготовки и склонности (аналогия дифференциации обучения), а некоторые, наиболее объемные и сложные темы, предлагались группе из двух–трех человек (обучение в малых группах сотрудничества). При этом часть тематического материала рассматривалась в лекционном курсе, и студентам предлагалось изложить свое мнение по изучаемой теме, а часть изучалась студентами и магистрантами полностью самостоятельно.

Доклады-презентации по каждой из изученных самостоятельно тем были заслушаны на практических занятиях и подвергнуты всестороннему анализу. При этом вторую (после преподавателя) оценку докладчику и наиболее активным оппонентам выставляла аудитория. Обсуждение наиболее сложных и актуальных тем проводилось в рамках специально созданных круглых столов, причем обсуждение некоторых вопросов выходило за рамки мирной дискуссии, и специально создавались острые ситуации, для нахождения выхода из которых требовалась мозговая атака не только участников круглого стола, но и всей аудитории. Несколько тем было посвящено электронно-познавательным увлечениям современных студентов – графическим планшетникам и электронным книгам, при этом была предоставлена возможность каждому с ними поработать. В качестве проблемной темы для изучения и использования метода проектов самими студентами была выбрана тема «Облачный компьютер и облачные вычисления», которая в течении семестра обсуждалась как в интернете с использованием web-квеста, так и непосредственно в аудитории. Результаты работы над проектом были доложены на одном из занятий инициаторами проекта в форме красочной презентации в PowerPoint. На одной из лекций студентам было разъяснено понятие «рефлексии» и для ее развития было предложено вести (по желанию) «портфель ученика».

Контроль и оценка знаний. Проводились на 2-х уровнях. Первый – впечатление от доклада-презентации, активность при обсуждении других докладов, участие в дискуссиях и круглых столах, умение отстаивать свою точку зрения (пусть даже ошибочную). Второй – по результатам тестов, часть которых студенты разрабатывали сами друг для друга в рамках ролевых игр. После окончания курса было произведено анонимное анкетирование студентов и магистрантов по оценке качества курса и самого преподавателя с помощью совместно разработанной в результате дискуссии анкеты.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЛАВА СИСТЕМЫ Zn-Al В КАЧЕСТВЕ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

Орда Д.В., Комаров А.И., Сосновский И.А., Курилёнок А.А.
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

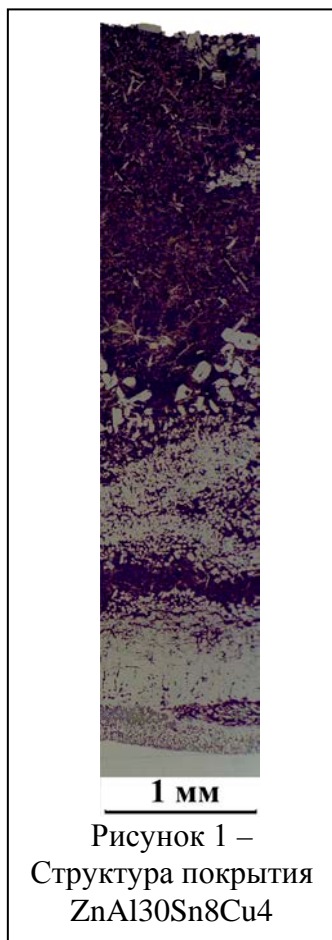


Рисунок 1 –
Структура покрытия
ZnAl30Sn8Cu4

Цинк является широко используемым цветным металлом, а возможности его применения в машиностроении обширны. В настоящее время около половины производимого цинка используется в качестве защитных покрытий, а также в качестве легирующих добавок. Цинк и его сплавы широко используются не только в качестве конструкционных материалов, но и для изготовления деталей триботехнического назначения [1-3]. Известна группа сплавов системы Zn-Al-Cu, обладающих антифрикционными свойствами при нагрузках до 25МПа и скоростях скольжения до 15 м/с.

В работе представлены результаты исследования структуры и свойств покрытий из сплава ZnAl30, сформированных на внутренней поверхности стальной втулки методом центробежного формования в условиях индукционного нагрева.

Анализ структуры покрытий показал, что в процессе наплавки сплавов Zn-Al на стальную втулку идет активное растворение внутренней поверхности, что приводит к насыщению расплава железом. Диффузия железа в расплав приводит к формированию интерметаллидных включений $Al_{13}Fe_4$, которые выступают в качестве основной армирующей составляющей [1, 2].

Локализация включений $Al_{13}Fe_4$ в цинковом подслое за диффузионным слоем обеспечивает высокий уровень адгезии покрытия с основой. В случае формирования цинкового подслоя, обедненного включениями $Al_{13}Fe_4$, в диффузионном слое образуются трещины. При этом легирование основного сплава не оказывает воздействия на процессы образования трещин [3].

Кристаллизация в условиях центробежного вращения приводит к формированию диффузионного цинкового слоя и градиентной структуры наплавленного слоя: более тяжелые включения железа и цинк оттесняются к границе со сталью, тогда как алюминий диффундирует в поверхностный слой покрытия и составляет до 60 масс. %.

Легирование сплава покрытия такими элементами как Si и Cu, приводит к образованию в структуре покрытия соответственно частиц Si и CuZn₅, наличие которых способствует стабилизации термофизических параметров сплава, вследствие чего при кристаллизации на границе раздела фаз покрытие-основа отсутствуют дефекты (трещины). Отмечено, что введение Cu и Sn способствует улучшению триботехнических свойств покрытий (рисунок 1). Так при нагрузках до 12 МПа коэффициент трения снижается в 1,6 раз, при этом наиболее стабильные значения показывает покрытие из сплава ZnAl30Cu3 (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Значения коэффициентов трения цинковых покрытий

Образец	Коэффициент трения			
	6 МПа	12 МПа	20 МПа	24 МПа
ZnAl30CuSi	0,025-0,028	0,043-0,044	0,044-0,060	0,044-0,060
ZnAl30Sn9	0,015-0,017	0,028-0,035	0,030-0,036	-
ZnAl30Cu3	0,015-0,017	0,030-0,032	0,027-0,028	-
ZnAl30Si3	0,039-0,045	0,043-0,044	0,037-0,042	-
ZnAl30Sn8Cu4	0,013-0,014	0,015-0,016	-	0,019-0,021
ZnAl30Sn8Si4	0,013-0,014	0,020-0,021	-	0,030-0,032
ZnAl30Si4Cu4	0,025-0,028	0,011-0,012	-	0,030-0,032

Двухкомпонентное легирование сплава ZnAl30CuSi приводит к изменению структуры покрытия, что обеспечивает качественное воздействие на триботехнические свойства материала. Из полученных результатов можно установить, что легирование сплава ZnAl30CuSi не только способствует снижению коэффициента трения, но и повышению нагрузочной способности материала, позволяя использовать данные покрытия в качестве альтернативы бронзовым [3].

1. Структура и свойства легированных покрытий из сплава ZnAl30, полученных методом центробежной индукционной наплавки / А.И. Комаров и [др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. научн.тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2022. – Вып. 11. – С. 299–305.
2. Структура и свойства покрытий ZnAl30Cu4, полученного методом центробежной индукционной наплавки / Комаров А.И. и [др.] // Инновационные технологии в машиностроении: сб. мат. междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 18–19 апр. 2023 г. / Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой; под. ред. В.К. Шелега; Н.Н. Попок. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2023. – С. 139–141.
3. Анализ структуры и триботехнических свойств легированных покрытий на основе сплава системы Zn-Al, полученных методом центробежной индукционной наплавки / Комаров А.И. и [др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. научн.тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. – 2023. – Вып. 12. – С. 340–345.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Павлюковец С.А., Вельченко А.А., Радкевич А.А.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современном мире автономные мобильные роботы (АМР) могут безопасно передвигаться в загроможденной обстановке, понимать естественную речь, распознавать реальные объекты, определять свое местонахождение, планировать путь, самостоятельно ориентироваться и вообще думать самостоятельно. При разработке АМР используются методологии и технологии интеллектуального, когнитивного и поведенческого контроля, а также попытки максимизировать гибкость производительности при минимальных входных данных и минимальной вычислительной мощности. Таким образом, АМР относятся к широкому классу интеллектуальных роботов, которые можно определить как «машину, способную извлекать информацию из окружающей среды» и использовать знания о своей работе для обеспечения безопасности осмысленным и целенаправленным образом.

Область навигации и управления АМР за прошедшие годы достигла высокой зрелости, как в теории, так и на практике, и на международной арене было опубликовано большое количество авторских книг. Кроме того, в литературе существует несколько специальных выпусков международных журналов и многочисленные современные статьи, в которых представлены обзоры автономной мобильной робототехники [1–4]. Краткое изложение обзоров по системам управления и навигации мобильных роботов приведено ниже:

- 1) кинематика и динамика мобильных роботов;
- 2) управление мобильным роботом (стандартное управление, линеаризованное управление с обратной связью по состоянию, инвариантное управление);
- 3) адаптивное и робастное управление мобильным роботом;
- 4) нечеткое и нейронное управление мобильным роботом;
- 5) управление мобильным роботом на основе машинного зрения;
- 6) планирование траектории и движения мобильного робота;
- 7) локализация и картографирование мобильных роботов.

Достижение автономного поведения мобильного робота, в современном мире, обеспечивается использованием методов интеллектуального управления (ИУ), которые начались с разработки общих архитектур интеллектуального управления (АИУ). Основными АИУ являются следующие:

- иерархический АИУ;
- мультиразрешительный/вложенный АИУ;

- эталонная модель АИУ;
- поведенческие АИУ, (АИУ включения и моторные схемы АИУ);
- задаваемый АИУ.

Большинство программных систем и интегрированных программно-аппаратных комплексов, разработанных для интеллектуального управления мобильными роботами, следуют одной из этих типовых архитектур.

Автономные мобильные роботы должны иметь возможность двигаться целенаправленно и без помощи человека в реальных условиях (т. е. в динамических средах). В настоящее время все еще существует разрыв между доступной методологией/технологией и требованиями рынка, которые нуждаются в полностью автономных роботах. Этот разрыв постоянно мотивирует исследователей и практиков в области мобильной робототехники разрабатывать новые методы и способы, которые преодолевают большие неопределенности, присущие окружающей среде реального мира, путем включения всех необходимых деталей и временных характеристик, а также сталкиваясь с неизвестными изменениями пространственных отношений между объектами или сенсорными неточностями. Результатом этих непрерывных усилий является большое количество опубликованных за прошедшие годы результатов, многие из которых внесли существенный вклад в разработку и создание АМР с более высоким уровнем автономии и возможностями социального взаимодействия.

1. Garrido, S., Moreno, L., Blanco, D., Jurewicz, P.: Path planning for mobile robot navigation using Voronoi diagram and fast marching. *Int. J. Robot. Autom.* 2(1), 42–64 (2011)
2. Olunloyo, V.O.S., Ayomoh, M.K.O.: Autonomous mobile robot navigation using hybrid virtual force field concept. *Eur. J. Sci. Res.* 31(2), 204–228 (2009)
3. Xie, W., Ma, J., Yang, M.: Research on classification of intelligent robotic architecture. *J. Comput.* 7(2), 450–457 (2012)
4. Kerry, M.: Simplifying Robot Software Design Layer by Layer. *National Instruments RTC Magazine*. <http://rtc magazine.com/articles/view/102283> (2013)

ПОЛУЧЕНИЕ АЛМАЗНОГО МАТЕРИАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Парницкий А.М., Сеньють В.Т.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Поиск новых научных подходов и технологических решений, позволяющих добиться снижения технологических параметров спекания и, следовательно, себестоимости алмазных поликристаллических сверхтвёрдых материалов (ПСТМ) и улучшения их эксплуатационных характеристик, является сегодня одной из актуальных задач в области синтеза новых алмазных материалов [1]. Для обоснованного выбора состава шихты и технологических режимов термобарического спекания ПСТМ, а также установления зависимости трещиностойкости K_{IC} от параметров термобарического спекания и фракционного состава материала в работе были использованы методы математического планирования эксперимента, традиционно применяемые для оптимизации разнообразных технологических процессов [2]. В качестве основных факторов, влияющих на качество алмазных ПСТМ, рассматривались давление P , ГПа, температура T , °С и концентрация добавки C , %, в качестве которой использовали УДА-порошок детонационного синтеза.

В качестве исходных материалов использовались модифицированный бором порошок УДА с размером частиц 4–10 нм, и микропорошок алмазов статического синтеза АСМ 14/10 модифицированный кремнием. Термобарическую обработку шихты выполняли в аппарате высокого давления «наковальня с лункой» в диапазоне давлений 5,5–7,5 ГПа при температуре от 1650 до 1950 °С.

Математическая модель уравнения отклика от независимых переменных с учетом эффектов их взаимодействий и ошибки эксперимента была представлена в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2$$

где y – параметр оптимизации; k – число факторов; i, l – номера факторов, $i \neq l$; x_i, x_l – варьируемые факторы; b_0, b_i, b_{il}, b_{ii} – коэффициенты регрессии, описывающие направление и степень влияния каждого из факторов на параметр оптимизации.

Для получения модели процесса в виде полинома второй степени реализован некомпозиционный план второго порядка. Использование некомпозиционных планов, предусматривающих всего три уровня варьирования факторов (+1, 0, –1), упрощает и удешевляет проведение эксперимента. На основе априорной информации были выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Затем составили матрицу

некомпозиционного плана второго порядка для трех факторов. В соответствии с условиями опытов проводили спекание модифицированных алмазных порошков и замеряли значения коэффициента трещиностойкости. По данным опытов, проведенных согласно матрице планирования, получена модель, характеризующая зависимость коэффициента трещиностойкости Y_{Klc} от исследуемых факторов процесса и представляет собой полином второй степени. С учетом перехода к натуральным значениям факторов уравнение регрессии примет вид:

$$Y_{Klc} = -103,7725 - 0,000044 \cdot T^2 - 0,76 \cdot P^2 - 0,0027 \cdot C^2 + 0,124025 \cdot T + 0,555 \cdot P + 0,085 \cdot C + 0,005 \cdot P \cdot T$$

На рисунке 1 представлены полученные с помощью уравнения графические зависимости коэффициента трещиностойкости от температуры и концентрации добавки УДА-порошка. При построении поверхности откликов (программа SigmaPlot 15) варьировались только два фактора.

