

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

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

Материалы X международной научно-практической конференции

(Минск, 6 апреля 2022 года)

В рамках выставки «Автоматизация, электроника – 2022»

Минск БНТУ 2022

Редакционная коллегия:

Околов А.Р. (главный редактор),
Дербан А.Н. (зам. гл. редактора),
Шишковец И.А. (ответственный секретарь),
Холод П.В., Заярный В.П.

Составитель:
Дербан А.Н.

В сборнике опубликованы материалы X 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, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| 1. <i>A NEW APPROACH TO DIGITAL PROCESSING OF ECG SIGNALS</i> | 8 |
| JAVBOROV ANVAR MANSURJONOVICH | 8 |
| 2. <i>ДИАПАЗОН РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ</i> | 11 |
| АЛЕКСАНДРОВСКИЙ С.В. | 11 |
| 3. <i>ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ</i> | 13 |
| АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., НИСС В.С., КОРОЛЁВ А.Ю., СЕНЧЕНКО Г.М., ПАРШУТО А.Э., ЯНОВИЧ В.А. | 13 |
| 4. <i>ВАРИАНТ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРО- И НАНОПОРОШКОВ</i> | 15 |
| БАКАЕВ А.Г., ШПАРЛО Д.А. | 15 |
| 5. <i>ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ SATS В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»</i> | 16 |
| БЕЛОВА С.В. | 16 |
| 6. <i>АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ</i> | 18 |
| БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А., СОСНОВСКИЙ И.А., КУРИЛЁНОК А.А. | 18 |
| 7. <i>РАЗРАБОТКА КОРРЕКТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ</i> | 20 |
| БЕЛЯВИН К.Е., ЩУКИН В.Я., КОЖЕВНИКОВА Г.В. | 20 |
| 8. <i>ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ</i> | 22 |
| БЕЛЯКОВ Н.В.¹, ПОПОК Н.Н.² | 22 |
| 9. <i>ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ МОМЕНТОВ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ С ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ</i> | 24 |
| БРЕЛЬ В.В. | 24 |
| 10. <i>МОДУЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕМЕННОГО РЯДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ</i> | 26 |
| БУШТРУК Т.Н.¹, БУШТРУК А.А.² | 26 |
| 11. <i>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-3D ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ</i> | 28 |
| БЫКОВ К. Ю., КАЧАНОВ И. В., ЛЕНКЕВИЧ С. А., ШАТАЛОВ И. М. | 28 |
| 12. <i>УЛУЧШЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ</i> | 30 |
| ВАСИЛЬЕВ С. В. | 30 |
| 13. <i>ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА</i> | 32 |
| ГИРУЦКИЙ И.И. | 32 |
| 14. <i>ФУНКЦИИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПС 110 КВ</i> | 33 |
| ГУТИЧ И.И., ДАВЫДОВИЧ Е.А. | 33 |
| 15. <i>OPEN DYNAMICS ENGINE (ODE) – ОТКРЫТАЯ БИБЛИОТЕКА ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ</i> | |

| | |
|--|-----------|
| <i>ДИНАМИКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ</i> | 35 |
| ДЕРБАН А.Н.¹, БУСЬКО А.М.² | 35 |
| <i>16. РАЗРАБОТКА КЛИНОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ ПРОКАТЫВАЕМОГО МЕТАЛЛА</i> | 36 |
| ДУБЕНЕЦ С.С. | 36 |
| <i>17. АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ВЕДОМОСТЕЙ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕСУРСОВ ODOO</i> | 38 |
| ЖАЛДЫБИН А.В., ОКОЛОВ А.Р., ХРАПУН П.В. | 38 |
| <i>18. ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СКОРОСТНОГО ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РЕЖИМЕ ВТМО</i> | 40 |
| КАЧАНОВ И.В., ВЛАСОВ В.В., КОСОБУЦКИЙ А.А. | 40 |
| <i>19. РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300 Т ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ ЕЕ КОРПУСА В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ</i> | 42 |
| КАЧАНОВ И.В., ЛЕНКЕВИЧ С.А., КЛЮЧНИКОВ В.А., ШАТАЛОВ И.М., ЩЕРБАКОВА М.К., ВЛАСОВ В.В. | 42 |
| <i>20. ЦИФРОВАЯ РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ</i> | 45 |
| КАЧАНОВ И.В., ЛЕНКЕВИЧ С.А., КЛЮЧНИКОВ В.А., ШАТАЛОВ И.М., ЩЕРБАКОВА М.К., ВЛАСОВ В.В. | 45 |
| <i>21. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ЗАРАНЕЕ ИЗВЕСТНЫМ КООРДИНАТАМ</i> | 47 |
| КИМ Т.Ю.¹, ПРОКОПОВИЧ Г.А.¹ | 47 |
| <i>22. КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЕГКОВЕСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМЫ</i> | 49 |
| КОВАЛЕВА И.Л., КУНКЕВИЧ Д.П., БОРОДУЛЯ А.В., ЧВАНЬКОВ А.А. | 49 |
| <i>23. РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ</i> | 51 |
| КОВАЛЕНКО Е.А., ДЕРБАН А.Н. | 51 |
| <i>24. ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ</i> | 53 |
| КОЖЕВНИКОВА Г.В., ЩУКИН В.Я., ДУБЕНЕЦ С.С. | 53 |
| <i>25. МЕХАТРОННЫЕ УСТАНОВКИ И КОМПЛЕКСЫ В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ</i> | 55 |
| КОРОБЧУК М.В., ВЕРИГИН А.Н. | 55 |
| <i>26. ПОЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ</i> | 57 |
| КОРОЛЁВ А.Ю., НИСС В.С., АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., ПАРШУТО А.Э., БУДНИЦКИЙ А.С. | 57 |
| <i>27. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ПРЕДЛАГАЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОБЛОКА 300 МВт</i> | 59 |
| КУЛАКОВ Г.Т., КУЛАКОВ А.Т., АРТЁМЕНКО К.И. | 59 |
| <i>28. АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ</i> | 62 |
| КУЛАКОВ Г.Т., КУЛАКОВ А.Т., ВОЮШ Н.В. | 62 |
| <i>29. ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВНУТРЕННЕЙ МОДЕЛЬЮ</i> | 65 |
| КУЛАКОВ Г.Т., КУЛАКОВ А.Т., ВОЮШ Н.В. | 65 |
| <i>30. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ</i> | 69 |

| | |
|---|------------|
| ЛЕВЧЕНКО И.А., ОКОЛОВ А.Р. | 69 |
| 31. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ | 71 |
| ЛИПНИЦКИЙ Л.А.¹, ШАЛЬКЕВИЧ П.К.¹, КОВАЛЕВ В.И.² | 71 |
| 32. АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ | 73 |
| ЛОБАТЫЙ А.А. | 73 |
| 33. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЯМБДА ФУНКЦИЙ В ОБЛАЧНЫХ РЕШЕНИЯХ AMAZON | 75 |
| ЛЯХ М.В., ДЕРБАН А.Н. | 75 |
| 34. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАНИЯ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ | 76 |
| МАЗУРЕНКО А.С., АНИСЬКОВ И.П. | 76 |
| 35. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ С ЯЧЕИСТЫМИ СТРУКТУРАМИ С ВЫПОЛНЕНИЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В СРЕДЕ ANSYS | 78 |
| МАКАНОВ Д.В., ПОЛОЗКОВ А.Ю., ПОЛОЗКОВ Ю.В., НАПРАСНИКОВ В.В. | 78 |
| 36. ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ | 80 |
| МАТВЕЙЧУК Н.М.¹, СОТСКОВ Ю.Н.² | 80 |
| 37. РОБОТИЗИРОВАННАЯ МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ | 82 |
| МАТРУНЧИК Ю.Н.¹, ГОЛОБУРДА М.Ю.² | 82 |
| 38. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИЮ БНТУ | 84 |
| МАТРУНЧИК Ю.Н., ПОПОК Р.В. | 84 |
| 39. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПО ИДЕНТИФИКАЦИОННЫМ КАРТАМ | 86 |
| МАТРУНЧИК Ю.Н., ФРУЗОРОВА В.А. | 86 |
| 40. ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ | 88 |
| НИСС В.С., АЛЕКСЕЕВ Ю.Г., КОРОЛЁВ А.Ю., ПАРШУТО А.Э., СОРОКА Е.В. | 88 |
| 41. УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА | 90 |
| НИСС В.С.¹, АЛЕКСЕЕВ Ю.Г.¹, КОРОЛЁВ А.Ю.¹, КАЛИНИЧЕНКО А.С.², | 90 |
| БУДНИЦКИЙ А.С.¹, СЕНЧЕНКО Г.М.¹ | 90 |
| 42. К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ЧАСТОТОЙ АВТОКОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЧАСТОТНО-ТОКОВОМ УПРАВЛЕНИИ | 92 |
| НИТИЕВСКИЙ С.А. | 92 |
| 43. ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ) | 93 |
| ОКОЛОВ А.Р. | 93 |
| 44. УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ | 96 |
| ОПЕЙКО О. Ф. | 96 |
| 45. РАЗВИТИЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ | 98 |
| ОХОТЕНКО А.В., ГУТИЧ И.И. | 98 |
| 46. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ | 100 |
| ПОКРОВСКИЙ А.И. | 100 |