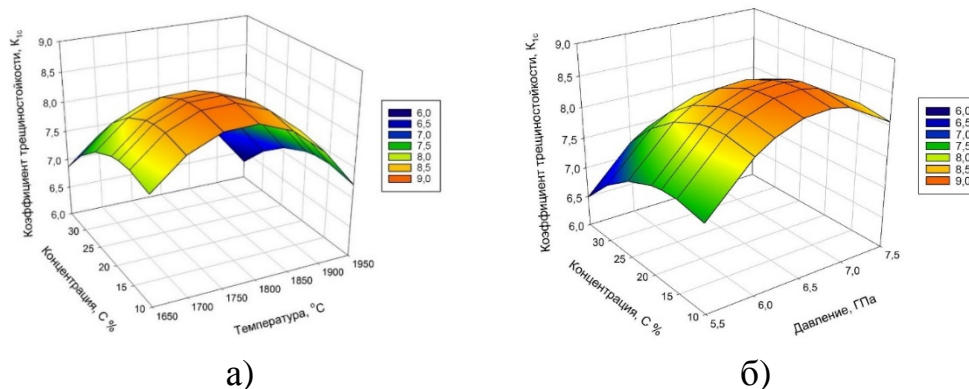


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента трещиностойкости Y_{Klc} от исследуемых факторов процесса: а) температура T и концентрация C ($P = 6,5$ ГПа); б) давление P и концентрация C ($T = 1800$ °С);

Было установлено, что максимальное значение коэффициента трещиностойкости $K_{lc} = 7,5-7,61$ МПа·м^{1/2} получается при следующих значениях температуры спекания $T = 1750-1800$ °С, давлении спекания $P = 6,5-7$ ГПа и концентрации модифицирующей добавки $C = 15-20$ %. Проведенная практическая проверка полученной модели показала ее адекватность в пределах выбранных интервалов варьирования технологических параметров.

1. Витязь, П.А. Синтез и применение сверхтвердых материалов / П.А. Витязь, В.Д. Грищук, В.Т. Сенють. Минск. Белорусская наука. 2005. – 359 с.
2. Спиридонов, А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. Москва: Машиностроение, 1981. – 184 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Покровский А.И.

Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

Введение. В настоящее время в среде обработчиков металлов давлением активно ведутся дискуссии о том, при какой скорости деформации наиболее эффективно протекание пластической деформации листовых металлов. Классической «медленной» (квазистатической) технологии прессования на гидравлических прессах противостоит импульсная (динамическая) технология с использованием скорости деформации в пределах от 10^3 с^{-1} до 10^4 с^{-1} . Ее примером является гидроударная штамповка, разработанная в ФТИ НАН Беларуси с использованием промежуточных сред в виде станочной эмульсии или полиуретана.

Цель работы - сравнительные исследования деформируемости при различных скоростях пластической деформации (медленной и быстрой) на примере одного и того же листового сплава, предельной деформируемости до разрушения при квазистатической и динамической деформации, повышение технологической пластичности, а также исследования особенностей эволюции микроструктуры в каждом из случаев.

Объект исследования – титановый сплав марки ТС4 (полный аналог сплавов ВТ6с и европейского Ti-6Al-4V) в виде листа, его поведение при штамповке в холодном состоянии.

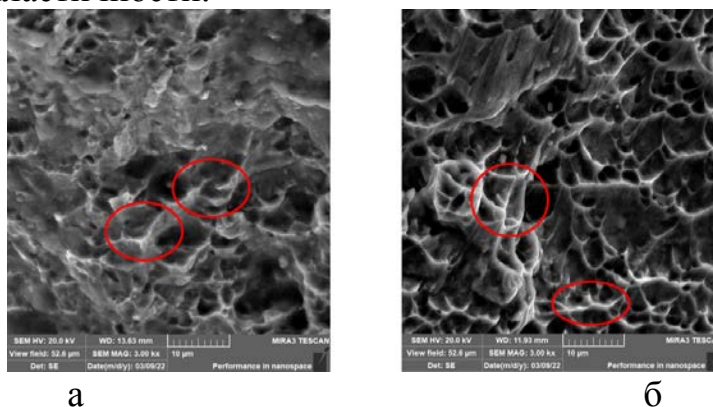
Результаты. Исследован фазовый состав и микроструктура, изучена технологическая пластичность сплава при квазистатической и динамической деформации (гидроударная штамповка) и определены предельные условия деформации до разрушения.

Установлено, что предельная деформируемость сплава Ti-6Al-4V при гидроударном нагружении, определенная как максимальная высота формовки, увеличивается в 1,875 раза по сравнению с квазистатической (медленной) деформацией.

Показано, что при высокоскоростном нагружении из-за более однородной деформации исчезает текстура, присутствующая в исходном листовом материале.

Определен механизм разрушения титанового сплава: при квазистатической деформации имеет место вязкое транскристаллитное разрушение с отдельными участками вязкого межкристаллитного излома, а при динамической деформации наблюдается только вязкий

транскристаллитный излом, что свидетельствует о повышении технологической пластичности.



а – квазистатический режим, б – динамический режим
Рис. 1 - Поверхности излома (СЭМ) титанового сплава при разных режимах деформации, x3000

Показано, что при динамической деформации со скоростью $\approx 3800 \text{ c}^{-1}$ наряду с дислокационным механизмом имеет место двойникование.

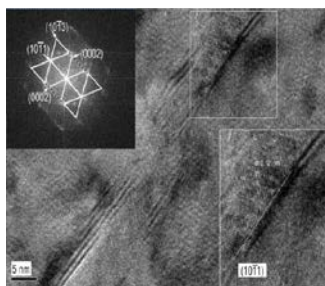


Рис. 2. - Микродвойниковая структура сплава Ti-6Al-4V после динамической деформации (просвечивающая электронная микроскопия)

Определен механизм пластической деформации титанового сплава при высоких скоростях деформации ($\approx 3800 \text{ c}^{-1}$). Он заключается в том, что наряду со скольжением дислокаций развивается двойникование, и происходит деформация как зерен α -фазы, так и зерен β -фазы, в то время как в квазистатическом режиме в основном деформируется только α -фаза.

Впервые определены возможные причины повышения технологической деформируемости (в 1,8 раза) сплава при динамическом нагружении в процессе гидроударной штамповки: 1) изменение механизма деформации и 2) повышение ее однородности, проявляющееся в устранении текстуры.

Область применения. Результаты работы могут быть использованы в авиационной промышленности и ракетостроении при изготовлении деталей обшивки, крепления, силового набора, шасси, а также деталей авиационных реактивных двигателей.

Исследования выполнены в рамках договора с БРФФИ № T22КИ-017 от 05.11.2021 г.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ УДАЛЁННОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Прохорович С.С.¹, Матрунчик Ю.Н.¹,
Лучинович Ф.А.², Малаев А.А.²**

1) Белорусский национальный технический университет

2) УО «Национальный детский технопарк»

г. Минск Республика Беларусь.

Актуальность создания устройства, помогающего человеку в выполнении несложных рутинных (часто повторяющихся) операций, в современную эпоху не вызывает сомнений.

Роботы - помощники уже перешли из статуса лабораторных разработок в бытовые устройства. Так, например, существует большое количество моделей роботов-пылесосов, по себестоимости они практически не отличаются от других бытовых автоматизированных помощников, таких как стиральная машина, микроволновая печь или холодильник.

По аналогии с роботами-пылесосами, роботами мойщиками окон или роботами для чистки бассейна инженерами по робототехнике создаются подобные устройства для ухода не за домом, а за садовым участком или растениями в огородах.

В настоящее время на рынке уже есть множество серийных моделей роботов-садовников и отдельные роботы для удаления сорняков с газона, но каждый из них выполняет лишь одну профильную задачу, поэтому для автоматизации основных работ по уходу за садом необходимо сразу несколько устройств.

Цель проекта: роботизация функций посадки и ухода за растениями в мини-садах и тепличных хозяйствах в условиях ограниченного пространства.

Задача проекта: разработка роботизированной мобильной системы, обеспечивающей выполнение земледельческих и агротехнических операций, таких как посадка и полив растений, внесение гранулированных удобрений, мониторинг параметров окружающей среды и др.

Роботизированная мобильная агротехническая система включает в себя главный модуль для анализа параметров окружающей среды, мобильную роботизированную платформу и подсистему дистанционного управления и контроля.

Маршрут движения мобильного робота зависит от исходных размеров обрабатываемой площадки с растениями и может быть задан программно во время настройки системы под конкретные условия пользователя.

Робот оснащен буром для создания отверстий в земле возле растения для внесения семян в почву. Также на платформе мобильного робота находятся ёмкости с водой и удобрениями, благодаря которым робот

может поливать и удобрять растения в автоматическом режиме или с помощью дистанционного управления пользователем.

Система не автоматическая, а автоматизированная - управленческая функция возложена на пользователя, поскольку чаще всего недостаточно только информации с датчиков для принятия решения.

Главный модуль включает в себя устройства оценки параметров окружающей среды, а именно температуры и влажности воздуха в теплице, уровня освещенности, влажности почвы.

Данные параметры в режиме реального времени передаются пользователю в мобильное приложение на смартфоне для контроля и принятия решения по их изменению и поддержания комфортных условий для развития растений.

В качестве датчика освещенности будет использоваться фоторезистор GL (5mm), для определения температуры и влажности окружающего воздуха используется датчик DHT11, для определения степени влажности почвы применяется датчик влажности.

Мобильный робот с платформой для агротехнических работ оснащен устройством внесения семян в грунт и бурения лунок. В качестве привода используется электродвигатель постоянного тока напряжением +12В.

Моторы колес мобильного робота подключаются к плате управления посредством драйвера. Драйвер L298N используется для многофункционального управления двигателями постоянного тока. Схема модуля, состоящая из двух H-мостов, позволяет подключать к нему один биполярный шаговый двигатель или одновременно два щёточных двигателя постоянного тока. При этом есть возможность изменять скорость и направление вращения моторов. Управление осуществляется путём подачи соответствующих сигналов на командные входы, выполненные в виде штыревых контактов. Для беспрепятственного перемещения в пределах заданного участка используется датчик расстояния, а именно ультразвуковой дальномер HC-SR04. Открывание люков в отсеках с водой и удобрением обеспечивается за счет работы сервопривода.

В качестве устройства управления был выбран микроконтроллер ATmega328P на платформах Arduino Uno – для главного модуля и Arduino Nano – для мобильного робота с буром и емкостями для полива и внесения удобрений.

1. Охоцимский Д. Е., Мартыненко Ю. Г. Новые задачи динамики и управления движением мобильных колёсных роботов // Успехи механики. — 2013. — Т. 2, № 1. — С. 347.
2. Брага Н. Создание роботов в домашних условиях. — М.: НТ Пресс, 2010. — 368 с.

ПОВЕДЕНИЕ МОБИЛЬНОГО РОБОТА СО ВСЕНАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЁСАМИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ТРАЕКТОРИИ

Радкевич А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Движение мобильного робота, оснащённого всенаправленными колёсами типа *mecanum* или *omni* характеризуется высокой маневренностью и оптимальностью при планировании траектории, но при этом отличается сложностью в управлении и проблемами с устойчивостью и управляемостью. Являясь голономными объектами, всенаправленные мобильные роботы зачастую движутся по нелинейным траекториям, не изменяя при этом положения корпуса, что достигается за счёт дифференциального управления роликонесущими колёсами.

Поскольку роботы со всенаправленными колёсами склонны к потере устойчивости и отклонению от заданного пути, значимым вопросом является анализ устойчивости и поведения таких объектов при движении по траекториям с большим радиусом кривизны, что является актуальной задачей для исследования.

С целью изучения влияния устойчивости мобильного робота при движении по криволинейной траектории было проведено моделирование движения робота с четырьмя колёсами типа *mecanum* по окружности радиусом $r = 2$ м в программном пакете MATLAB. Математическое описание робота было составлено на основании его кинематической модели, изложенной в статье [1]. Для моделирования были заданы геометрические параметры робота: радиус колеса $R_K = 0,06$ м, расстояние между колёсами, находящимися в одной плоскости вращения $a = 0,15$ м, расстояние от центра масс робота до каждого из колёс $l = 0,24$ м. Движение происходило в плоскости координат (X, Y) с начальной координатой в точке $(0; 0)$. Заданная траектория описывается уравнениями

$$\begin{aligned}x_d &= 2 \cdot \cos(t); \\y_d &= \cos(t) - 2 \cdot \sin(t),\end{aligned}$$

где x_d, y_d – текущие значения осей координатной плоскости, в которой совершается движение.

Результаты моделирования отображены на рис. 1–4.

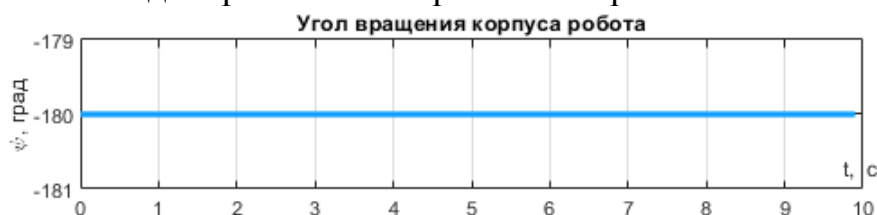


Рис. 1. График зависимости угла вращения корпуса робота от времени

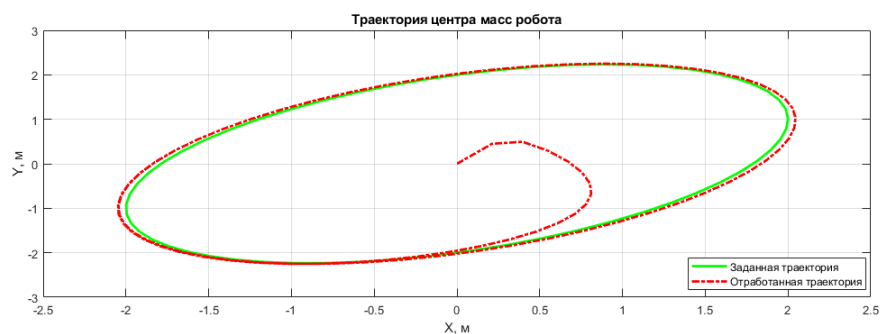


Рис. 2. График траектории центра масс робота

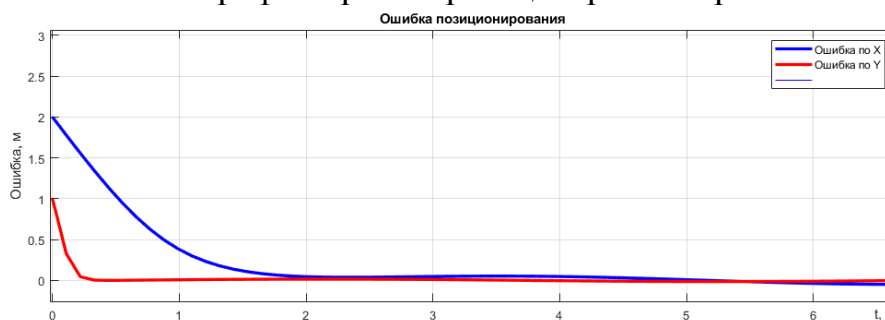
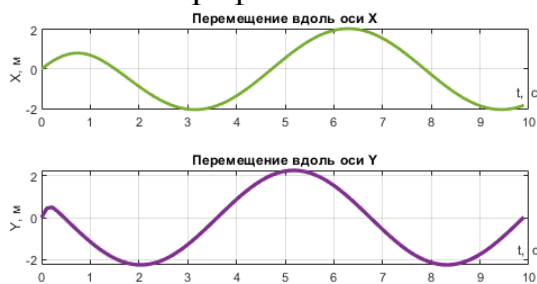
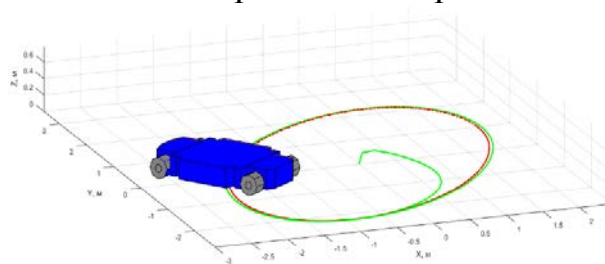


Рис. 3. График зависимости ошибки позиционирования от времени



а)



б)

Рис. 4. а) Графики зависимости перемещения вдоль осей X и Y от времени;
б) Трёхмерная модель движения робота по заданной траектории

Анализ графиков показал, что существенное рассогласование между заданной и отработанной траекториями движения наблюдается только в течение первых 1,5 с, когда робот начинает описывать окружность, находясь в центре координатной плоскости (рис. 3). Несущественное отклонение от намеченной траектории присутствует на всём интервале движения (рис. 2), однако это связано также и с геометрическими параметрами робота. При этом положение корпуса робота на всём протяжении моделирования оставалось стабильным (рис. 1), что свидетельствует о том, что колёса типа *mesanite* обеспечили всенаправленность движения и высокую устойчивость объекта при движении по нелинейной траектории.

1. К вопросу управления мобильным роботом с колёсами всенаправленного типа / С. А. Павлюковец [и др.] // BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник научных статей IX Международной научно-практической конференции, Минск, 17–18 мая 2023 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2023. – С. 94-102.

ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МОБИЛЬНОГО КОЛЁСНОГО РОБОТА

Радкевич А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

В процессе движения колёсных роботов зачастую имеет место проблема отклонения их от заданной траектории. Это может быть вызвано различными причинами, в числе которых неровности поверхности, вибрации от электрооборудования, аэродинамические факторы, особенности конструкции колёс или подвески и т.п. При исследовании колебаний мобильных машин рассматриваются случайные процессы с типовыми корреляционными функциями или их аппроксимациями [1], [2].

Воздействие на колёсный робот неровностей поверхности в общем случае может анализироваться как нерегулярное возмущение [1]. Поскольку сами роботы имеют присущую каждому из них частоту колебаний, то они генерируют частоты возмущений, близкие к их собственной частоте колебаний. В результате получается движение, представляющее собой колебательный процесс со случайной амплитудой и случайным периодом.

Для практических расчетов путем имитационного моделирования колебательных процессов, происходящих при движении мобильных платформ (роботов) используют различные виды аппроксимаций корреляционных функций. Например, в статье [2] приведена формула

$$R_x(\tau) = A_1\sigma_1^2 e^{-\alpha_1|\tau|} + A_2\sigma_2^2 e^{-\alpha_2|\tau|} \cos \beta\tau,$$

где α_1 – значение α , относящееся к корреляционной функции $r_1(\tau)$; α_2 – значение α , относящееся к корреляционной функции $r_2(\tau)$; $A_1 + A_2 = 1$.

Для исследования поставленной задачи – анализа влияния случайных процессов на характеристики электропривода мобильного робота было проведено компьютерное моделирование случайных возмущающих воздействий на электропривод мотор-колеса робота в среде динамического моделирования SimInTech.

В основе модели была использована схема векторного управления асинхронным электроприводом. Задающее воздействие является ступенчатым заданием момента, которое отражает основные этапы движения робота и осуществлено блоком «Кусочно непрерывная». Учёт колебаний поверхности представлен гауссовским нормальным шумом, который представлен блоком «Нормальный шум» и подаётся в качестве сигнала обратной связи в цепь задающего воздействия. Фильтрация шума осуществлена блоком апериодического звена с параметрами настройки: коэффициент усиления = 0,1; постоянная времени = 0,01 с.

График зависимости входного белого шума от времени и результат его сглаживания фильтром показан на рис. 1, а), б). Влияние случайных процессов на результаты моделирования электропривода при наличии шума и с учётом его фильтрации отображено на динамических характеристиках – зависимостях динамического момента от времени $M_{дин} = f(t)$ (рис. 2, а), б)) и угловой скорости ротора от времени $\omega = f(t)$ (рис. 3, а), б)).

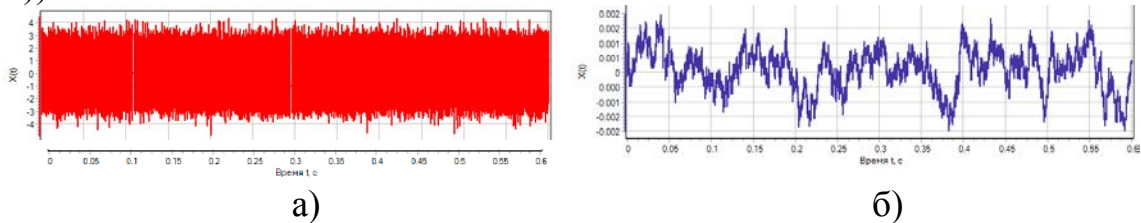


Рис. 1. Графики зависимости: а) равномерного шума от времени; б) отфильтрованного белого шума от времени

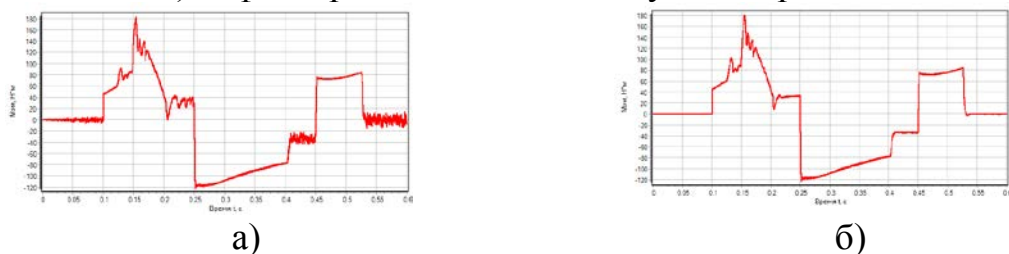


Рис. 2. Графики зависимости $M_{дин} = f(t)$: а) с учётом случайных процессов; б) после фильтрации шумов

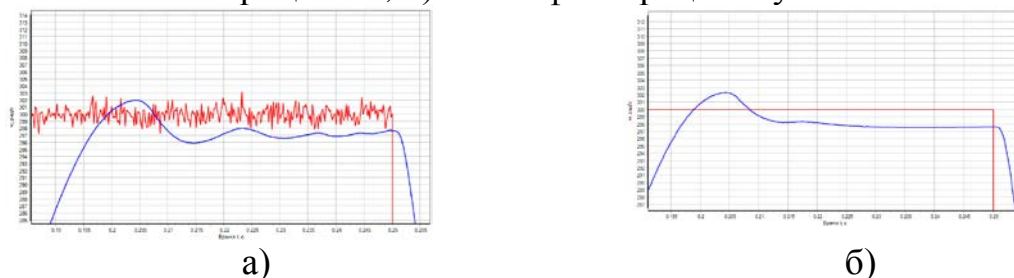


Рис. 3. Графики зависимости $\omega = f(t)$: а) с учётом случайных процессов; б) после фильтрации шумов

Проведя сравнительный анализ динамических характеристик электропривода при возмущающем воздействии шумов и с учётом установленного на входе фильтра, можно заметить существенное уменьшение колебательности системы, что свидетельствует о повышении устойчивости и качества характеристик при использовании фильтра.

1. Лобатый, А. А. Приближенная математическая модель оценки влияния вибраций на навесные элементы видеосистемы мобильного робота = An approximate mathematical model for estimating the influence of vibrations on attached elements of a mobile robot video system / А. А. Лобатый, М. М. Татур, А. К. Ибрагим // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 2. – С. 20-26.
2. Лобатый А. А.. Вероятностный анализ срыва автосопровождения видеосистемой мобильного робота. / А. А. Лобатый М. М. Татур, А. К. Ибрагим // Доклады БГУИР. – 2022. – № 20 (5). – С. 5-14.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ПО ПРЕДМЕТУ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Романенко П.А., Прохорович С.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Зачастую, у образовательных учреждений нет возможности закупить производственное оборудование для обучения специалистов. Это связано как с рисками по охране труда, так как у студентов нет опыта работы с ними, так и в связи с дороговизной подобного оборудования. В данном случае неоспорима необходимость использования информационных технологий в образовательном процессе.

В соответствии с основными направлениями социально-экономического развития страны определены приоритеты использования информационных технологий (ИТ). Для системы образования эти приоритеты включают в себя: повышение эффективности системы планирования объемов и структуры подготовки специалистов, качества образования, деятельности бюджетных организаций, обеспечение доступности образовательных услуг. [1]

Одним из способов повышения качества и эффективности обучения может быть введение в процесс подготовки специалистов образовательных программ-симуляторов. Эти программы позволяют искусственно смоделировать, воссоздать ту жизненную и профессиональную реальность, в которой в дальнейшем предстоит действовать работнику. [2]

Цель работы заключается в повышении качества и скорости обучения специалистов. Реализация цели заключается в разработке приложения, позволяющего научить студентов основам написания и чтения G-кода, используемого станками с ЧПУ.

Данная программа осуществлена с помощью игрового движка Unity и имеет ряд положительных сторон: возможность визуализации процессов, доступность и возможность работы не только на пользовательских компьютерах, но и используя мобильные устройства – смартфоны.

Приложение состоит из двух основных частей: пользовательский интерфейс и программная составляющая. Редактор кода, поле выбора документа, смена режима отображения, выбор резца, визуализация станка с ЧПУ- основные инструменты, доступ к которым предоставляется через интерфейс, в то время, пока программная составляющая работает с вводными данными, производя различные вычисления.

Алгоритм работы симулятора следующий: для начала, пользователь выбирает режим взаимодействия с кодом. Это может быть либо встроенный редактор, либо готовый текстовый документ, содержание которого также можно изменять в редакторе. Далее пишется сам код или

обрабатывается выбранный документ в зависимости от предыдущего условия соответственно. Код читается отдельным исполнительным блоком, где весь текст разбивается на строки, а после на символы для дальнейшего использования, заодно проверяя его на ошибки. В зависимости от буквы выбирается функция, с помощью цифр задаются ее параметры.

Помимо этого, интерфейс позволяет задавать влияющие факторы: материал, размеры инструмента, размеры рабочей зоны и др. Они в свою очередь также обрабатываются и вместе с информацией из блока чтения кода вводятся в самостоятельный компилятор, который производит необходимые для визуализации вычисления. После этого приложение запускает процесс обработки и выводит его на экран.

Упрощенная блок-схема работы программы представлена на рисунке 1.

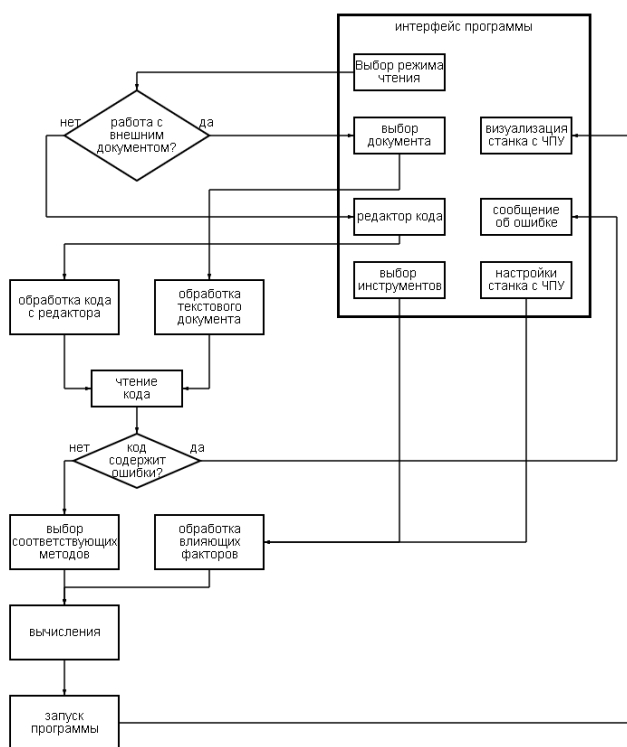


Рис. 1 Блок-схема работы программы

Вывод: используя игровой движок с готовой физико-математической моделью, было реализовано приложение, позволяющее повысить эффективность обучения студентов и производственного персонала за счет мобильности и дешевизны подобного введения, а также возможности визуализации необходимых для обучения процессов.

1. Минин, Анатолий Яковлевич. Информационные технологии в образовании: учебное пособие / А.Я. Минин. – Москва: МГПУ, 2016.
2. Дудырев, Федор, и Ольга Максименкова. 2020. «Симуляторы и тренажеры в профессиональном образовании: педагогические и технологические аспекты». Вопросы образования / Educational Studies Moscow, вып. 3 (сентябрь)

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОПУСКНОЙ СИСТЕМЫ С ПОМОЩЬЮ БИОМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Седюк А.С., Журавлёва Е.Р.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Для обеспечения безопасности от несанкционированного доступа предприятия используют контрольно-пропускные пункты (КПП). Они предполагают установку проходных коридоров, которые оборудуются техническими средствами охраны и физическими барьерами. Подобные средства недавно были установлены в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ). Входные калитки на территорию БНТУ оборудовали электронной турникет-системой контроля. Проходная система представлена турникетом со встроенным контроллером и бесконтактными считывателями. Эти электронные проходные простые и недорогостоящие, и, как правило, поставляются в виде, практически готовом к началу работы.

В работе пропускной системы БНТУ отмечены следующие недостатки:

-проходной режим обычно контролирует работник службы безопасности БНТУ, находясь при этом на улице в некомфортных условиях;

-в отсутствие работника службы безопасности существует возможность проникнуть на территорию, преодолев препятствие из заградительных сооружений, которые не превышают 1м;

-пластиковые карты, служащие идентификатором личности, могут передаваться другим лицам, использоваться для повторного открытия турникета, могут быть утеряны или по какой-либо причине отсутствовать в наличии (человеческий фактор).

Первые два недостатка устранимы физически, установкой соответствующих заграждающих сооружений. Устранить последний недостаток помогают системы биометрической идентификации.

Биометрическая идентификация – это процесс сравнения и определения сходства между данными человека и его биометрическим «шаблоном». Биометрия позволяет идентифицировать и провести верификацию человека на основе набора уникальных черт, присущих ему от рождения. Этот метод считается одним из самых надёжных, так как несанкционированно воспользоваться такими данными достаточно сложно.

Для реализации такой системы можно использовать среду разработки IDE PyCharm на языке программирования Python.