| | |
|---|------------|
| 47. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И СИЛЫ ПРИ РЕЗАНИИ | 102 |
| ПОПОК Н.Н., КОРБА К.В., АНИСИМОВ В.С. | 102 |
| 48. БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСТИТА У ДОЙНЫХ КОРОВ | 104 |
| РАКЕВИЧ Ю.А.¹, ГИРУЦКИЙ И.И.² | 104 |
| 49. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ | 105 |
| РЫБАК В.А.¹, РИМАРЕВ И.М.², АЛЬ-АРКАУАЗИ АЛИ¹ | 105 |
| 50. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ | 106 |
| РЫБАК В.А., АМРО РАБИА | 106 |
| 51. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТЕПЛИЦЕ С УЧЕТОМ ДАННЫХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ | 108 |
| СЕНЬКОВ А.Г.¹, ГИРУЦКИЙ И.И.² | 108 |
| 52. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОТОКАМИ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ | 109 |
| СОСНОВСКИЙ И.А., БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ М.А., КУРИЛЁНОК А.А., КОМАРОВ А.И., ОРДА Д.В. | 109 |
| 53. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ | 110 |
| СТРИГАНОВА М.Ю.¹, ДМИТРИЧЕНКО А.С.², ШАТАЛОВ И.М.³, ЩЕРБАКОВА М.К.³, КОСОБУЦКИЙ А.А.³ | 110 |
| 54. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ | 113 |
| СТРОМСКИЙ С.А., ДУБИНИН С.В. | 113 |
| 55. ЭФФЕКТ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ПИКА В СОБСТВЕННОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ КОРОННОГО РАЗРЯДА В СИСТЕМЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ОСТРИЕ – ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ ПО МЕРЕ ВОЗРАСТАНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОРОНИРУЮЩИХ ИГЛ | 114 |
| ТИМОШЕВИЧ В.Б. | 114 |
| 56. ТЕХНОЛОГИЯ СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ | 116 |
| К.В. ХВИТЬКО, И.В. КАЧАНОВ, И.М. ШАТАЛОВ, А.А. КОСОБУЦКИЙ | 116 |
| 57. КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ | 118 |
| ХОЛОД П.В. | 118 |
| 58. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ 3D-ПРИНТЕРОМ | 120 |
| ЮДЕНКОВ В.С., ГУРСКИЙ Н.Н. | 120 |
| 59. ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ МЕСТНОСТИ В СИСТЕМЕ ОПТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ БПЛА | 122 |
| Ю.Ф. ЯЦЫНА, А.А. ЛОБАТЫЙ, П.И. САВЁЛОВ | 122 |
| 60. МУЛЬТИКОПТЕР КНР HARWAR ZHANFU H16-V12 | 124 |
| ГУ ПЭНХАО, ЛОБАТЫЙ А.А. | 124 |
| 61. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА | 125 |
| ГУРСКИЙ Н.Н. | 125 |
| 62. ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ | 127 |

| | |
|--|------------|
| НАПРАСНИКОВ В.В., ПОЛОЗКОВ Ю.В., СОЛОВЬЕВ А.Н., СКАЛИУХ А.С. | 127 |
| <i>63. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА</i> | <i>129</i> |
| ЛИВШИЦ Ю.Е., ЗАДОРОЖНАЯ В.А. | 129 |
| <i>64. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ НАСОСОВ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ИХ СТЕПЕНИ ИЗНОСА</i> | <i>131</i> |
| СЕНИЦЫН А.В., ЛИВШИЦ Ю.Е. | 131 |
| <i>65. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ</i> | <i>133</i> |
| ЛИВШИЦ Ю.Е., БЕЛОУСОВ Д.В. | 133 |
| <i>66. УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМ ЗАХВАТОМ РОБОТА-АВАТАРА С ОБРАТНОЙ СИЛОВОЙ И ТАКТИЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ</i> | <i>135</i> |
| ЛИВШИЦ Ю.Е., ХУРС С.П. | 135 |
| <i>67. ОПЫТ ГАРМОНИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ISO 683 НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ</i> | <i>137</i> |
| ХИНА Б.Б., ПОКРОВСКИЙ А.И., ТОЛКАЧЕВА О.А. | 137 |
| <i>68. ПРОГРАММА ОБМЕНА ПЛК MITSUBISHI С ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ DIMETIX DAN 10-150</i> | <i>139</i> |
| СТРОМСКИЙ С.А., ЛИВШИЦ Ю.Е. | 139 |
| <i>69. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ</i> | <i>141</i> |
| САВЁЛОВ П.И., НЕВГЕНЬ М.П., КРАЕВСКИЙ Ю.Г. | 141 |
| <i>70. АВТОПИЛОТ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА</i> | <i>143</i> |
| ШИШКОВЕЦ И.А. | 143 |

A NEW APPROACH TO DIGITAL PROCESSING OF ECG SIGNALS

Jabborov Anvar Mansurjonovich

Namangan Institute of Engineering and Technology

Namangan, Uzbekistan

Abstract— Electrocardiogram (ECG) signals have become a promising means of achieving automatic detection of diseases using high-level processing algorithms. In this paper, a new wavelet delta-function (WDF) method has been proposed for the effective detection of pathological conditions from ECG signals. In this case, the ECG is converted into the sum of WDF with a coefficient of 0, 1 and -1. This made it possible to make changes in the diagnosis with higher accuracy than traditional methods.

Keywords— Electrocardiogram (ECG), diagnosis, Delta function, wavelet, coefficient, Gaussian function, PhysioNet, Challenge 2011 Test Set B, Myocardial infarction (MI).

Introduction

Myocardial infarction (MI), a type of ischemic disease, especially cardiovascular disease, is now one of the leading causes of disability in adults, accounting for 12-15% of all deaths. MI is more common in men between the ages of 40 and 60. In women, the disease is about one and a half to two times less common. The incidence of MI also increased between the ages of 30 and 39; Cases of MI in the 20-29 age group are also not uncommon. Thus, MI affects the most socially active part of the population.

According to the World Health Organization, 56% of all deaths are due to cardiovascular disease. In European countries, cardiovascular disease kills 4.3 million (48%) people a year.

In the treatment of patients with acute MI, the time factor is crucial for the prognosis of life and ability to work. Analysis of ECG signals using processing methods can significantly accelerate the initiation of medical care.

We analyze ECG signals using delta functions.

In this study, we use the Challenge 2011 Test Set B database [1], which is open from PhysioNet, to teach our model. The Challenge 2011 Test Set B database contains 488 ECG recordings, each lasting approximately 30 minutes and a sampling rate of 360 Hz. Each ECG record has twelve lines called I, II, III, aVL, aVR, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, and V6. In this study, Challenge 2011 Test Set B was processed with 1000066 entries from the database.

As a delta function we get the following function.

$$\delta(x_i, x_j) = Ae^{-\frac{(x_i - x_j)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

where A is the amplitude, delta is the height of the function.

Let's get the ECG signal for the wavelet model in $x \in [0; 1]$ seconds. To do this, we choose the delta function in formula (1). So we work with the function

$f(x_i) = EKG + y_0$ at $\delta(x_i, x_j) > 0$ in the interval $x_i, x_j \in (-\infty; +\infty)$. The expected result is as follows:

$$f(x_i) = \sum k_j \delta_n(x_i, x_j) \quad (2)$$

where a coefficient of $k_j = 0$ or $k_j = 1$.

The first step

We set $\delta_0(x_i, x_j)$ for each maximum function value $f(x_i)$.

So we fill the row with $\delta_n(x_i, x_j)$ delta functions.

The second step is to find the coefficients k_j .