Процесс идентификации выполняется поэтапно. На первом этапе нужно произвести поиск лиц. Для этого используется метод, изобретенный в 2005

году - Гистограмма направленных градиентов. Он базируется на утверждении о том, что внешний вид и форма объекта могут быть описаны распределением градиентов интенсивности. В нашем случае полученное изображение сравнивается с рисунком лица полученном на большом количестве фотографий (рис. 1, а).



-0.16597123	0.11949642	0.10122138	-0.12254387	-0.11838274	-0.02759848
0.01384261	-0.07288168	0.06527785	-0.13963827	0.17559825	-0.08519795
-0.25020986	-0.0102928	-0.01079375	0.21948609	-0.21553843	-0.19072869
-0.13214052	-0.10856642	0.01477439	0.07988501	-0.05431245	-0.11583221
-0.1715932	-0.23868942	-0.10927209	-0.01475592	0.01510147	-0.08837818
-0.00252565	0.03029939	-0.17696191	0.00717495	0.04937807	0.12862331
-0.01091681	-0.09640869	0.19340807	0.01389313	-0.23863317	0.01766105
0.15954995	0.26412117	0.21739453	-0.00336392	-0.03702538	-0.05395607
0.10163558	-0.28075284	0.05129996	0.20316276	0.02808321	0.16820049
-0.02042791	-0.12237336	-0.00515839	0.22944236	-0.21929839	0.03012473
0.10334508	-0.19385433	0.010464	-0.1046315	0.159848	0.14616895
-0.19181257	-0.22495562	0.19514428	-0.23470432	-0.11755507	0.07461189
-0.0039375	-0.09592333	-0.35081255	0.03915626	0.32692659	0.20959754
-0.10889891	-0.01162777	-0.09144997	-0.02747694	0.00839157	0.15324235
-0.02081387	-0.0425766	-0.06370837	-0.0559925	0.19876704	0.04837478
0.00898859	0.25267416	0.04914283	0.0009048	0.00353496	0.14037418
-0.15166449	-0.07782	-0.10442869	0.03083458	-0.10455432	-0.05006842
0.01399595	0.10746354	-0.10759938	0.24044091	-0.03882578	-0.01190661
-0.12068785	0.03638472	-0.02094681	-0.02857181	0.10984001	-0.22919109
0.14735889	0.20415244	-0.00772358	0.09734803	0.10852756	0.12523061
-0.03349054	-0.00732443	-0.17586364	-0.09488015	0.04729999	-0.0654182
0.10575557	0.07663471				

Рисунок 1 – Пример гистограммы направленных градиентов, полученной на большом количестве фотографий (а), выбор базовых ориентиров (б), пример кодировки лица (в).

На втором этапе производится позиционирование и проецирование лиц. Данный этап осуществляется для того, чтобы можно было распознавать лица, повернутые в сторону. Для этого может быть использован алгоритм оценки ориентиров лица. Среди множества методов был выбран подход, изобретенный Вахидом Каземи и Жозефиной Салливан в 2014 году. Основная идея данного подхода состоит в выделении 68 точек (ориентиров), которые есть на каждом лице (рис. 1, б). Далее производятся базовые преобразования изображения (вращение и масштабирование) так, чтобы глаза и рот были как можно лучше отцентрированы.

На третьем этапе производится кодирование лиц с использованием подхода, разработанного инженерами Google в 2015 году. В этом методе используется нейронная сеть, обученная записывать 128 измерений для каждого лица (рис. 1, в).

Четвертый этап – получение имени, т.е. полученная кодировка лица сравнивается с кодировками, записанными в базе данных.

Система, построенная на использовании вышеописанных методов и алгоритмов, обеспечит преимущества данного приложения перед другими подобными системами.

Автоматизация пропускной системы с помощью биометрической идентификации позволит исключить возможность проникновения на территорию объекта посторонних, использующих чужую карту, а также позволит вести учет посещений в реальном времени. Также внедрение предложенной системы может сократить расходы на вспомогательный персонал. При необходимости система позволит определять местонахождение персонала на объекте (при условии подключения к системе камер наблюдения, установленных на предприятии).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сидорик В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Явление электромагнитной индукции — одно из физических явлений, нашедших широчайшее применение в технике. Это явление широко изучается в различных дисциплинах технических вузов. Область применения включает электродвигатели, генераторы электрического тока, трансформаторы, преобразователи энергии.

Ограниченные возможности учебного процесса предполагают изучение простейшей модели – вращение прямоугольной рамки в постоянном однородном магнитном поле. Тем не менее, вызывает интерес рассмотрение решения и с учетом влияния неоднородности поля на характер ЭДС, индуцируемой в рамке. Важен также и анализ влияния частоты изменения магнитного поля на ЭДС.

В настоящей работе рассматривается процесс вращения проводящей прямоугольной рамки (ротора) в магнитном поле, создаваемом током также прямоугольной формы. Такая форма тока выбрана для того, чтобы получить возможность точного аналитического расчета магнитного поля тока в любой точке пространства. При этом нет ограничений на размеры ротора и размеры рамки с током — источником магнитного поля, а также на их взаимное расположение не накладывается.

Постановка задачи с точки зрения физической модели следующая. Вращающаяся рамка (ротор) имеет вид прямоугольника из проводника размером $a \times b$ с малым сечением. Магнитное поле образовано линейными токами, протекающими по рамке прямоугольной формы также с малым сечением. Число таких прямоугольных токов (рамок-источников) может изменяться от одного до четырех.

Варьируемые параметры: размеры рамок с током, размеры вращающейся рамки-ротора, количество рамок с током, координаты центров рамок, угловая скорость вращения ротора, циклическая частота изменения тока в рамках-источниках.

В работе рассматриваются различные модели системы.

Модель 1. Магнитное поле создается одной рамкой — источником тока.

Модель 2. Магнитное поле создается двумя параллельными рамками-источниками.

Модель 3. Магнитное поле создается двумя перпендикулярными рамками-источниками. Эта модель отличается от модели 2 только тем, что плоскость второй рамки (рамки 3) всегда параллельна плоскости уз (рис.1.).

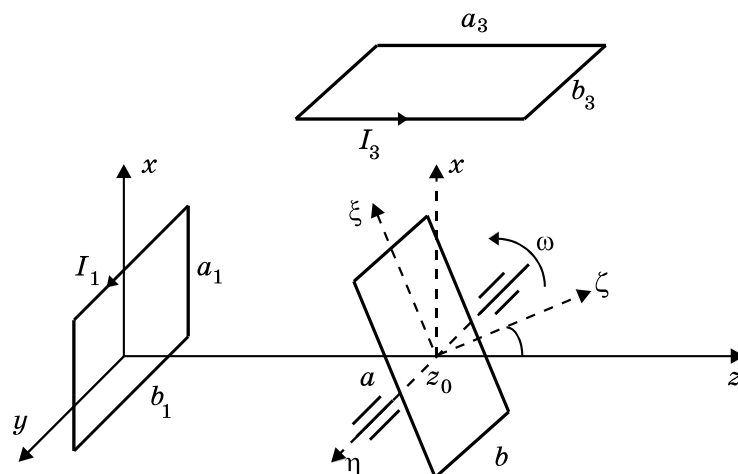


Рисунок 1. Магнитное поле создается двумя перпендикулярными рамками источниками

Модель 4. Магнитное поле создается двумя парами рамок источников. В этой модели положение центров рамок-источников и их размеры варьируются и могут быть любыми.

Общий расчет магнитного поля в произвольной точке достаточно сложен. Покажем это на примере модели 1. Пример геометрических построений иллюстрируется на рис. 2 (рис. 2).

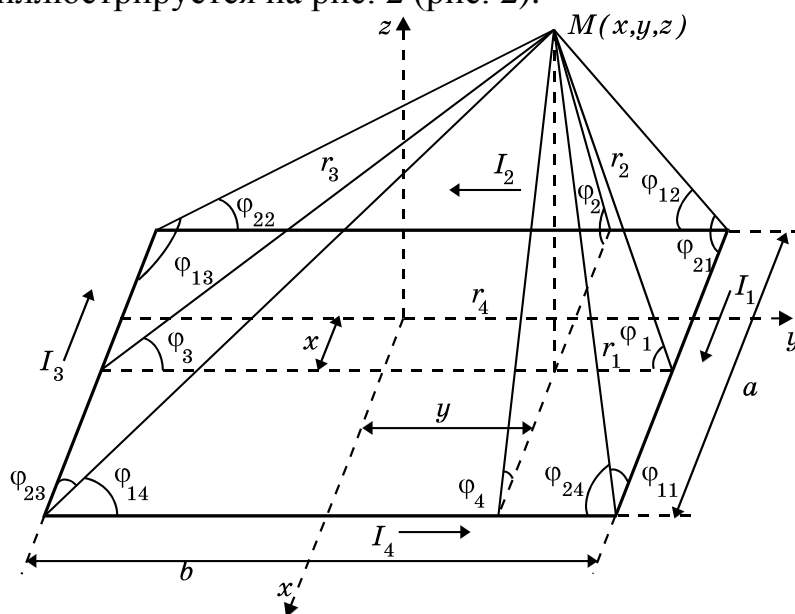


Рисунок 2. Расчет магнитного поля в произвольной точке М

Указанные построения позволяют вычислить магнитное поле и поток вектора магнитной индукции через ротор, вычислить ЭДС электромагнитной индукции в роторе, провести анализ Фурье величин $\Phi(t)$ и $E(t)$ и сравнить число и амплитуды гармоник с пространственной неоднородностью магнитного поля в плоскости ротора.

1. Сидорик В.В., Джилавдари И.З. Физика в компьютерных моделях: Учебно-методическое пособие. – Минск : ПИОН, 1998, с. 250

УДК 53: 681.3.06 (075.8)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ПРОВОДНИКОВ С ТОКОМ

Сидорик В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В связи с нарастающей сложностью задач, стоящими перед будущими специалистами в любой профессиональной сфере современного общества актуальным является акцент в учреждениях образования на включение во все формы обучения рассмотрение и решение реальных проблем, имеющих отношение к реальным запросам общества.

Рассмотрение таких практически полезных проблем обуславливает внедрение информационных технологий для всех форм обучения: лекции, лабораторные работы, практические занятия, курсовое и дипломное проектирование, самостоятельную подготовку. Это связано с несколькими причинами. Во-первых, реальные задачи являются сложными. Во-вторых, реальные задачи требуют сложного математического аппарата для их решения, как правило не изученного еще на младших курсах. В-третьих, ограничены ресурсы времени двухчасовой парой учебных часов. Не следует также забывать о формировании интереса студентов к учебной дисциплине.

В данной работе иллюстрируется решение сложной задачи расчета и моделирования магнитных полей источников тока различных конфигураций. Такие задачи возникают в случаях:

- конструирование ускорителей, МГД-генераторов, электромагнитных пушек, масс-спектрометров, плазменных и ионных двигателей, магнитных насосов и вентилях, фокусировка пучка зарядов (магнитные линзы);
- расчет индуктивности соленоидов, взаимной индуктивности связанных катушек, обмоток трансформаторов;
- проектирование реле, головок печатающих устройств;
- расчет магнитных экранов для защиты приборов от влияния сторонних магнитных полей;
- расчет генераторов и электродвигателей;
- магнитная запись и считывание информации;
- магнитная дефектоскопия при контроле наличия в изделиях скрытых трещин, раковин и других дефектов;
- защита кораблей и подводных лодок от магнитных мин, реагирующих на локальное изменение магнитного поля.

Расчет магнитного поля невозможно провести аналитически, если конфигурация токов-источников не обладает высокой симметрией.

В работе рассматривается математическое моделирование магнитного поля, создаваемого различными конфигурациями токов. Для расчета математической модели за основу взят закон Био-Савара-Лапласа.

Согласно этому закону, индукция магнитного поля, создаваемая элементарным током величиной I в бесконечно малом элементе проводника $d\vec{l}$ в произвольной точке P пространства,

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

Величина вектора $d\vec{B}$ равна

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \theta}{r^2}$$

Угол θ определен между направлением $d\vec{l}$ и \vec{r} (рис. 1).

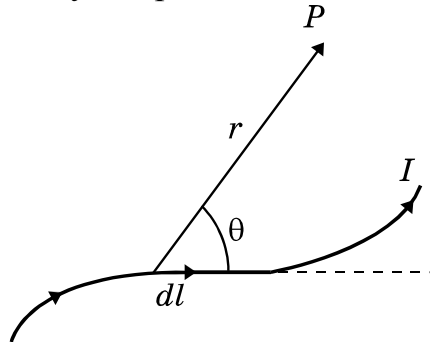


Рис. 1.

Индукция магнитного поля, создаваемая всем проводником, определяется интегрированием по всей длине проводника

$$\vec{B} = \int_L d\vec{B}$$

Такой подход в случае кольцевой геометрии проводника с током дает следующие выражения для расчета компонент магнитного поля, например,

$$dB_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl_y(z - z_j) - dl_z(y - y_j)}{|\vec{r} - \vec{r}_j|^3}$$

Величина результирующего поля определяется суммированием вклада каждой из компонент

$$B_x = \sum_{j=1}^n dB_{jx}, \quad B_y = \sum_{j=1}^n dB_{jy}, \quad B_z = \sum_{j=1}^n dB_{jz}, \quad B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}$$

Математическое моделирование позволяет в рамках учебной дисциплины решить целый комплекс прикладных задач расчета магнитных полей, создаваемых различными геометрическими конфигурациями электрического тока.

1. Сидорик В.В., Джилавдари И.З. Физика в компьютерных моделях: Учебно-методическое пособие. – Минск : ПИОН, 1998, с. 250

МОДЕРНИЗАЦИЯ АСУТП ВОДОСНАБЖЕНИЯ Г. МИНСКАСиницын А.В.¹, Гоцкая Н.А.¹, Лившиц Ю.Е.², Рухневич Е.М.³

1) ОДО «НПП ТЕХНИКОН»

2) Белорусский национальный технический университет

3) УП «Минскводоканал»

г. Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день система водоснабжения г. Минска – это совокупность разнообразных инженерных сооружений для забора воды из источников водоснабжения, а также очистки, хранения и подачи к потребителям. Главной задачей масштабного производства хозяйственно-питьевого водопровода является обеспечение бесперебойным и качественным водоснабжением жителей города, независимо от их удаленности от точек подачи и распределения воды. При этом водные ресурсы должны использоваться максимально эффективно и рационально, ведь городское водопотребление носит переменный характер.

Для улучшения качества водоснабжения за 2018-2023 гг. выполнена модернизация более 60-ти локальных повысительных насосных станций (ЛПНС) и 13 районных (РПНС) станций в несколько этапов: заменены насосные агрегаты, обновлены трубопроводы и запорная арматура, оснащены новыми шкафами автоматики и подключены к интеллектуальному программно-аппаратному комплексу (ПАК) «Акватория».

Результаты модернизации только на РПНС показали существенную годовую экономию электроэнергии в 681 тыс. кВт*ч/год, что составляет 24% от годового энергопотребления за 2020 год.

Акватория – модульный (ПАК), совмещающий в себе функционал SCADA-системы и аналитический функционал, базирующийся на технологиях искусственного интеллекта и «мягких вычислений». Главным преимуществом системы является ее адаптивность и самообучаемость. Адаптивный алгоритм позволяет управлять насосными агрегатами так, чтобы это не приводило к просадкам выходного давления, обеспечивало наиболее эффективную работу насосов, снижало износ оборудования [1].

Внедрение ПАК уже позволило сократить необходимость в физическом обслуживании, снизить влияние человеческого фактора, а также снизить аварийность на сетях. Так за период 2020-2023гг. выявлен и устранен ряд аномалий на трубопроводах (см. табл. 1).

Таблица 1 – Статистика обнаружения аномалий за период 2020-2023гг.

Тип аномалий	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	ИТОГО
Порывы	7	4	12	11	34
Утечки	8	13	39	38	98

Масштабной и амбициозной задачей, стоящей перед водоканалом на 2024-2025г, является перевод столицы на артезианское водоснабжение, постепенно уходя от добычи воды из поверхностных источников.

Ежесуточно г. Минск потребляет 450-460 тыс. м³ воды, 120 тыс. м³ из которых поступает из поверхностных источников. По итогу реализации проекта они будут исключены из системы водоснабжения – их заместит модернизированная группа водозаборов с насосной станцией (проектная мощность 200 тыс. м³).

Для этого необходимо проложить свыше 90 километров труб и пробурить порядка 90 скважин, максимальная глубина которых составит до 350 метров. Проект подобного масштаба является сложнейшим не только с точки зрения строительных работ, но и по организации взаимосвязанного управления группой водозаборов, работающих на общую городскую сеть. Для решения подобной задачи будет использоваться ряд передовых технологий: Big Data, цифровые двойники.

Анализ данных по давлению в городе будет вестись с помощью технологий Big Data. В их основе лежат особые алгоритмы обработки больших массивов данных, которые сравнивают синхронизированные по времени графики давлений в различных точках сети и определяют наличие взаимосвязей (корреляций) между ними. В результате программа получает информацию о точках, взаимосвязанных по давлению с каждым из источников воды, и генерирует карту границ зон влияния.

Для решения задачи оптимизации затрат на добычу и транспортировку воды по всей системе предполагается использовать технологию «цифрового двойника», которая заключается в автоматическом построении эмпирической модели. Эта модель строится системой на основании анализа массива мгновенных и архивных данных о добыче и транспортировке воды и затратах энергии на каждом из этапов. В результате рассчитываются оптимальные режимы заполнения резервуаров и движения воды с точки зрения обеспечения как технологических режимов, так и минимизации экономических затрат.

Можно с уверенностью утверждать, что водоканал, проделав огромную работу, на данный момент имеет отличную базу для расширения зоны внедрения интеллектуальной системы, что, в свою очередь, поможет достичь главную цель всего проекта модернизации – удовлетворенность конечного потребителя, который обеспечен качественным и доступным водоснабжением.

1. Синицын, А.В. Цифровизация и повышение эффективности систем городского водоснабжения с использованием автоматизированных систем управления. / А.В. Синицын, Е.А. Клебанов // НТП в жилищно-коммунальном хозяйстве: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3-4 октября 2019г.: в 3 ч. – Минск: БГТУ, 2019. – Ч .2.– С.160-164.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НАСОСНОГО АГРЕГАТА ПРИ ОТСУТСТВИИ НЕОБХОДИМОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Стромский С.А.², Лившиц Ю.Е.¹

1) Белорусский национальный технический университет

2) ОДО «ННЦ Техникон»

г. Минск, Республика Беларусь

Существует множество методов управления электродвигателями, однако в настоящее время преобладающим методом управления является применение преобразователя частоты (ПЧ). Работа ПЧ основана на принципе изменения частоты питающего электродвигатель напряжения, от которой линейно зависит синхронная частота вращения электродвигателя.

При таком методе управления согласно формулам подобия характеристики насосного агрегата при изменении частоты вращения будут изменяться следующим образом [1]:

$$\frac{Q_p}{Q_n} = \frac{n_p}{n_n}, \quad (1)$$

$$\frac{H_p}{H_n} = \left(\frac{n_p}{n_n}\right)^2, \quad (2)$$

$$\frac{N_p}{N_n} = \left(\frac{n_p}{n_n}\right)^3, \quad (3)$$

где Q_p , H_p , N_p , – подача, напор, потребляемая мощность насоса при частоте вращения рабочего колеса n_p ;

Q_n , H_n , N_n , – подача, напор, потребляемая мощность насоса при номинальной частоте вращения рабочего колеса n_n .

Как видно из формул подобия незначительное изменение частоты вращения вала сопровождается значительными изменениями в моментальном потреблении электроэнергии. Например, центробежный насос, работающий на частоте 50 Гц, со скоростью оборотов двигателя 2950 об/мин, при уменьшении частоты до 40 Гц, снизит число оборотов, соответственно, до 2360 об/мин и производительность на 20%. При этом в соответствии с законами подобия потребление энергии сократится на 50%.

В условиях, когда регулирование производительности насосного агрегата необходимо, например, в повысительных насосных станциях, основная задача которых точно поддерживать заданное выходное давление, ПЧ применяется обязательно. Однако, в случаях, когда необходимости точно поддерживать определенный параметр нет, то есть регулирование производительности не обязательно, может применяться прямой пуск электродвигателей от сети или устройство плавного пуска, ограничивающие пусковой ток зачастую в диапазоне от трехкратного до семикратного превышения номинального тока. Примером случая, в котором регулирование не обязательно и зачастую не применяется,

являются канализационные насосные станции (КНС), задача которых состоит в перекачивании достаточного объема жидкости из приемного резервуара. При этом требования к выходному давлению и подаче состоят исключительно в обеспечении значений технологических параметров не ниже требуемых, а также в некоторых случаях в ограничении выходного давления для предотвращения повреждения трубопровода.

Для КНС допускается применение прямого или плавного пуска как основного метода управления насосными агрегатами, ввиду чего большинство КНС проектируются без ПЧ и каких-либо алгоритмов регулирования. Применение ПЧ в таких станциях возможно даже без разработки алгоритма регулирования (что упрощает требования к системе управления и удешевляет ее разработку). В таком случае можно выбрать стандартный алгоритм работы КНС – управление насосами по уровням включения и отключения, но на пониженной частоте, а переход на максимальную частоту осуществлять при недостаточности производительности станции. Тогда такое решение по сравнению с типовыми КНС будет обладать следующими преимуществами:

1) ограничение пусковых токов вплоть до номинального, что выражается значительным снижением пиковых нагрузок на сеть электропитания и позволяет запитать станцию от менее мощного генератора в случае аварии штатного электропитания;

2) упрощение подбора насосных агрегатов, обеспечиваемое возможностью регулировки их технологических параметров в достаточно широком диапазоне;

3) как было представлено ранее – значительное снижение энергопотребления;

4) как правило, ПЧ обладают более продвинутыми защитами электродвигателя;

5) увеличение ресурса компонентов, требующих наиболее частого обслуживания – подшипников и уплотнений. Ресурс подшипников увеличивается за счет снижения скорости вращения, а уплотнений – за счет снижения нагнетаемого давления.

Недостатком подобного решения является только стоимость системы управления с применением ПЧ относительно системы без него. Однако, в настоящее время стоимость ПЧ значительно снижается и зачастую одной только экономии электроэнергии достаточно, чтобы вложения в более продвинутую систему окупились.

1. Еловик, В.Л. Расчет и анализ режимов работы центробежных насосов с частотно-регулируемым электроприводом / В.Л. Еловик, И.В. Войтов, Ю.П. Седлухо. – Минск: БГТУ, 2022. – 110 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Хаткевич М.О., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Модернизация дистанционной системы мониторинга и управления релейной защиты и автоматики электрической подстанции (ДСМУ РЗА) является процессом обновления и улучшения существующей системы с целью повышения ее эффективности и надежности.

Модернизация системы может включать следующие шаги:

1. замена устаревшего оборудования. В ходе модернизации происходит замена старого оборудования на новое, более современное и функциональное. Это может включать замену релейной защиты, контрольно-измерительных приборов, систем связи и других компонентов;

2. внедрение цифровых технологий. Модернизация может включать внедрение цифровой релейной защиты, системы сбора и анализа данных, удаленное управление и мониторинг. Это позволяет повысить точность и скорость обнаружения и реагирования на аварийные ситуации;

3. интеграция с другими системами. Модернизация может включать интеграцию ДСМУ РЗА с другими системами управления и мониторинга, такими как системы управления энергопотреблением, системы управления нагрузкой и другие. Это позволяет более эффективно управлять электрической сетью и оптимизировать расход энергии;

4. обучение и поддержка персонала. Модернизация требует обучения персонала, для эффективного использования обновленных функций системы. В дополнение необходима поддержка и техническая помощь со стороны поставщиков оборудования, разработчиков программного обеспечения.

Модернизация дистанционной системы мониторинга и управления релейной защиты и автоматики электрической подстанции позволяет повысить надежность и эффективность работы подстанции, улучшить контроль и защиту электрической сети, а также снизить риски аварийных ситуаций.

Дистанционная система мониторинга и управления релейной защиты и автоматики электрической подстанции отвечает за контроль и защиту электрической сети. Она позволяет операторам удаленно наблюдать и управлять работой подстанции, а также обнаруживать и реагировать на аварийные ситуации.

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА

Хвитько К.В., Качанов И.В., Шаталов И.М. Щербакова М.К.

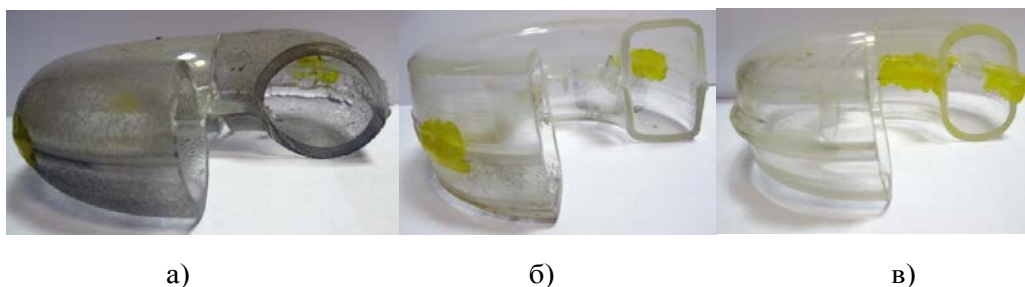
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

На водных путях Республики Беларусь землесосные снаряды в навигационный период осуществляют различные виды работ: дноочистительные, дноуглубительные, а также добычу песчаного грунта со дна водоемов в объеме до 2 млн. тонн в год. Все вышеупомянутые работы сопровождаются большими трудо- и энергозатратами. На предприятиях водного транспорта Республики Беларусь, в настоящий момент эксплуатируется несколько десятков земснарядов.

Земснаряды постоянно сталкиваются с проблемой низкой производительности и энергоэффективности из-за износа и существенного увеличения гидравлического сопротивления нагнетательной трубы грунтового насоса земснаряда, особенно его фасонных элементов. К фасонным элементам обычно относят: переходники, тройники и поворотные участки нагнетательной трубы.

После проведения компьютерного моделирования и лабораторных испытаний на кафедре ГЭСВТГ было установлено, что существенное влияние на величину гидравлического сопротивления оказывает форма поперечного сечения нагнетательной трубы земснаряда. Соответственно, путем изменения формы поперечного сечения можно снизить гидравлическое сопротивление, что оказывает влияние на рабочие точки совместной работы насос-трубопровод.

В качестве образцов были выбраны три формы поперечного сечения: круглая, прямоугольная, овальная (рис. 1 а, б, в).



а) круглая; б) прямоугольная; в) овальная

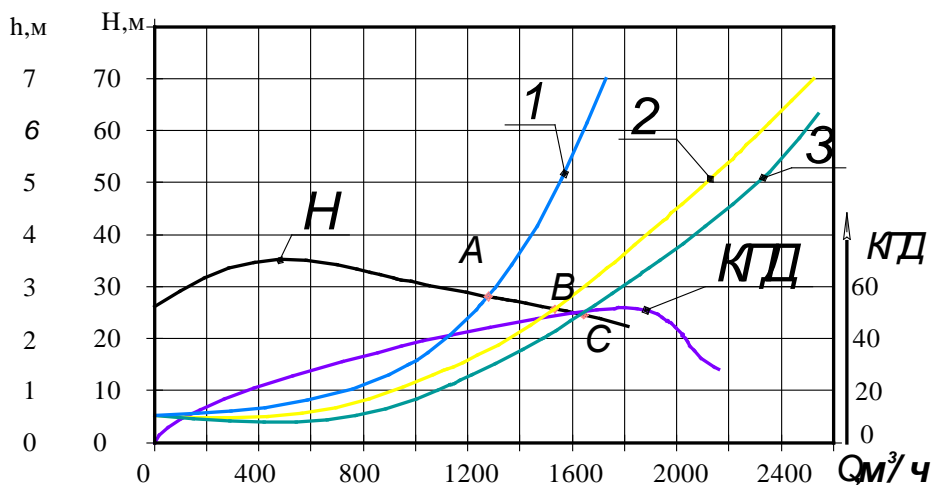
Рисунок 1 – Экспериментальные образцы различных форм поперечного сечения

Проведенное компьютерное моделирование и лабораторные гидравлические исследования показали, что оптимальной формой

поперечного сечения поворотного участка нагнетательной трубы земснаряда является овальная форма поперечного сечения.

Анализ полученных результатов лабораторных исследований показывает, что изменение формы поперечного сечения нагнетательной трубы земснаряда от круглого до прямоугольного и затем овального приводит к увеличению производительности грунтового насоса Q в среднем на 10 %, уменьшению гидравлического сопротивления нагнетательной трубы — на 25 %, что в свою очередь позволит увеличить КПД на 5-10%

Гидравлические расчеты, с учетом полученных результатов, по определению потерь напора в нагнетательной трубе грунтового насоса земснаряда с различной (круглой, прямоугольной, овальной) формой поперечного сечения позволят построить рабочие характеристики нагнетательной трубы грунтового насоса (рис.2).



- 1 – потери напора в круглом поперечном сечении;
- 2- потери напора в прямоугольном поперечном сечении;
- 3 – потери напора в овальном поперечном сечении;

H – напор; h – потери напора; КПД – коэффициент полезного действия;
 A, B, C – рабочая точка для круглого, прямоугольного и овального сечения соответственно

Рисунок 2 – График рабочих точек поворотного участка нагнетательной трубы земснаряда

Точки пересечения этих характеристик с характеристиками насоса, в свою очередь, дали возможность найти рабочие точки насоса (A, B, C рис. 2) и выбрать из них оптимальную. В результате был сделан вывод, что оптимальной рабочей точкой насоса является точка пересечения характеристики нагнетательной трубы овального сечения (линия 3 рис. 2) с характеристикой грунтового насоса (точка C рис.2), которая соответствует минимальному напору H , и максимальным значениям КПД и производительности насоса Q .