Find the coefficients k_j that correspond to the sum of the function $f(x) = EKG + y_0$ and the delta function $\sum k_j \delta_n(x_i, x_j)$.

$$S = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n k_j A e^{-\frac{(x_i - x_j)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

where: S is the sum of the delta functions.

The following verification is sufficient to find k_j .

$$|f(x_i) - S| \leq \epsilon \quad (4)$$

where $\epsilon = 0.01$ is the limit value.

Then $k = 0$ if the condition in formula (4) is satisfied, otherwise $k = 1 \vee k = -1$

[3][4][2].

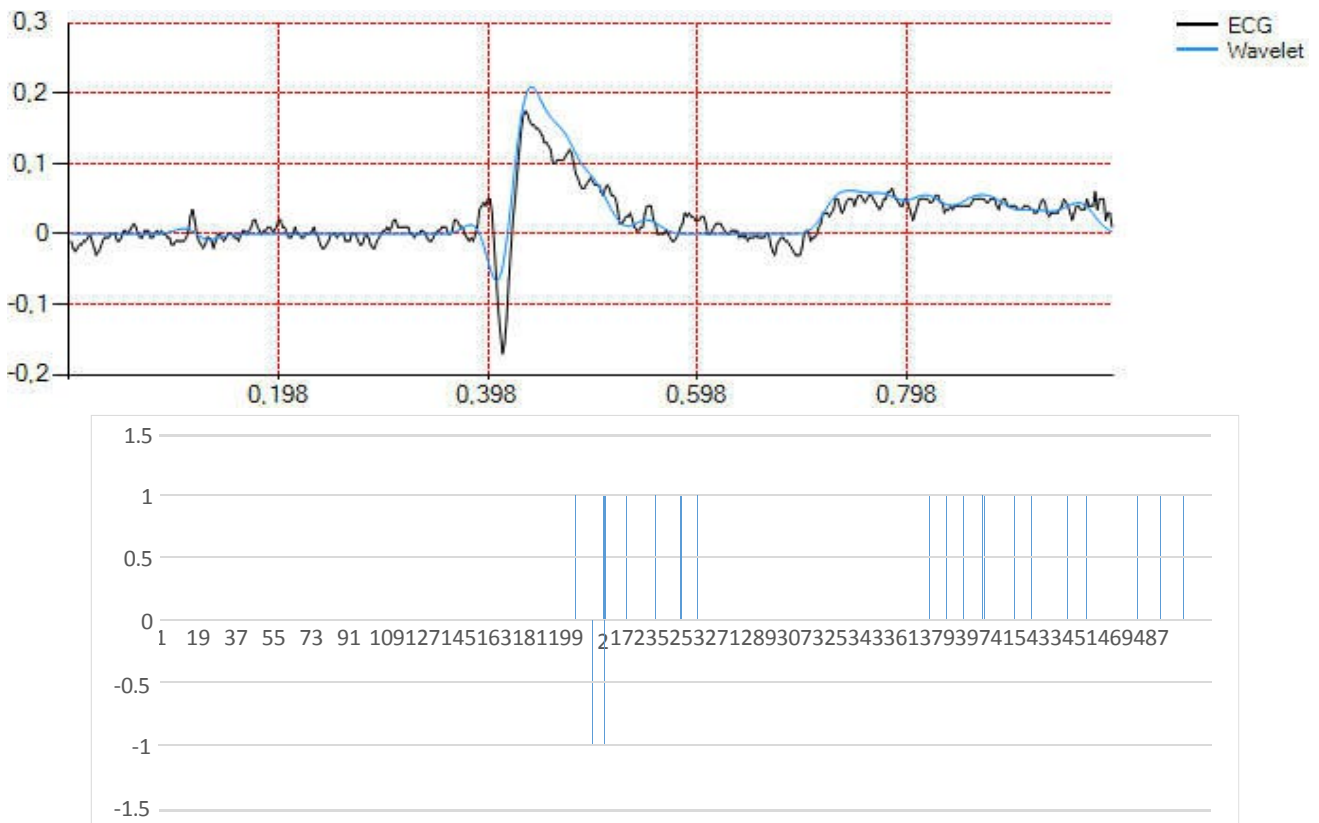


Figure 1. ECG and wavelet graph and coefficient diagram

Thus, the known coefficient (0, 1, -1) of the ECG signal for the sample graph is expressed as the sum of the delta functions.

Table 1 Parameters for each type of ECG signal

| EKG type | Y_0 | ε | Time interval | A | σ |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------|--------------------------|----------|----------------------------|
| I | 0.135 | 0.05 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| II | 0.105 | 0.05 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| III | 0.45 | 0.06 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| aVR | 0.58 | 0.07 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| aVF | 0.19 | 0.07 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| aVL | 0.1 | 0.05 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V1 | 0.575 | 0.08 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V2 | 1.55 | 1.45 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V3 | 0.71 | 0.23 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V4 | 0.5 | 0.25 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V5 | 0.44 | 0.15 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |
| V6 | 0.25 | 0.14 | 0.004 | 0.09 | 0.026 |

CONCLUSION

A new WDF method for ECG signals has been created. Using this method, the wavelet coefficients of the ECG signal were obtained in the form of 0, 1 and -1. With the help of this vector information, the level of detection of the difference between pathology and norm has been improved. A new method of processing ECG signals has been developed by converting graphical information into vectors. The new method created a barcode-like image. The patient was also offered a method of effective diagnosis using the obtained image.

With the help of coefficients, it was possible to more effectively see the invisible peaks in certain numbers on the ECG chart of diseases of the cardiovascular system. This allowed for early detection and accurate diagnosis of the disease. Our application settings are shown in Table 1.

References

1. Y. Xu, M. Luo, T. Li, and G. Song, "ECG signal De-noising and baseline wander correction based on CEEMDAN and wavelet threshold," *Sensors*, vol. 17, no. 12, 2017, doi: 10.3390/s17122754.
2. Н. Шарибоев, Ш. Джураев, and А. Жабборов, "Вейвлет - метод обработки кардиосигналов," *Autom. Softw. Enginery*, vol. 1, no. 31, pp. 37–41, 2020.
3. K. D. I. A.M.Jabbarov, N.Y.Sharibaev, "EKG SIGNALLARIGA MOS WAVELET MODEL KONSTRUKTSIYALARI UCHUN ALGORITMLAR ISHLAB CHIQISH," *Sci. Tech. J. NamIET*, vol. 5, no. 2, pp. 287–293, 2020, [Online]. Available: www.nammti.uz.
4. N. Y. Sharibayev and A. M. Jabborov, "Wavelet Analysis Of Cardiological Signs Received With The Atmega Processor System," *Solid State Technol.*, vol. 63, no. 6, pp. 11786–11797, 2020, [Online]. Available: <http://solidstatetechnology.us/index.php/JSST/article/view/6182>.

ДИАПАЗОН РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРИ СКАЛЯРНОМ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Александровский С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для обеспечения заданной производительности, качества выполнения производственных операций и остановки рабочего органа машины с требуемой точностью необходимо регулирование скорости электропривода механизмов. Электропривод механизмов, работающих с постоянным статическим моментом (например, грузоподъемные механизмы, механизмы передвижения грузов, лифты, механизмы подачи металлорежущих станков и т.д.), должен иметь высокую перегрузочную способность по моменту и поддержание постоянства максимального момента двигателя в широком диапазоне регулирования скорости. Для большинства механизмов циклического действия требуемый диапазон регулирования составляет 10:1, в более редких случаях до 50:1 (краны-штабелеры, скоростные лифты), а для металлорежущих станков – до 10000:1. Эти условия достигаются за счет поддержания магнитного потока (потокосцепления) на номинальном уровне с помощью различных систем управления [1].

К современным системам регулируемого электропривода, работающего с постоянным магнитным потоком и обеспечивающим заданное значение максимального момента, относятся асинхронные частотно-регулируемые короткозамкнутые двигатели с векторным управлением, электроприводы с вентильными двигателями постоянного и переменного тока. В настоящее время альтернативой указанным системам электропривода является применение синхронных электродвигателей (СД) с электромагнитным возбуждением или возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ) со скалярным частотным управлением. В этом случае применение самого простого закона частотного управления, т.е. $U/f = \text{const}$, который заложен во всех современных преобразователях частоты, позволяет поддерживать постоянный магнитный поток и необходимую величину максимального момента на всем диапазоне изменения частот (скоростей) и моментов сопротивления [2].