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ КВАДРОКОПТЕРА «КЛЕВЕР 4.2»

Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Кафедрой «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета для образовательных целей был закуплен квадрокоптер «Клевер 4.2» (Clover 4.2) российского производителя СОЕХ. Квадрокоптер изображён на рисунке:



Рисунок 1 – Квадрокоптер «Клевер 4.2» [1]

Помимо стандартных образовательных целей таких, как развитие у студентов навыков сборки многодетальных устройств, изучения ими основных компонентов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) мультироторного типа, получения навыков операторного управления, настройки полётного контроллера, камеры и программирования, кафедра также заинтересована в развитии научных направлений с применением данного БПЛА.

Первой такой задачей ставится задача реализации по имеющемуся реальному БПЛА его математической модели в среде MATLAB, которая бы, помимо уравнений, описывающих аэродинамику и движение в пространстве БПЛА, имела бы ещё и графическую составляющую, состоящую из 3D-модели, отражающей все основные элементы квадрокоптера, его массогабаритные характеристики, в которой должна быть реализована подвижность тех элементов, которые имеют её в реальном квадрокоптере.

В соответствии с задачей, на первом этапе необходимо реализовать 3D-модель квадрокоптера. В качестве среды моделирования принято решение использовать SolidWorks компании Dassault Systèmes по причинам наличия в ней всех основных функций для работы с подобными

проектами, опыта работы в ней и обладания университетом лицензионными копиями данного программного обеспечения.

Компания COEX в сопровождение своим квадрокоптерам оставляет на сайте 3D-модели основных конструктивных элементов, чтобы, в случае чего, можно было заменить повреждённые элементы путём их изготовления на 3D принтере, либо фрезерном станке, либо станке лазерной резки, либо же для модификации конструкции в различных проектах [2].

Однако всё ещё необходимо реализовать модели электронных компонентов и исполнительных устройств. Такими моделями являются: литий-полимерный аккумулятор, моторы пропеллеров, пропеллеры, электронные регуляторы хода (ESC), плата распределения питания, полётный контроллер, плата управления Raspberry Pi, светодиодная лента, лазерный дальномер, модуль камеры, радиоприёмник и стандартные крепёжные элементы.

Для реализации данных моделей предполагается использовать следующие методы: использование готовых моделей, находящихся в открытом доступе для таких распространённых компонентов, как, например, Raspberry Pi; классическое твердотельное моделирование с выполнением замеров реальных экземпляров для отсутствующих компонентов простой геометрической формы; методы фотограмметрии для отсутствующих компонентов сложной геометрической формы; использование библиотеки ToolBox программы SolidWorks для настройки и добавления стандартных крепёжных элементов. После создания всех необходимых компонентов, они будут добавлены в файл сборки программы SolidWorks, на них будут наложены необходимые сопряжения, определяющие расположение и ориентацию каждого из компонентов, а также ограничивающие степени свободы элементов, будут добавлены все необходимые крепёжные элементы. Результирующая сборка может быть экспортирована в MATLAB или другое программное обеспечение, в котором можно реализовать симуляцию беспилотного летательного аппарата, например, Gazebo.

1. Введение – Clover [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://clover.coex.tech/ru/>
2. CAD-модели Клевера [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://clover.coex.tech/ru/models.html>

ФОТОГРАММЕТРИЯ КАК СПОСОБ СОЗДАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ. ОБЗОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для создания 3D-модели из реального объекта необходимо получить информацию о координатах его точек в пространстве. Для этого существуют следующие методы: 1) контактные (измерительные щупы, проходящие по всей поверхности объекта); 2) бесконтактные: ультразвуковые (по времени отражения звуковых волн и скорости звука определяется расстояние до точек объекта от излучателя), электромагнитные (как ультразвуковые, но используют электромагнитные волны), лазерные (аналогично работе лазерного дальномера), фотограмметрические [1].

Фотограмметрия – это научно-техническая дисциплина, изучающая способы определения форм, размеров, положения в пространстве различных объектов по их фотоизображениям [2].

Фотограмметрия, как правило, используется в двух основных направлениях. 1) Сканирование местности, крупных площадей и в результате преобразование результатов в карты объектов/местности (создание ортофотопланов). 2) Работа с отдельными объектами различного размера: для получения 3D-модели, которая может использоваться для исследования и симуляции объекта, разработки техпроцесса его производства (реверс-инжиниринг); для восстановления археологических находок; при создании цифрового двойника; в медицине для учёта индивидуальных особенностей строения элементов организма конкретного человека и т.д.

В настоящее время существует большое количество программных средств, выполняющих автоматизацию процесса обработки фотографий и получения 3D-объекта из них. Данные программы имеют разные алгоритмы, лежащие в основе их работы, однако придерживаются схожей последовательности действий: загружается весь набор изображений, далее каждое изображение обрабатывается, на них выделяются ключевые точки, затем программа выполняет поиск совпадений между ключевыми точками на соседних снимках, выполняется оценка соответствий и удаление ошибочных, вычисляется положение камеры во время выполнения каждого снимка, определение трёхмерных координат точек и преобразование их в результирующее 3D облако точек, чего для некоторых задач, где не требуется высокая точность, достаточно [3]. В задачах, где требуется высокая точность, далее при помощи различных алгоритмов выполняется преобразование облака точек в полигональную модель, либо

объект поверхностного моделирования, либо твердотельную модель. Иногда это всё реализовано в одном программном комплексе.

Современные достижения в области компьютерного зрения и обработки изображений позволяют получать 3D-модели не только при помощи 3D-сканнеров и профессиональных оптических систем, но и используя бытовые камеры, включая камеры смартфонов. Вне зависимости от используемого программного обеспечения и оборудования для съёмки, для получения лучших результатов при использовании методов фотограмметрии следует придерживаться некоторых правил: 1) хорошее освещение объекта съёмки со всех сторон без теней и отражений; 2) сохранять фиксированным значение фокусного расстояния; 3) снимки должны охватывать все ракурсы, при этом на каждой новой фотографии должна меняться либо позиция камеры либо должен быть выполнен поворот объекта (например, поворотным столом); 4) на каждом фото объект должен занимать большую часть; 5) лучше, если фон однотонный, ровный, при этом цвет сильно контрастирует с объектом, а сама поверхность объекта в идеале не должна иметь отражающих и прозрачных участков, цвет объекта не должен быть чёрным; 6) большее количество снимков позволяет обеспечить большую точность (обычно в зависимости от размеров и сложности геометрии объекта требуется от 50 до 150 фотографий) [4]; 7) если объект имеет внутреннюю геометрию, и (или) полная информация о нём недостижима при единственной его установке, то необходимо выполнить съёмку отдельно внешнего и внутреннего контуров и (или) съёмку при нескольких его установках, обеспечивающих полную информацию, затем для каждого набора фотографий создаётся отдельная 3D-модель, которые затем соединяются в единую при помощи специализированного программного обеспечения, например, MeshLab.

Далее рассматриваются программы, которые позволяют получить 3D-модель объёмного стационарного объекта, некоторые из них также пригодны для создания карт местности. Те же, которые используются только для создания карт местности, не рассматриваются. Программы, реализующие описанные функции можно разделить на две группы:

- платные: Agisoft Metashape (ранее Photoscan)*, 3DSOM*, Strata Foto 3D, Reality Capture, Autodesk ReCap*, iWitness, Photomodeler*.

- бесплатные: Alice Vision Meshroom, Autodesk 123D Catch, 3DF Zephyr (до 50 фото в одном проекте), Colmap, Regard3D, VisualSFM, Qlone [5], [6].

* - доступен бесплатный пробный период.

Все из перечисленных программных продуктов поддерживают экспорт результатов в формате .obj, большинство также поддерживают формат .stl. Оба формата поддерживаются как в наиболее популярных САПР (КОМПАС-3D, SolidWorks, Catia, NX, Fusion 360, Autodesk

Inventor), так и в ПО для 3D-моделирования дизайнерского типа: Blender, Autodesk 3ds Max.

По количеству публикаций и учебных материалов наибольшее распространение получили Agisoft Metashape, Alice Vision Meshroom, 3DF Zephyr, Autodesk ReCap, Colmap.

Результаты фотограмметрии могут быть оценены путём сравнения полученного облака точек/полигональной/поверхностной/твердотельной модели с эталонной (3D-модель, по которой выполнен объект, либо результат 3D-сканнера высокой точности) при помощи программных продуктов, например, Geomagic, Meshlab, ZEISS INSPECT, функция «Сравнение тел» SolidWorks и т.д. либо алгоритмически при помощи таких методов, как: вычисление евклидова расстояния, вычисление среднеквадратической ошибки (RMSE), измерение Хаусдорфа [5], используемое для оценки качества упрощения полигональных объектов при реализации технологии проработки уровня детализации (LOD), L1-норма, расстояние Вассерштейна, коэффициент корреляции, поэлементное сравнение и др [6].

1. Константинов, Т. А. Фотограмметрический метод получения 3D модели в решении прикладных задач / Т. А. Константинов, А. В. Селихов // X Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием имени академика А.Г. Шипунова : материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием имени академика А.Г. Шипунова, Ливны, 24 марта 2023 года. – Орёл: Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, 2023. – С. 176-180.
2. Карманов А. Г. Прикладная фотограмметрия: учебное пособие. – Санкт-Петербург, 2012. – 171 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opcn.ifmo.ru/imagcs/6/6e/145531photogrammctria.pdf>
3. Катермин, В. С. Фотограмметрия: 3D-модель из фотографий / В. С. Катермин // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 12-11(80). – С. 89-94.
4. Capturing [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://meshroom-manual.readthedocs.io/en/latest/capturing/capturing.html>
5. Извозчикова, В. В. 3D-моделирование методов съемки мобильными видеосистемами / В. В. Извозчикова, А. В. Меженин // Программные продукты и системы. – 2016. – № 3. – С. 163-167. – EDN XEPQKB.
6. Коньков, В. В. Программно-аппаратный комплекс получения фотоизображений на основе технологии ИОТ и анализ точности различных алгоритмов цифровой генерации 3D моделей на основе принципа фотограмметрии / В. В. Коньков, А. Б. Замчалов, М. Г. Жабицкий // International Journal of Open Information Technologies. – 2023. – Т. 11, № 8. – С. 32-51.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АРТЕЗИАНСКОЙ СКВАЖИНОЙ (АСУ АС)

Шишковец Ф.Д., Куприянов А.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизированная система управления артезианскими скважинами предназначена для дистанционного и локального управления оборудованием артезианских скважин. Система автоматизации скважины осуществляет контроль состояния оборудования и технологических параметров с центрального (или локального) диспетчерского пункта посредством кабельной линии связи, модема или GSM канала, а также оповещает оператора о возникновении перебоев в работе системы.

Автоматизированная система обеспечивает автоматическое местное и дистанционное включение и выключение оборудования скважины по заданному алгоритму, контроль наличия сетевого напряжения в павильоне артезианской скважины. Также контроль давления воды на выходе насоса, контроль статического и динамического уровня воды в скважине при наличии пьезометрического датчика, контроль температуры и других параметров поступающей воды. При возникновении аварийной ситуации включается звуковая и световая сигнализация на пульте управления, также оповещается отдел, отвечающий за работу АСУ АС.

Шкаф управления (ШУ) предназначен для управления и контроля состояния насосного агрегата, установленного в помещении артезианской скважины, сбора данных с установленных в помещении датчиков и передачи их в диспетчерскую по каналу связи, обеспечение функции охраны помещения скважины.

Состав шкафа:

- панели управления и индикации, позволяющей задавать режимы работы станции, а также осуществлять визуальный контроль работы;
- графической панели индикации, для отображения информации с датчиков, а также настройки работы ШУ;
- пускателя, для плавного включения/выключения насосного агрегата;
- коммутационной и пускорегулирующей аппаратуры;
- источников бесперебойного питания с аккумуляторами и блоком питания;
- промышленного контроллера;
- счетчика электроэнергии (при необходимости);
- радиостанции и/или радиомодема.

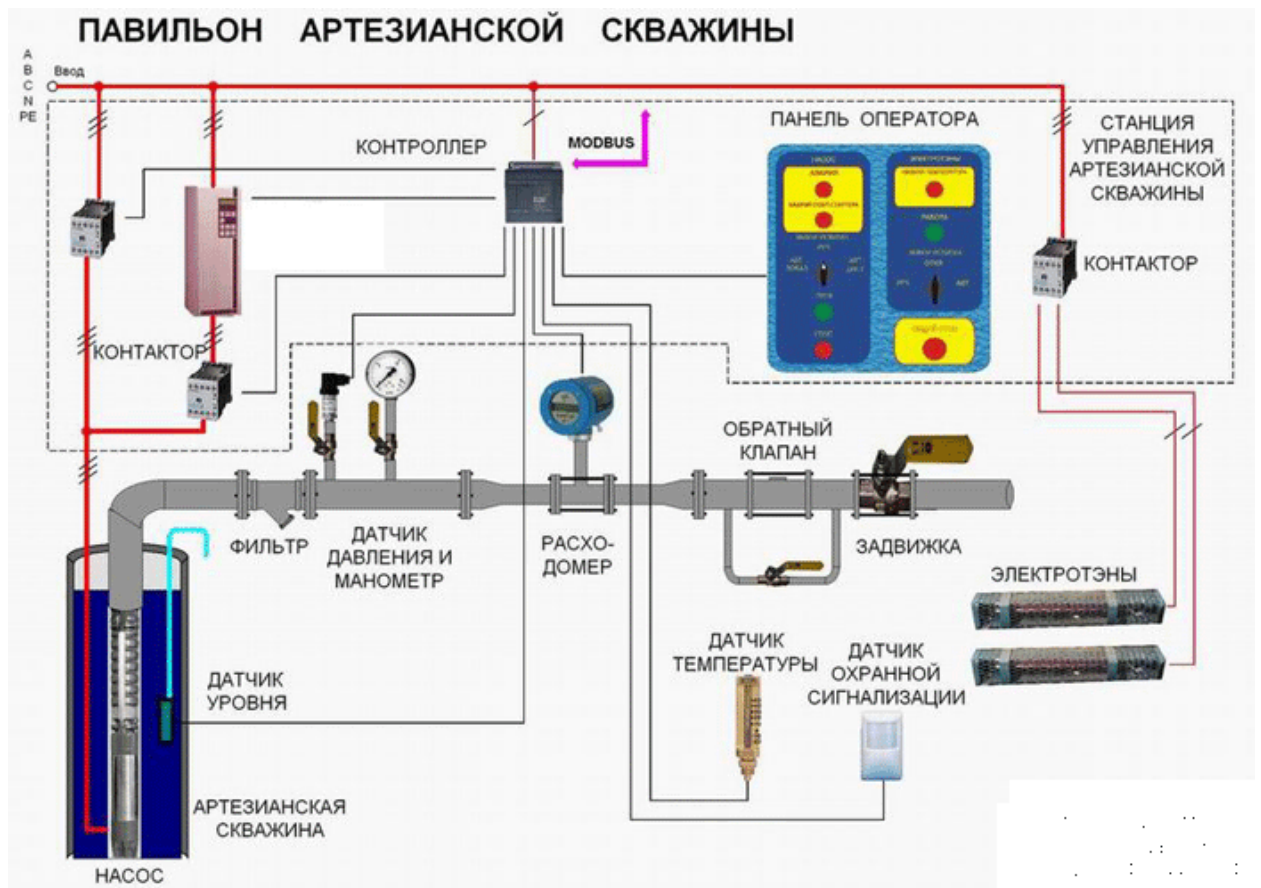


Рисунок 1. Общая схема автоматизированной системы управления артезианской скважиной

Можно выделить следующие преимущества автоматизации скважин:

- поддержание давления в сети, уровня в башне, увеличение ресурса насоса;
- повышение энергоэффективности насосного оборудования;
- автоматический учет расхода;
- контроль протечки, сухого хода, контроль доступа и прочих параметров;
- удаленное управление или управление в единой системе посредством GSM, GPRS, ETHERNET и прочих каналов связи, дистанционный съём показаний приборов учета.