Диапазон регулирования скорости D определяется отношением максимальной и минимальной скорости СДПМ для установившегося режима работы.

В СДПМ при скалярном частотном управлении невозможно уменьшать магнитный поток, поэтому принимаем максимальную угловую скорость равной номинальной $\omega_{\text{ном}}$. Синхронный двигатель имеет астатические механические характеристики без применения регулятора

скорости. В этом случае $\omega_{ном}=\omega_{0ном}$ и $\omega_{мин}=\omega_{0мин}$. Но на минимальной синхронной скорости $\omega_{0мин}$ возможен наброс нагрузки, который вызовет динамическое падение скорости $\Delta\omega_{дин}$, величина которой обусловлена параметрами электропривода: моментом инерции J , «магнитной жесткостью» b угловой характеристики синхронного двигателя и модулем жесткости β пусковой (демпферной) характеристики для СД или кривой динамического момента для СДПМ.

Очевидно, что при набросе нагрузки на минимальной синхронной скорости необходимо иметь

$$\omega_{0мин} > \Delta\omega_{дин},$$

чтобы ротор двигателя не останавливался. Если это условие соблюдается и провал скорости приемлем по технологическим условиям, то наибольший диапазон частотного регулирования скорости синхронного двигателя будет определяться отношением

$$D = \frac{\omega_{0ном}}{\omega_{0мин}}.$$

Если переходной процесс при набросе нагрузки начинается с установившегося режима, то переходная характеристика скорости имеет следующее выражение [3]

$$\omega = \omega_0 - \frac{(\theta_c - \theta_{нач})\Omega_0^2}{\Omega_p} \exp(-\xi t) \sin(\Omega_p t).$$

$$\Delta\omega_{дин} = \omega - \omega_0 = \omega_0 - \frac{(\theta_c - \theta_{нач})\Omega_0^2}{\Omega_p} \exp(-\xi t) \sin(\Omega_p t) - \omega_0 = -\frac{(\theta_c - \theta_{нач})\Omega_0^2}{\Omega_p} \exp(-\xi t) \sin(\Omega_p t),$$

где θ_c – угол рассогласования в положении векторов магнитного поля статора и ротора при статическом моменте $\theta_c = \frac{M_c}{c}$; $\theta_{нач}$ – начальный угол рассогласования в момент приложения нагрузки M_c ; Ω_0 – собственная частота колебаний синхронного электропривода $\Omega_0 = \sqrt{\frac{b}{J}}$; Ω_p – резонансная частота; ξ – коэффициент затухания.

Очевидно, что максимальное значение динамического падения скорости не превышает значения

$$\Delta\omega_{дин,макс} \geq \frac{(\theta_c - \theta_{нач})\Omega_0^2}{\Omega_p},$$

что при заданных параметрах двигателя и механизма можно использовать для расчета максимального значения диапазона регулирования скорости.

1. Автоматизированный электропривод промышленных установок: учеб. пособие / под общ ред. Г.Б. Онищенко. М., 2001. – 520с.

2. Фираго Б. И. Теория электропривода / Б. И. Фираго, Л. Б. Павлячик – Минск: Техноперспектива, 2007. – 585с.

ФОРМИРОВАНИЕ СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ДЛИННОМЕРНЫХ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ МИКРОДУГОВЫМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

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

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Светопоглощающие покрытия применяются в электронно-оптических системах, в приборостроении для снижения рассеянного светового фона, а также при изготовлении приемников излучения, преобразователей солнечной энергии, устройств оптической обработки информации, которые изготавливаются, как правило, из алюминиевых и титановых сплавов. Такие покрытия обеспечивают ослабление фонового излучения.

Существующие в настоящее время методы получения светопоглощающих покрытий включают химические методы, анодное оксидирование с последующим окрашиванием в анилиновых красителях, электрохимическое осаждение, вакуумно-плазменную обработку, микродуговое оксидирование (МДО). Применяемые методы МДО, обеспечивают высокие прочностные и эксплуатационные характеристики светопоглощающих покрытий: высокую износостойкость, твердость, термостойкость, коррозионную стойкость, хорошую адгезию к основе. Однако, основной проблемой является создание на основе метода МДО таких покрытий на внутренних поверхностях длинномерных изделий и изделий сложной формы.

Для решения проблемы получения качественных покрытий на внутренних поверхностях разработаны новый метод и оборудование, основным компонентом которого является специальная электродно-гидравлическая система, которая позволяет создавать в зоне обработки необходимые электрические и гидравлические условия для успешного протекания микродугового плазменного процесса. Характеристики оборудования позволяют формировать светопоглощающие покрытия на поверхности образцов с возможностью управления их структурой и свойствами за счет изменения характеристик процесса МДО. Погружение электрода-инструмента в зону обработки осуществляется с помощью модуля перемещения, который приводится шаговым двигателем через винтовую передачу (рисунок 1). Диапазон регулирования скорости привода перемещения электрода-инструмента (от 0 до 146 мм/мин) для обработки внутренних поверхностей обеспечивает возможность точного управления временем воздействия на определенный участок обрабатываемой поверхности. Вид струи электролита, формируемой на выходе из электрода-инструмента при обработке внутренней поверхности образца, представлен на рисунке 2.



Рисунок 1 – Внешний вид оборудования для получения МДО покрытий на внутренних поверхностях трубчатых изделий

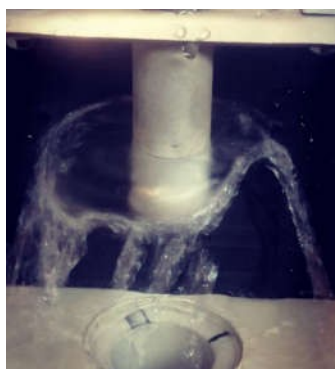


Рисунок 2 – Струя электролита, формируемая на выходе из электрода-инструмента

В качестве образцов использовались отрезки труб из алюминиевого сплава АМг2 $\varnothing 25 \times 1$ длиной 100 мм. Для исследования режимов МДО использовался базовый электролит на основе силиката натрия (Na_2SiO_3 – 1%) и гидроксида калия (КОН – 0,2%). Для получения светопоглощающих МДО покрытий в электролит добавлялись компоненты, обеспечивающие в условиях высокотемпературных плазменных процессов на обрабатываемой поверхности окрашивание оксидного слоя в темные цвета – молибдат натрия и ферроцианид калия.

МДО внутренних поверхностей образцов выполнялось в анодно-катодном режиме с бестоковой паузой при амплитуде анодного импульса до 520 В и катодного импульса до 200 В. В зависимости от режимов в результате обработки формировались покрытия с различными структурой и свойствами, которые отличались морфологией, твердостью, прочностью сцепления с подложкой, цветом. Установлено, что наиболее прочное и равномерное черное покрытие формируется при следующих электрических режимах: соотношение положительного и отрицательного импульсов – 3:1, амплитуда положительного импульса – 300–350 В, коэффициент заполнения положительного импульса – 25%.

УДК: 621.926.8

ВАРИАНТ АВТОМАТИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРО- И НАНОПОРОШКОВ

Бакаев А.Г., Шпарло Д.А.

ГНУ Физико-технический институт НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь

Быстрое получение микро- и нанопорошков в лабораторных условиях является важной задачей для разработки композитов на их основе. Наноразмерные порошки в составе композиций иногда существенно влияют на физические свойства материала и технологически необходимы.

Для получения радиоэкранирующих и радиопоглощающих материалов используются диэлектрики и композиционные материалы с наполнителями типа ферритов и стеклообразных металлов. Например, капсулированные порошки на основе чистого железа нашли широкое применение в изготовлении магнитомягких материалов [1].

При прессовании капсулированного порошка железа важно сохранить и не нарушить диэлектрическую оболочку. Например, при добавлении в состав парафиновой смазки наночастиц нитрида бора, можно не только снизить трение между частицами, но и оставить дополнительный диэлектрический слой после спекания изделия.

Ранее была разработана технология получения наноразмерных частиц нитрида бора методом размола в жидкости, которая отличается от подобных методов получения микро- и нанопорошков изотермическими условиями и низкими энергетическими затратами на работу устройства [2].

Процесс автоматизации основан на экспериментальных работах, проведённом на смесителе, так как при изотермическом процессе размола установлен факт уменьшения давления в размольной камере при увеличении удельной поверхности порошка.

Таким образом применение в размольной камере вакуумметра электроконтактного типа позволяет контролировать процесс размола частиц в жидкости.