АСУ АС обеспечивает поддержание постоянного давления в магистрали, плавный разгон и торможение электродвигателя, диспетчерский контроль показаний счетчиков воды и электроэнергии, защиту оборудования в случае возникновения внештатных ситуаций и др. Также автоматизация контроля состояния объектов водоснабжения сокращает риски, связанные с человеческим фактором на производстве.

ПРОВЕДЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССА ГИДРОУДАРНОЙ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ИЗ ТОНКОЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ

Шпарло Д.А., Покровский А.И.

Физико-технический институт НАН Беларуси,
г. Минск, Беларусь

При производстве деталей методом гидроударной штамповки, немаловажную роль играет подготовка формообразующего инструмента. Классически он изготавливается из штамповой стали и требует применения точного и высокотехнологического оборудования. По этой причине процесс его изготовления является долгим и дорогостоящим, особенно в случае, когда на поверхности инструмента выполнен сложный рельеф.

Изготовление опытных образцов деталей является дорогостоящим, зачастую возможность быстрой корректировки оснастки (штамповой) отсутствует. Следовательно, целесообразно рассмотреть изготовление формообразующего инструмента аддитивным методом. Одним из самых распространённых методов формирования поверхности аддитивным способом является печать полимеров на 3D-принтере. В связи с этим, возникает вопрос, связанный с возможностью использования пластика в качестве инструмента для формообразования.

В работе было проведено исследование возможностей применения формообразующего инструмента, изготовленного аддитивными методами, для гидроударной штамповки путём моделирования, для понимания целесообразности применения указанной технологии.

Решая математическую модель процесса удара по ограниченному объёму жидкости с рассмотрением волновых процессов в жидкости [1,2] были получены зависимости максимального давления в камере от энергии удара при массе бойка 226г, высотой столба жидкости 70мм и массой жидкости 137г (рис. 1).

Так же была построена зависимость максимального давления в жёсткой камере от энергии удара при различной относительной массе бойка $L=90\text{мм}$, $m_{ж}=176\text{г}$, массы бойков: 93; 265; 771; 995; 1471 грамм, соответствующие коэффициенты α (отношение массы жидкости в рабочей камере к массе бойка равны): 1,882; 0,654; 0,228; 0,177; 0,119 (рис. 2).

Таким образом, зная энергию удара, можно управлять давлением внутри камеры для получения нужной толщины и конфигурации требуемого изделия не превышая предел прочности неметаллической оснастки.

При этом, имея исходную конфигурацию оснастки, можно увидеть деформации, смоделировав нагружение в различных CAD и CAE-

программах, например, Solid Works. Пример моделирования деформаций матрицы из ABS-пластика при давлении 85МПа представлен на рис. 3. По результатам моделирования видны опасные места матрицы, однако деформация материала и возникающие напряжения очень малы, поэтому энергию удара бойком 771г. в 253,5 Дж, матрица выдерживает без разрушений и деформаций.

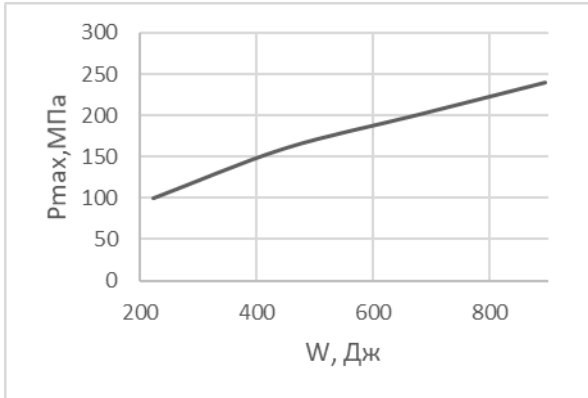


Рис. 1 – Зависимость давления от энергии при $m_б=226г$, $L=70мм$, $m_ж=137г$.

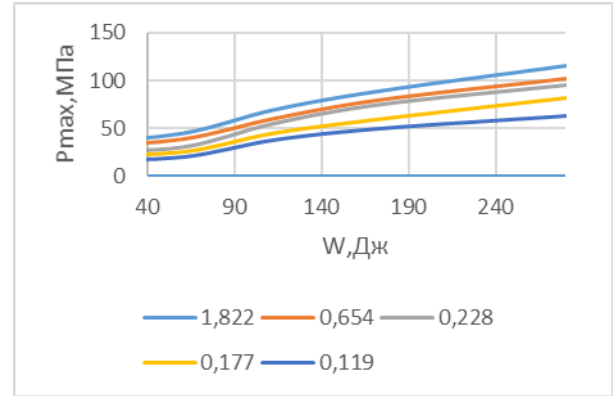


Рис. 2 – Зависимость максимального давления в жёсткой камере от энергии удара при различной относительной массе бойка $L=90мм$, $m_ж=176г$, массы бойков: 93; 265; 771; 995; 1471 грамм

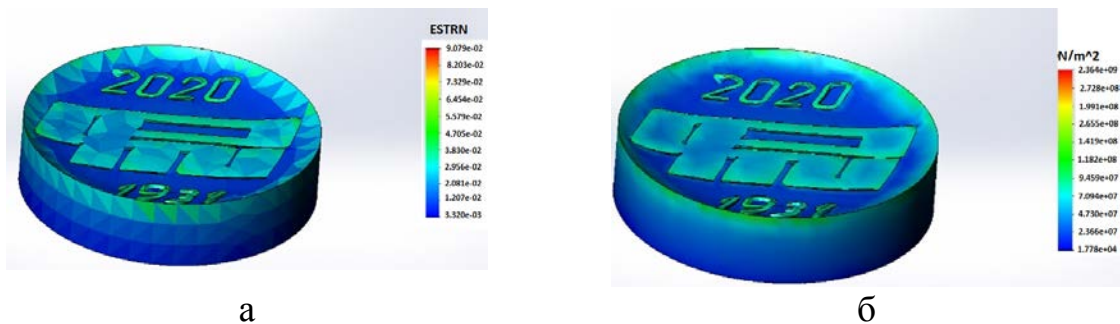


Рис.3 – Результат моделирования матрицы из ABS-пластика, масса бойка 771 грамм, энергия удара 253 Дж.

а — Эквивалентная деформация алгебраическая сумма нормальных деформаций и сдвигов по координатным осям (ESTRN); б — Напряжения (N/m^2)

Исследования выполнены в рамках договора с БРФФИ № Т21М-100 от 01.07.2021г. (№ гос. регистрации 20213388).

1. Бронин Г.К. Определение некоторых параметров процесса удара по жидкости, находящейся в замкнутом объёме // Кузнеч.-штамповоч. Пр-во. – 1971. - №11.
2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. –М.: Наука, 1967.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ С ВЫСОКИМ РЕСУРСОМ ПЛАСТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

Щукин В.Я., Кожевникова Г.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматическая линия поперечно-клиновой прокатки (ПКП) запатентована в Китае [1] и Беларуси [2]. Линия предназначена для прокатки деталей с высоким ресурсом пластичности изделий – величина повышения ресурса пластичности превышает 50 %. Отличия заключается в создании более высоких сжимающих напряжений в очаге деформации за счет сжатия очага деформации заготовки со стороны торцов и изменение трения на контакте заготовки с инструментом за счет применения принудительного торможения ее вращения.

Компьютерный расчет напряженно-деформированного состоянием в очаге деформации подтверждает возможность полного устранения основного недостатка поперечно-клиновой прокатки – вероятного вскрытия осевой полости при прокатке малопластичного металла или сплава. Это обстоятельство в значительной степени расширяет возможности использования процесса поперечно-клиновой прокатки в промышленности. Данная линия не имеет аналогов в мире и ее широкое практическое использование не вызывает сомнений.

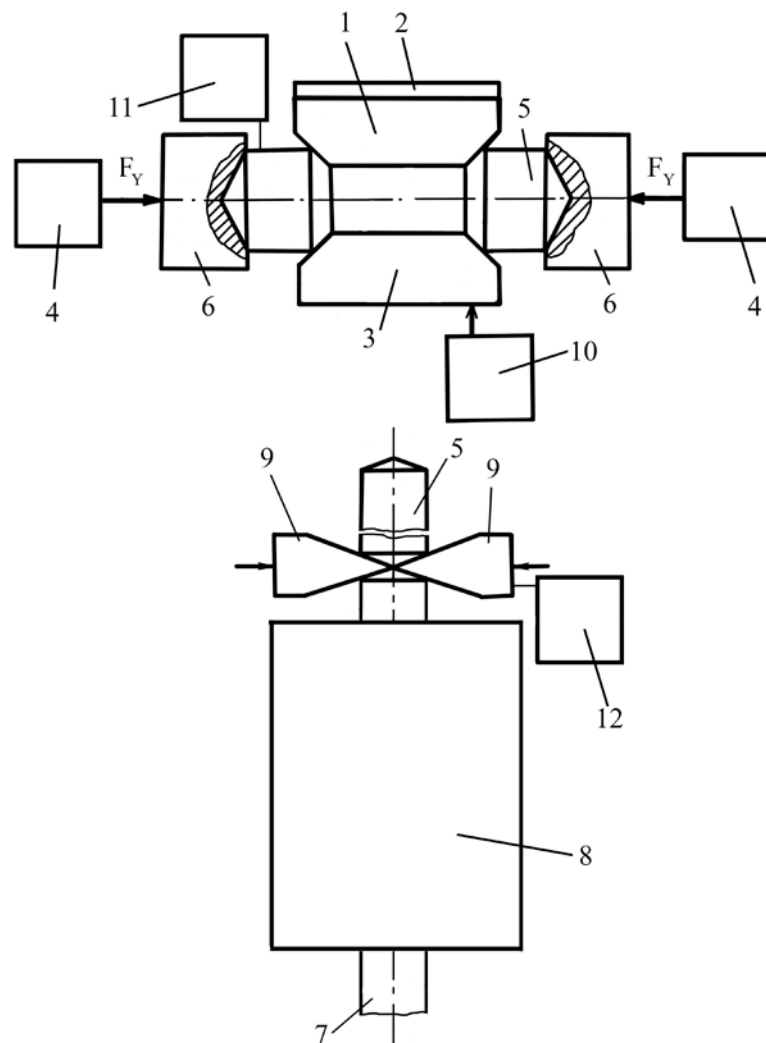
При создании автоматической линии поперечно-клиновой прокатки учтен опыт эксплуатации данного оборудования: принудительный нагрев рабочей клетки для повышения точности деталей, образование торцевых конических поверхностей на заготовках для снижения расхода металла и учета разброса размеров заготовок по диаметру в их размерах по длине.

Схематично линия показана на рисунке. Она оснащена валковым станом 1, с устройством 2 предварительного нагрева рабочей клетки 3. Линия оснащена механизмами 4 сжатия заготовки 5 при прокатке со стороны торцов заготовки и механизмами 6 для создания тормозного момента при прокатке [1, 2].

При нагреве исходный пруток 7 не вращается. Нагреватель 8 оснащен механизмом 9 для резки заготовки с образованием конических торцов заготовки 5.

Линия также оснащена механизмом 10 регулировки закрытой высоты рабочей клетки 3, подключенной к датчику 11 температуры нагретой заготовки. Линия также оснащена механизмом 12 регулировки длины заготовки 5 в зависимости от ее диаметра.

Линия предназначена для трехсменной работы в автоматическом режиме. Работа оператора линии заключается в наблюдении за его работой и своевременном устранении возможных непредвиденных дефектов.



1 – стан поперечно-клиновой прокатки; 2 – устройство предварительного нагрева рабочей клетки; 3 – рабочая клетка; 4 – механизм сжатия; 5 – заготовки; 6 – механизм для создания тормозного момента при прокатке; 7 – исходный пруток; 8 – нагреватель; 9 – механизм для резки заготовки с образованием конических торцов заготовки; 10 – механизм регулировки закрытой высоты рабочей клетки; 11 – датчик температуры нагретой заготовки; 12 – механизм регулировки длины заготовки

Рисунок – Схема автоматической линии поперечно-клиновой прокатки

1. Способ поперечно-клиновой прокатки металлов и сплавов: заявка № 315100 Китайской Народной Республики / Щукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А., Шу Сюэдао, Ван Ин, Юй Тао; заявители Щукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А., Шу Сюэдао, Ван Ин, Юй Тао.
2. Способ поперечно-клиновой прокатки металлов и сплавов: заявка № а 20200301 Респ. Беларусь, МПК В21 Н 1/18 / Щукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А., Шу Сюэдао, Ван Ин, Юй Тао; заявители Щукин В.Я., Кожевникова Г.В., Кожевников Д.А., Шу Сюэдао, Ван Ин, Юй Тао. — заявл. 30.11.2020; опубл. 30.06.2022 // Афіцыйны бюл. / Дзярж. пат. камітэт Рэсп. Беларусь. — 2022. — № 3. — С. 8.

ИСТОЧНИКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПЕЧАТИ В МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ

Югова М.В., Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

3D-печать, также известная как аддитивное производство, предоставляет уникальные возможности для оптимизации и улучшения процессов механизированной сборки.

Рассмотрим некоторые области эффективного применения 3D-печати.

3D-печать позволяет создавать индивидуальные и сложные детали и компоненты, которые могут быть оптимизированы для конкретной механизированной сборки. Это включает в себя создание крепежных деталей, адаптеров и кронштейнов, соответствующих требованиям конкретной производственной линии.

В механизированной сборке порой требуется провести тестирование новых конструкций деталей. 3D-печать позволяет быстро и относительно недорого создавать макеты и прототипы для последующего тестирования, что сокращает время разработки новых компонентов производственной линии.