1. Магнитомягкий порошок: пат. RU 2606970 / Чжоу Е., Перссон Х. – Оpubл. 10.01.2017.

2. Бакаев, А.Г. Радиопрозрачная армированная керамика, модифицированная наночастицами нитрида бора / А.Г. Бакаев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. научных трудов. В 2 кн. Кн. 1. Новые технологии и материалы /редкол.: В.Г. Залесский (гл. ред.) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2021. — С. 285-290.

ПРИМЕНЕНИЕ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ CATS В ПРОЦЕССЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»

Белова С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В наше время сложно переоценить важность и актуальность применения автоматизированных систем управления обучением (англ. Learning Management Systems, LMS) в ходе учебного процесса. Подобные системы позволяют реализовать дистанционное обучение, размещать различные учебные материалы, проводить контроль текущей успеваемости и оценку знаний студентов. Современной тенденцией в развитии LMS является интеллектуализация, которая позволит адаптировать уровень представления учебного материала к индивидуальным способностям и возможностям обучаемого.

На кафедре «Программное обеспечение информационных систем и технологий» факультета информационных технологий и робототехники Белорусского национального технического университета под руководством доцента Поповой Ю.Б. разработана собственная обучающая система CATS (англ., Care About The Students), размещенная в сети Интернет по адресу <http://educats.bntu.by>. Она успешно используется при изучении различных дисциплин не только студентами и преподавателями ФИТР, но и другими факультетами БНТУ.

В процесс преподавания дисциплины «Компьютерные системы и сети» система CATS внедрена с 2019 года для студентов очной и заочной формы обучения. В 2020 году она успешно применялась для организации дистанционного обучения. Дисциплина «Компьютерные системы и сети» изучается на 2 курсе. К этому моменту обычно все студенты уже зарегистрированы в обучающей системе и знают, как с помощью нее организуется учебный процесс.

Для начала работы в CATS преподаватель должен выбрать в основном меню пункт «Управление предметами», задать название предмета, указать нужные модули, а также прикрепить к предмету номера групп, которым будет читаться дисциплина. Для дисциплины «Компьютерные системы и сети» были выбраны следующие модули: новости, лекции, лабораторные работы, тестирование знаний, курсовое проектирование.

Модуль «Новости» используется для быстрого оповещения студентов всех групп, прикрепленных к дисциплине КСиС, о добавлении новых материалов по предмету, проведении тестирования, контроле выполнения индивидуальных заданий, допуске к экзамену и других актуальных событиях. В системе CATS также реализована индивидуальная возможность обмена сообщениями между студентом и преподавателем.

Модуль «Лекции» позволяет создавать список тем лекций и задавать количество часов, отведенных на изучение темы, формировать расписание проведения лекционных занятий, отмечать посещаемость занятий, прикреплять к лекциям требуемую информацию в виде презентаций, электронных книг и других текстовых, аудио- и видеоматериалов по теме лекции. По дисциплине КСиС список лекций включает 17 тем, общее время, отведенное на лекции – 52 часа, к каждой лекции прикреплены материалы для изучения.

В модуле «Лабораторные работы» создано 8 лабораторных работ по дисциплине, указано время, отведенное на выполнение каждой работы, сформирован график защиты, подгруппы студентов, ведутся журналы посещаемости и результатов защиты.

Один из наиболее важных модулей в обучающей системе CATS – это модуль «Тестирование знаний». Он предоставляет возможности как для проведения самотестирования в ходе изучения дисциплины, так и для оценки знаний студентов.

В настоящее время для контроля знаний по дисциплине КСиС создано 12 тестов по изучаемым темам, которые включают около 500 вопросов. Существует возможность задавать уровень сложности для каждого вопроса, время прохождения теста и форму ответа.

При изучении определенной темы из имеющихся вопросов формируются тесты для самообучения, которые студент может выполнять любое количество раз, совершенствуя свои знания.

Для защиты лабораторных работ, а также при изучении наиболее значимых тем курса используются тесты для контроля знаний.

Модуль «Тестирование знаний» применяется также при проведении экзаменов по дисциплине КСиС. Для этого формируется специальный экзаменационный тест по вариантам, включающий вопросы из разных тем, чтобы охватить весь курс.

Модуль «Курсовое проектирование» предоставляет удобные возможности для распределения тем курсовых проектов между студентами. По дисциплине КСиС создана база из 90 тем. Студент может выбрать понравившуюся тему, которая закрепляется за ним после подтверждения преподавателем. Создан шаблон листа задания на курсовой проект по КСиС, каждый семестр составляется график процентовки, ведется статистика посещения консультаций. Студент может отправить пояснительную записку на проверку и просмотреть замечания, сделанные преподавателем. После защиты курсового проекта пояснительные записки сохраняются в репозитории.

Таким образом, обучающая система CATS несколько лет успешно применяется в процессе преподавания дисциплины «Компьютерные системы и сети» как очно, так и дистанционно, удобна в использовании и включает полный набор функциональных возможностей для реализации учебного процесса.

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМИ РЕЖИМАМИ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЦЕНТРОБЕЖНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

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

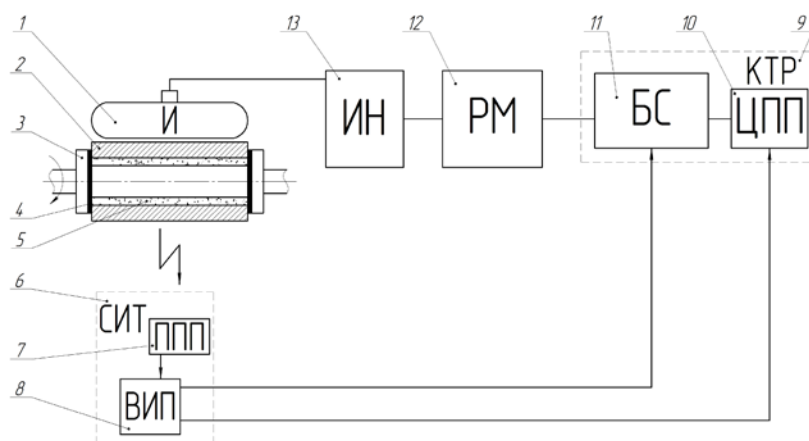
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь.

Основными недостатками известных системы контроля и управления технологическими режимами нагрева в процессе центробежной индукционной наплавки (ЦИН) [1] является невозможность обеспечения управления нестационарными температурными режимами индукционного нагрева, что приводит к снижению качества получаемых изделий с покрытиями.

Целью настоящей работы являлось создание автоматизированной системы контроля и управления нестационарными температурными режимами индукционного нагрева в процессе ЦИН для повышения качества изготавливаемых изделий, так как структура и физико-механические свойства покрытий существенно зависят от режимов нагрева.

Автоматизированная система контроля и управления нестационарными температурными режимами процесса ЦИН состоит из следующих составных частей (блоков) (см. рисунок 1): I) Индуктор И; II) Система измерения температуры СИТ, состоящая из первичного пирометрического преобразователя ППП и вторичного измерительного преобразователя ВИП; III) Контроллер температурных режимов, состоящий из цифрового преобразователя программатора ЦПП и блока согласования БС; IV) Регулятор мощности РМ; V) Источник нагрева ИН; VI) Обрабатываемая деталь.

Снабжение системы контроля и управления контроллером температурных режимов КТР и блоком согласования БС позволяет обеспечить оптимальное управление нестационарными температурными режимами индукционного нагрева для получения покрытий с высокими физико-механическими характеристиками и, как следствие, повысить качество изготавливаемых изделий. При этом соединение контроллера температурных режимов КТР и блока согласования БС между собой, а контроллера температурных режимов КТР с системой измерения температуры СИТ, позволяет получать исходные данные для расчета параметров оптимального режима нагрева. Соединение блока согласования БС с регулятором мощности РМ источника нагрева ИН обеспечивает преобразование параметров оптимального режима нагрева в приемлемую форму сигнала для управления мощностью источника нагрева ИН.



1 – индуктор И; 2 – заготовка; 3 – зажимные центры; 4 – антипригарные прокладки; 5 – наплавляемая порошковая шихта; 6 – система измерения температуры СИТ; 7 – первичный пирометрический преобразователь ППП; 8 – вторичный измерительный преобразователь ВИП; 9 – контроллер температурных режимов КТР; 10 – цифровой преобразователь программатора ЦПП; 11 – блок согласования БС; 12 – регулятор мощности РМ; 13 – источник нагрева ИН.

Рисунок 1 – Схема автоматизированной системы контроля и управления нестационарными температурными режимами процесса нанесения покрытий центробежным индукционным методом

Принцип работы автоматизированной системы контроля и управления нагревом. На контроллер температурных режимов КТР поступают сигналы напряжения обратной связи, соответствующие температуре детали со вторичного измерительного преобразователя ВИП системы измерения температуры СИТ. Контроллер температурных режимов КТР обрабатывает полученные сигналы, сравнивает их с заранее заданными значениями функции оптимального управления температурным режимом, и выдает оптимальный сигнал управления на вход блока согласования БС, который преобразует полученный сигнал в сигнал входной формы регулятора мощности РМ. Регулятор мощности РМ управляет работой источника нагрева ИН (генератора токов высокой частоты) и подает мощность на индуктор И, нагревающему деталь. После завершения процесса формирования покрытия центробежным методом отключают источник нагрева ИН (генератор токов высокой частоты), и охлаждают наплавленную деталь до кристаллизации покрытия, после чего отключают вращение. Затем наплавленную деталь с покрытием снимают и охлаждают на воздухе.

1. Белявин, К.Е. Инженерные методы расчета температурно-временных параметров в процессах центробежной индукционной наплавки покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.А. Курилёнок / Перспективные материалы и технологии : монография. В 2-х т. Т. 2 / под ред. чл.-корр. В.В. Рубаника. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019.

РАЗРАБОТКА КОРРЕКТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЯХ

Белявин К.Е., Шукин В.Я., Кожевникова Г.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Существующие критерии пластического разрушения материала подразделяется на энергетические, эмпирические и деформационные [1]. Энергетические критерии построены на предположении, что разрушение наступает после совершения для конкретного материала определенной работы. Недостаток энергетических критериев при оценке разрушения пластических материалов, к которым относится наш объект исследования (конструкционные машиностроительные стали) заключается в следующем: произведение главного растягивающего напряжения σ_1 или среднего напряжения σ/K на накопленные деформации не является по законам физики энергией, используемой на разрушение металла.

Таким образом, известные энергетические критерии разрушения пластических материалов не могут корректно описывать процесс разрушения по следующим причинам:

1. Они не корректны с точки зрения законов физики, так как не оценивают энергию, затрачиваемую на разрушение материала.

2. Критерии не работают в диапазоне, когда напряжения σ , σ_1 , σ/K приближается к нулю. В этом случае накопление деформации должны стремиться к бесконечности, что не соответствует действительности.

3. Ошибки расчетов по критериям могут превышать 200 %.

Эмпирические критерии разрушения строятся на базе экспериментального исследования зависимости разрушения от ряда факторов, влияющих на разрушение материала. В литературе приводятся различные эмпирические критерии разрушения при пластических деформациях, но при этом не оцениваются граничные условия их применимости.

Феноменологический деформационный критерий разрушения построен на положении, что разрушение металла происходит после того как накопленная в конкретном металле деформация достигнет предельной (критической) величины $\Lambda_{пр}$. В свою очередь эта предельная величина $\Lambda_{пр}$ зависит от многих параметров деформации. Феноменологические теории описывают наблюдаемые свойства объектов и не рассматривают внутренние механизмы их реализации. Феноменологический подход к явлению пластического разрушения металлов – это и не фундаментальная теория и не эксперимент, хотя он создается с участием эксперимента, и результаты не могут быть описаны научными теориями.

Существующие на нынешний момент, так называемые энергетические, теории таковыми не являются в связи с тем, что работа деформации в них представляется как произведение компонентов тензора напряжений на инвариант тензора деформации. По законам физики это не работа деформации, а некоторая эмпирическая величина. Согласно законам физики работа деформации – это один из инвариантов произведения тензора напряжений на тензор деформаций, так как напряжение и деформации это тензорные величины, а не их отдельные компоненты. Работа – это скалярная величина, поэтому ею могут быть не произведение тензоров, которая также является тензором, а может быть только его инвариант, так как инвариант – это скалярная величина.

В созданной нами энергетической теории [2] принято, что разрушение в металле наступает тогда, когда локальная работа деформации в материальной точке материала при движении вдоль линии тока достигнет предельного значения. Это предельное значение зависит от напряжённого состояния, температуры и скорости деформации, вида деформации.

Энергия внешних сил затрачивается на работу внутренних сил в очаге деформации: формоизменение формируемой заготовки; генерирование в теле заготовки тепла от её деформации; изменения фазового состояния металла с генерированием или поглощением тепла; сварка дефектов металла в виде полостей и микротрещин; уменьшение размеров зерен металла; собственно процесса разрушения металла. Необходимо из всей локальной работы деформации исключить ее части, направленные на формоизменение, генерирование тепла, уменьшение размеров зерен и создание их новых границ. Для применения критерия разрушения необходимо количественно определить составляющие локальной работы деформации, не участвующие в процессе разрушения.

При расчёте работы формоизменения применено решение Хилла, согласно которому минимальная работа формоизменения металла наблюдается при растяжении цилиндрического образца без образования шейки. Разница между полной локальной работой деформации и её частей для формоизменения, генерации тепла, измельчения зерен и будет локальная работа деформации по разрушению металла.

1. Кожевникова, Г.В. Пластические свойства металлов и сплавов: феноменологическая деформационная теория разрушения при пластическом течении / Г.В. Кожевникова, В.Я. Щукин. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 277 с.

2. Разработка методов прогнозирования эксплуатационных свойств деталей машин из конструкционных сталей, изготовленных с применением процессов обработки давлением: Отчет о НИР (промеж.) / Белорусский национальный технический университет; Рук. К.Е. Белявин. – № ГР 20212543. – Минск, 2021. – 39 с.

**ПРОГРАММНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗМЕРНОЙ НАСТРОЙКИ
ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
НА СТАНКАХ С ЧПУ**

Беляков Н.В.¹, Попок Н.Н.²

- 1). УО «Витебский государственный технологический университет»
Витебск, Республика Беларусь
- 2). УО «Полоцкий государственный университет»
Новополоцк, Республика Беларусь

При программировании станков с ЧПУ фрезерной группы важной задачей является определение положения систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания, а также величин врезания фрезы. От взаимного расположения указанных систем координат зависит основное (машинное) время и, как следствие, затраты на обработку. Во время врезания в заготовку фреза испытывает динамические ударные нагрузки, что существенно влияет на качество обработанной поверхности и эксплуатационные свойства инструмента. Поэтому производители инструментов в каталогах фрез и онлайн-калькуляторах режимов резания рекомендуют их различные значения для врезания и устойчивого процесса резания.

Анализ литературных источников и опыт работы технологических бюро машиностроительных предприятий показывает, что программирование станков с ЧПУ осуществляется вручную (программа набирается на компьютере в текстовом редакторе и переносится на станок), на стойке с ЧПУ (ввод с клавиатуры) и с помощью САМ-систем

Эти системы работают с трехмерными моделями деталей, разработанными в соответствующих графических редакторах. При разработке управляющих программ для торцового фрезерования плоских поверхностей после ввода исходных данных (конструктивные элементы, инструменты и др.) системы, как правило, либо предлагают пользователю в графическом или (и) диалоговом режиме определить начальное и конечное положение фрезы с возможностью проверки аварийных ситуаций, либо выставляют ось вращения фрезы в начало конструктивного элемент. При использовании стандартных циклов (CYCLE71, CYCLE72 и т.д.) также не учитываются геометрические параметры пластин, пользователи сами задают начальные и конечные положение фрезы и величины врезания.

Таким образом, указанные системы и известные методики программирования не позволяют в автоматическом режиме определять рациональные положения систем координат заготовки и инструмента в начальной и конечной точках траекторий резания для обеспечения минимальных рабочих ходов с учетом форм современных твердосплавных

пластин, а также величины врезания фрез. Не дают такой возможности и онлайн-калькуляторы режимов резания. В справочной и учебной литературе лишь приводятся рекомендации по определению основного времени для некоторых вариантов врезания фрез.

Поэтому целью работы является разработка программно-вычислительного комплекса для определения минимальных величин врезания и перебегов торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента, а также основного времени для программирования обработки плоских поверхностей на станках с ЧПУ.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи: 1. разработаны общие модели для определения затрат основного (машинного) времени в зависимости от характера поверхности врезания заготовки, симметричности расположения фрезы относительно заготовки, траекторий её движения и формы твердосплавной пластины; 2. составлены расчетные схемы и математические модели определения минимальных величин врезания и перебега торцевых фрез, координат начального и конечного положения инструмента; 3. разработан алгоритм функционирования и общая структура программно-вычислительного комплекса; 4. разработано программное обеспечение реализации моделей, проведена его комплексная отладка и предварительные испытания, а также разработаны программные документы.