3D-печать используется для производства специальных инструментов и приспособлений, например, для крепления, фиксации и удержания деталей в процессе сборки. Это позволяет создавать индивидуальные инструменты, точно соответствующие конкретным требованиям сборочной линии.

3D-печать упрощает создание кастомизированных решений для механизированной сборки, таких как детали для роботов и автоматических устройств, легко адаптируемых к конкретным задачам и условиям производства.

С использованием методов топологической оптимизации, 3D-печать позволяет создавать компоненты и конструкции с оптимальной прочностью и легкостью, что важно для механизированной сборки, особенно где требуется снижение веса конструкции и оптимизация пропускной способности производственных линий.

Эффективность применения 3D-печати по сравнению с другими методами изготовления деталей:

1. Гибкость в производстве:

- 3D-печать предоставляет возможность создания сложных геометрий, что может быть сложно достичь традиционными методами (литьем или обработкой металла).

2. Производство деталей по требованию:

- Заказные детали могут быть напечатаны по мере необходимости, без необходимости ожидания изготовления форм или специализированного оборудования.

3. Экономия времени для разработки и тестирования:

- 3D-печать обеспечивает возможность быстрого тестирования новых деталей, сокращая время, необходимое для их внедрения в производство.

4. Экономия материалов:

- Уменьшение отходов и возможность создания полностью функциональных деталей с помощью 3D-печати снижает потребность в материалах и энергии в сравнении с некоторыми традиционными методами изготовления.

3D-печать является мощным инструментом для создания индивидуальных деталей и компонентов в механизированной сборке. Она обеспечивает гибкость, экономию времени и стоимости, а также возможность индивидуального подхода к производству.

Пример SLS технологии 3d печати приведен на рис. 1. Она широко распространена и позволяет печатать изделия из металла, пластика, керамики, стекла, нейлона.

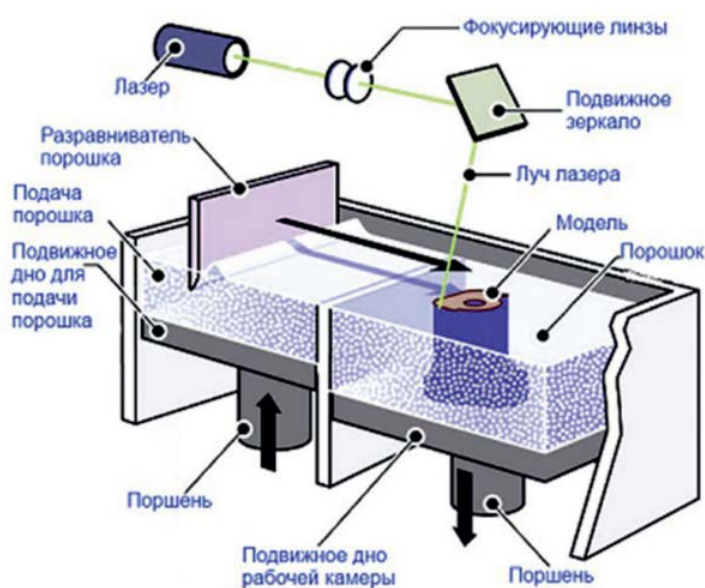


Рисунок 1- Лазерное спекание порошковых материалов (SLS)

В ней используется лазерное излучение с высокой мощностью для того, чтобы плавить небольшие частицы пластика, металла (прямое лазерное спекание металла), керамические или стеклянные порошки в массу, которая имеет желаемую трехмерную форму.

Однако, важно отметить, что 3D-печать не всегда является универсальным решением и может быть не эффективной для производства больших серий или деталей, требующих особой прочности и толерантности.

К ВЫБОРУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СТРОИТЕЛЬНОГО РОБОТА

Юденков В.С., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Особенностью работы электропривода шнекового дозатора строительного робота является старт- стопный режим работы. Такой режим работы должен обеспечить дискретную подачу цементной смеси в рабочую зону робота с целью обеспечения возможности затвердевания цементной смеси. Наиболее подходящим электроприводом шнекового дозатора является система следящего сервопривода. Соответствующим вышеизложенным требованиям является сервопривод R7D-BP04 фирмы OMRON, как имеющий функции самонастройки параметров привода.

В ходе выполненных расчетов были определены основные размеры и характеристики шнекового дозатора. Выбран и проверен запас прочности вала шнека. Также был проведен выбор редуктора и электродвигателя. В результате получили шнековый дозатор с диаметром шнека 150 мм шагом винта 105 мм, выдающий заданную производительность 650 кг*ч при частоте вращения 26 оборотов в минуту. Выбран вал шнека с диаметром 45мм с большим запасом прочности. Оптимальное передаточное число редуктора – 63. Формирование оптимальных настроек электропривода производится по основным параметрам:

Частота вращения (F_{ref}): задание (уставка) частоты вращения для привода. **Продолжительность разгона:** время, в течение которого выходная частота (F_{out}) возрастает от 0 Гц до максимальной частоты (F_{max}). **Продолжительность торможения:** время, в течение которого выходная частота (F_{out}) снижается от максимальной частоты (F_{max}) до 0 Гц. **Продолжительность вращения:** (применимо только для циклического режима). **Продолжительность одного цикла.** Сюда входит время разгона, время торможения и время вращения с заданной частотой. Минимальная продолжительность вращения составляет 1 секунду, а максимальная допустимая продолжительность — 60 секунд (1 час).

Автонастройка сервоприводов R7D-BP04 в среде CX-Drive

Функция автонастройки рассчитывает момент инерции нагрузки во время работы сервопривода и устанавливает такие значения параметров, при которых коэффициенты контура серворегулирования наибольшим образом соответствуют жесткости механической системы. Установка жесткости механической системы производится при автонастройке в режиме on-line. Выбирают опцию "Жесткость механической системы" и нажимают кнопку "Выполнить", чтобы задать уставки для коэффициентов передачи контура скорости и контура позиционирования сервопривода; далее надо установить коэффициент инерции ротора.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫРАЩИВАНИЯ ПТИЦЫ

Юденков В.С., Костин И.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизация процесса выращивания птицы в закрытых помещениях требует создания весьма благоприятных климатических условий для получения качественной продукции. Рациональное регулирование температуры в помещении и состава газовой смеси позволяет снизить энергопотребление и себестоимость продукции. Автоматизированная система управления представлена на рис.1.

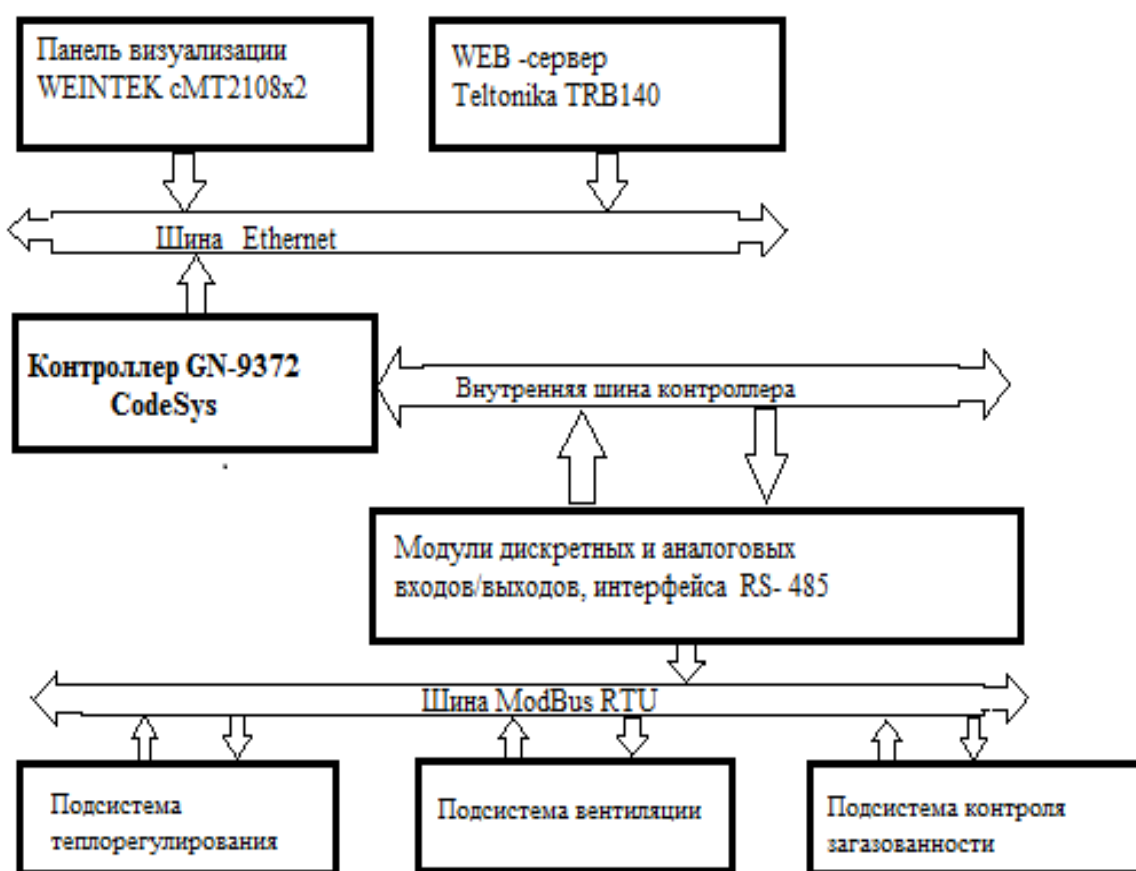


Рисунок 1 – Автоматизированная система управления

Визуализация процесса управления отражается на электронной панели фирмы Weintek. На ней отображается схема птичника, система вентиляции и отопления. Так же с помощью панели имеется возможность управлять технологическим процессом.

Алгоритм управления технологическим процессом организуется как локально с рабочего места оператора, так и удаленно через WEB-сервер Teltonika TRB140.

Алгоритмы управления подсистемами теплорегулирования, вентиляции и контроля загазованности осуществляются контроллером GN9372 с системой программирования CODESYS[1]. Связь контроллера с подсистемами осуществляется через модули дискретных и аналоговых входов/выходов и модуль интерфейса RS485, которые подключаются к внутренней шине контроллера. Чтобы работать с этими модулями в CODESYS их необходимо добавить в среду разработки. Для этого используются файлы-описатели (.XML) адаптеров, модулей ввода/вывода и дополнительных драйверов. После этого в окне репозитория устройств необходимо выбрать необходимые описатели и добавить их в проект. Для конфигурирования корзины программируемого адаптера в дереве устройств у объекта шины G-Bus (G-Series Rack) необходимо добавить соответствующие модули.

Программное обеспечение по автоматизации системы управления имеет 3 режима работы:

- наладка;
- ручное управление;
- автоматический режим.

В режиме наладки проверяется функциональность оборудования при подаче управляющего сигнала. При его поступлении на дискретный выход контроллера оборудование должно корректно обработать этот сигнал. Таким образом, при помощи этого режима проверяется, что компоненты работают должным образом.

В ручном управлении оператор собственноручно может запускать и останавливать оборудование, т.е. вести технологический процесс, в зависимости от таких параметров как: уровни измеряемых газов и значения температур внутри и снаружи помещения.

В автоматическом режиме контроллер непрерывно мониторит различные параметры и состояние оборудования в производстве. Далее он использует полученные данные для регулирования и управления оборудованием и процессами. На основе программного обеспечения и установленных параметров, контроллер принимает решения о включении или выключении компонентов. При понижении или повышении температуры он отправляет сигнал подсистеме теплорегулирования, чтобы привести данный параметр к оптимальному значению. Аналогичные действия контроллер применяет и к подсистемам вентиляции и контроля загазованности при отклонении характеризующих их параметров.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕТАЮЩЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА БАЗЕ ROBOT OPERATING SYSTEM

Ярошевич Е.В., Дубатовка В.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

ROS (Robot Operating System) – это мета операционная система (ОС) с необходимым набором утилит (команд) для облегчения написания кода в робототехнике [1]. Она необходима для упрощения и гибкости написания умных алгоритмов, связанных с эксплуатацией робота, и не может существовать самостоятельно т.е. работает на базе другой ОС.

Сейчас в робототехнике активно изучается коллективная работа роботов, как пример – роевые полеты дронов. Таким образом, целью работы является разработка печатной платы и программного обеспечения с запуском роя дронов на базе ROS.

Для таких сложных систем настраивается общая сеть (сервер) и подключаются так называемые клиенты, тогда у каждого робота есть доступ к координатам других, поскольку все сложные операции обрабатываются на 1-м устройстве, но такая система не может работать вне зоны действия данного протокола (например Zigbee [2] до 100 м), где любая информация передается через каждого робота (клиента). Чтобы этого избежать используется другой тип связи (LoRa (Long Range) [3] до 20 км), работающий на дальних дистанциях. Используемый полетный контроллер (самый распространенный на STM32F427VIT6) не обладает такой возможностью, поэтому был взят за основу другой тип контроллеров, распаянных вместе: STM32WB55xx и STM32WL55JC. Такое решение позволяет еще отказаться от отдельного компьютера на корпусе робота (RaspberryPi), но значительно уменьшает его “умственные способности”.

Настройка сервера происходит с помощью сборки пакетов, установленных непосредственно на сервере и самих клиентов, включая *Chrony* [4] – альтернативный клиент и сервер протокола сетевого времени NTP. В качестве сервера может выступать любой компьютер, через который будут производиться расчеты углов в двух системах координат: декартовой и полярной. Помимо этого нужно прописать независимые утилиты такие как: экстренная посадка (rosservice call /land), отслеживание углов (rostopic angle), индикация ошибки при полете (roslaunch check selfcheck.py), запись их в check-файл и т.д.

В любой операционной системе при запуске различных программ они записываются в bag-файлы и занимают много места на жестком диске робота. При роевых полетах жесткий диск будет заполняться ненужными программами значительно быстро, чтобы это избежать нужно создать

скрипт `bash`, который будет удалять `bag`-файлы старше заданного периода (например: на диске осталось меньше 15% свободного места от общего объема), при этом настроить автоматическое периодическое выполнение данного скрипта, используя `cron` или `systemd`.

Выводы:

- вместо стандартного полетного контроллера в качестве роевых запусков выгодно использовать 2 контроллера с разным типом связи;
- для облегчения написания ПО на роботе использовалась мета-операционная система ROS;
- с целью безопасности и упрощения поиска информации на роботе создаются различного рода утилиты;
- для эффективной работы с памятью создаются специальные `bash`-скрипты.

1. ROS - Robot Operating System [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://www.ros.org/>.
2. Zigbee — [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Zigbee>.
3. LoRa (Long Range) — [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/realtrac/articles/304312/>.
4. Chrony — [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://redos.red-soft.ru/base/arm/arm-network/synchro-time/chrony/>.