При работе с программным обеспечением пользователь последовательно вводит информацию о геометрических параметрах заготовки на входе и выходе инструмента, смещении фрезы относительно плоскости симметрии, припусках и режимах резания, геометрических параметрах твердосплавных пластин и фрезы в целом, а результатом работы являются координаты начального и конечного положения фрезы, величины врезания, рабочих ходов и основное (машинное) время обработки на участках врезания и устойчивого резания фрезы

Программно-вычислительный комплекс прошел опытную эксплуатацию в учебном процессе ВГТУ и ПГУ. Его использование позволяет: снизить затраты на обработку плоских поверхностей торцовыми фрезами из-за сокращения основного (машинного) времени за счет минимизации величин рабочих ходов фрез; повысить срок службы и период стойкости фрезы за счет назначения рекомендованных производителями инструмента щадящих режимов резания на участке динамических нагрузок при врезании фрезы; улучшить показатели качества поверхности на участке врезания инструмента.

Разработки могут использоваться в проектных бюро машиностроительных предприятий при размерной настройке универсальных фрезерных станков и проектировании их наладок, разработке управляющих программ для станков с ЧПУ фрезерной группы; в организациях специализирующихся на разработке систем автоматизированного проектирования.

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ МОМЕНТОВ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ С ТОРМОЗНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Брель В.В.

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

В 50 - 60 гг. прошлого столетия получили широкое распространение асинхронные двигатели (АД) с электромеханическим тормозом. Причина распространения - дешевизна и простота конструкции тормоза, а также наиболее быстрое торможение по сравнению с другими способами торможения [1, 2].

Существенным недостатком работы АД с электромеханическим тормозом, при частых пуско-тормозных режимах, является периодический износ фрикционных накладок и необходимость частой их замены. Решением данной проблемы является использование АД с встраиваемым комбинированным тормозным устройством (АД с ВКТУ) [3].

АД с ВКТУ содержит асинхронный двигатель, электромеханический нормально-замкнутый тормоз, электромагнитную муфту скольжения и схему управления.

К основным достоинствам конструкции АД с ВКТУ следует отнести:

Малый износ фрикционных накладок тормоза за счет того, что механическое торможение происходит на пониженной скорости (допустимое число торможений обратно пропорционально квадрату изменения частоты вращения ротора в начале торможения [1]).

Плавность торможения за счет использования электромагнитной муфты скольжения, обладающей мягкой тормозной характеристикой.

Возможность встраивания конструкции в базовый асинхронный двигатель (со стороны вентилятора).

Для большинства промышленных электроприводов малой и средней мощности с частыми пуско-тормозными режимами можно использовать АД с ВКТУ. Данная конструкция является простой, дешевой и надежной при этом в ней сочетаются такие преимущества, как повышенная износостойкость и плавность процесса торможения.

Чтобы определить эффективность использования АД с ВКТУ в промышленности, необходимо сравнить различные способы торможения электроприводов по их тормозным показателям: времени торможения и пути торможения. Сравнение целесообразно производить для электроприводов с частыми пуско-тормозными режимами, использующих динамическое торможение АД с ФР (фазным ротором), АД с КР (короткозамкнутым ротором), при механическом торможении АД [4] и для АД с ВКТУ.

Расчет времени и пути торможения электроприводов производился по математической модели полученной в [5]. Исследования проводились при различном моменте инерции электропривода и различной нагрузке на валу.

При торможении АД с ВКТУ помимо времени и пути торможения важным параметром является уменьшенный износ фрикционных накладок, что влияет на длительность бесперебойной работы электропривода. Торможение на пониженной скорости существенно уменьшает износ фрикционных накладок электромеханического тормоза.

Из выше сказанного следует, что необходимо проанализировать и выбрать оптимальное значение $\omega_{\text{вкл}}$ (скорость в момент включения электромеханического тормоза), при которой обеспечивается быстрая и точная остановка электропривода, а также имеет место пониженный износ и обеспечивается плавность торможения в АД с ВКТУ.

Автор делает вывод, что для большинства электроприводов с частыми пуско-тормозными режимами тормозные показатели АД с ВКТУ являются допустимыми при $\omega_{\text{вкл}} = (0,6 \div 0,7) \cdot \omega_{\text{ном}}$. АД с ВКТУ является альтернативой широко распространенного динамического торможения в АД с ФР и АД с КР малой и средней мощности, при чем там, где используется динамическое торможение АД с КР, существенно лучше использовать АД с ВКТУ. Экспериментальные исследования подтвердили правильность полученных математических моделей и выявленных закономерностей.

1. Александров М.П., Лысяков А.Г. Тормозные устройства. – М.: Машиностроение, 1985. – 312 с.

2. Молчанов Ю.М., Электродвигатели со встроенным электромагнитным тормозом. – М.: ИНФОРМЭЛЕКТРО, 1969. – 61 с.

3. Соленков В.В., Брель В.В. Асинхронный электродвигатель со встроенным комбинированным тормозным устройством на базе электромеханического тормоза и электромагнитной муфты. // «Энергетика: Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ» Минск, БНТУ, 2011 № 6. с. 20-26.

4. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

5. Соленков В.В., Брель В.В. Математическая модель АД с встраиваемым комбинированным тормозным устройством // «Энергетика: Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ» Минск, БНТУ, 2013 № 6. с. 24-31.

МОДУЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВРЕМЕННОГО РЯДА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

Буштрук Т.Н.¹, Буштрук А.А.²

1). Самарский государственный университет путей сообщения
Самара, Российская Федерация

2). Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики
Саров, Российская Федерация

Обоснованные управленческие решения, направленные на обеспечение заданного функционирования технологического процесса, основываются на достоверной информации о модели объекта. Модуль идентификации временных рядов, встроенный в контур системы управления, позволяет решить эту задачу [1-3, 5, 6]. На основе полученных достоверных моделей строятся долгосрочные, краткосрочные прогнозы изменений текущих параметров и алгоритмы управления. Примеры использования алгоритмов моделирования временных последовательностей различных производственных потоков для получения опорной модели технологического процесса даны в [2, 4, 6].

Для процедур идентификации разработана измерительно-вычислительная схема получения взаимных корреляционных функций для выбранных отрезков временного ряда [2, 5, 6]. Структура и параметры чётного полосового фильтра в корреляционно-спектральном анализаторе выбираются такими, чтобы его импульсная переходная характеристика

(ИПХ) имела вид: $h_{\phi i}(t) = k_{\phi i} \left\{ \exp(-|t|/T_i) \cos \omega_0^{(i)} t \right\} / T_i$, где $\omega_0^{(i)}$ –

центральные частоты настройки фильтров, $k_{\phi i}$ – масштабные коэффициенты, T_i – постоянные времени.

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \int_0^\infty \dots \int_0^\infty h_{\phi\phi}(\theta_1; \Delta t_\alpha) h_{\phi\phi}(\theta_2; \Delta t_\beta) h_{\phi 2}(\mu_\alpha) h_{\phi 1}(\mu_\beta) \times \\ \times R_{xx}(\tau_2 - \tau_1 + \theta_2 - \theta_1 + \mu_\alpha - \mu_\beta) d\mu_\alpha d\mu_\beta d\theta_1 d\theta_2.$$

В полученные выражения входят (ИПХ) формирующего фильтра – опорной модели временного ряда и ИПХ полосовых фильтров в структуре корреляционно-спектрального анализатора [4, 5]. Дальнейшее преобразование выражения дает:

$$R_{Z_2 Z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\phi\phi}^{(\beta)}(\omega^{(2)}) K_{\phi\phi}^{(\alpha)}(\omega^{(1)}) \int_0^\infty \cos(\omega^{(1)} \mu) d\mu \times \\ \times \int_{-\infty}^\infty e^{j\omega(\tau_2 - \tau_1 - \mu - \beta)} e^{-j\Psi^{(\beta)}(\omega^{(2)})} e^{-j\Psi^{(\alpha)}(\omega)} \left\{ \frac{1}{2} \delta(\omega - \omega^{(2)}) + \frac{1}{2} \delta(\omega + \omega^{(2)}) \right\} d\omega.$$

Полученные интегральные уравнения вычисляются на основе теоремы Бореля о свертке и фильтрующем свойстве δ -функции

$$R_{z_2 z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)}) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0^{(2)}) \times \\ \times \cos \left\{ \omega_0^{(1)} (\tau_2 - \tau_1) + \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0^{(2)}) / \omega_0^{(2)} - \Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0^{(2)}) / \omega_0^{(2)} \right\} \times \\ \times \left\{ \frac{1}{2} \delta(\omega_0^{(1)} - \omega_0^{(2)}) + \frac{1}{2} \delta(\omega_0^{(1)} + \omega_0^{(2)}) \right\}.$$

При выводе последних формул учитывалось свойство Эрмитовой симметрии для δ -функций от частотных аргументов.

$$R_{z_2 z_1}(\tau_2 - \tau_1) = \sigma^2 K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \times \\ \times \cos \left\{ \omega_0 (\tau_2 - \tau_1) + \Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega_0) - \Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega_0) \right\}.$$

В конечные выражения для взаимных корреляционных функций, полученных по измерительной схеме, входят модули комплексных передаточных функций $K_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega)$, $K_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega)$ и фазовые характеристики

формирующего фильтра $\Psi_{\text{фф}}^{(\alpha)}(\omega)$, $\Psi_{\text{фф}}^{(\beta)}(\omega)$. При идентификации определяется модель исследуемой временной последовательности и ее формирование. Алгоритмы и критерии идентификации приведены в [1, 2, 6]. С помощью критериев приведенных в [2, 6] можно осуществить идентификацию параметров формирующего фильтра и строить прогнозы.

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. Буштрук Т. Н., Буштрук А. Д. Методы идентификации объектов и процессов. М-во тр-та РФ; Самарская гос. акад. путей сообщ. – Самара: СамГАПС, - 2005. 150 с

3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 Пер. с англ. М.: Мир, 1974.

4. Буштрук Т. Н., Царыгин М. В., Кленюшин Д. С. Компьютерный обучающий комплекс для персонала предприятий вагонного хозяйства с модулем идентификации и прогнозирования временных рядов// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. телекоммуникации. управление. 2015. № 4(224). С. 105-113.

5. 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.

6. 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.: ил.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА DEFORM-3D ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕОМЕТРИИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО СОЕДИНЕНИЯ

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

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современную научную, научно-техническую и производственную деятельность невозможно представить без систем автоматизированного проектирования (САПР), к которым относятся и средства инженерного анализа — САЕ-системы.

САЕ-системы — это программные продукты, позволяющие выполнять широкий спектр инженерных расчетов, проводить симуляции функционирования проектируемых систем, изделий и процессов, производить проверку разрабатываемых систем на работоспособность, определять рабочие характеристики изделий до их изготовления и испытаний, производить оптимизацию этих характеристик. В основу расчетной части большинства САЕ-систем положены численные методы решения дифференциальных уравнений: метод конечных объемов, метод конечных разностей, метод конечных элементов и т.д.

Использование таких САЕ-систем становится особенно актуальным при разработке и анализе процессов изготовления биметаллических изделий.

К числу таких САЕ-систем относится и специализированный программный комплекс DEFORM-3D, позволяющий моделировать практически любые процессы, связанные с обработкой металлов давлением.

В процессе разработки биметаллических изделий, немаловажную роль играет анализ биметаллического соединения, получаемого в результате совместного пластического течения двух металлов. Важным элементом биметаллического соединения является его геометрия, влияющая, в некоторой степени, на долговечность соединения.

Встроенная функция «Point Tracking» (Отслеживание Точки) программного комплекса DEFORM-3D позволяет отслеживать изменение формы объема материала, ограниченного заданным количеством точек и подвергнутого деформации.

В качестве примера используем возможности функции «Point Tracking» для моделирования геометрии биметаллического соединения при выдавливании биметаллических дорожных резцов.

Для этого на заготовке (в плоскости симметрии заготовки) необходимо с помощью массива точек создать начальную геометрию, характеризующую взаимное расположение двух частей составной

заготовки до начала деформирования. Причем, количество создаваемых точек будет зависеть от необходимой точности расчета (рисунок 1).

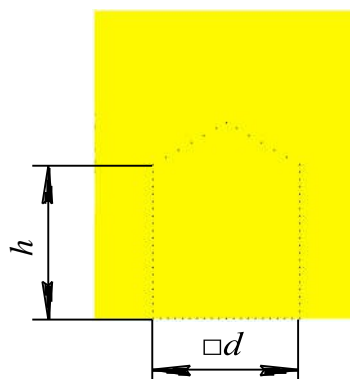
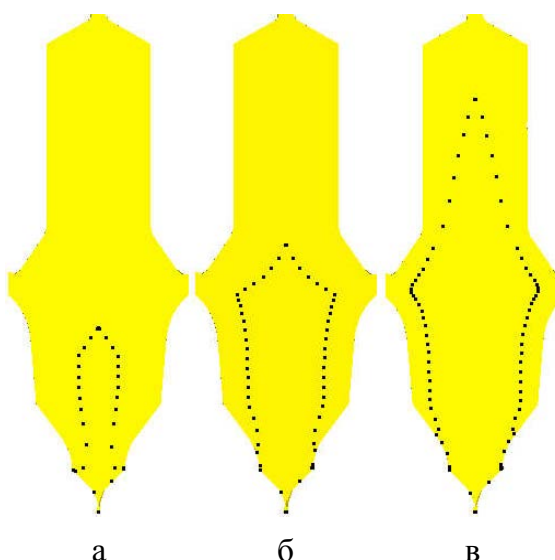


Рисунок 1 – Массив точек, имитирующий взаимное расположение частей составной заготовки до начала деформирования

В результате моделирования, по окончании процесса выдавливания, массив точек, имитирующий геометрию биметаллического соединения продеформированной составной заготовки, имеет вид, представленный на рисунке 2.



а – $d = 10$ мм, $h = 10$ мм; б – $d = 21$ мм, $h = 17$ мм; в – $d = 25$ мм, $h = 25$ мм

Рисунок 2 – Массив точек, имитирующий взаимное расположение частей составной заготовки после деформирования

Как видно из рисунка 2 использование функции «Point Tracking» позволяет не только симитировать, с получением вполне достоверной картины формирования геометрии биметаллического соединения, но также провести анализ полученного соединения с возможностью выявления характерных особенностей на каждом этапе процесса выдавливания.

УЛУЧШЕНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Васильев С. В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Уровень шума зависит от конструкции асинхронного двигателя (АД), числа пар полюсов и скорости вращения ротора электродвигателя. Шум может быть вызван вращающимся вентилятором, который увеличивается с частотой вращения двигателя и становится доминирующим для 2-х и 4-х полюсных двигателей уже при частоте 50Гц. Если частота вращения в дальнейшем увеличится, то и уровень шума будет выше. Увеличение уровня шума может быть вычислено следующим образом

$$\Delta L = 60 \log \frac{n_2}{n_1},$$

где ΔL –увеличение уровня звукового давления при увеличении скорости вращения с n_1 до n_2 [1].

При оценке возрастания уровня шума при работе АД, вызванного питанием от преобразователя частоты (ПЧ), следует учитывать, что на излучение шума электромагнитного происхождения влияют две составляющие:

- шумы, порождаемые напряжениями и токами базовой частоты, идентичные шуму при синусоидальном питании;
- дополнительные шумы, вызванные напряжениями и токами других частот.

В основном два фактора влияют на увеличение дополнительных шумов:

- а) спектр частот на выходе преобразователя;
- б) резонансные частоты АД для режимов вибрации, вызванные гармониками[2].

Увеличение уровня шума АД, при питании от ПЧ, по сравнению с питанием от сети с синусоидальным напряжением является относительно небольшим, если частота переключения ПЧ выше 3 кГц. Для низкочастотных ПЧ, увеличение уровня шума может быть значительным и достигать 15 дБ.

Основными показателями качества электромеханического преобразования можно считать следующие характеристики[1]:

- коэффициенты гармонических составляющих электромагнитного момента электродвигателя;
- колебание электромагнитного момента;
- колебание частоты вращения;
- вибрацию электродвигателя и другие.

Основными факторами, влияющими на качество электромеханического преобразования в АД, являются гармонические составляющие напряжения, тока и несимметрия напряжения.

Взаимодействия между высокочастотными гармониками тока и магнитным потоком АД, приводящее к появлению вращающихся и тормозящих моментов, вызывают механическую вибрацию и повышение общего уровня шума двигателя. Также, значительная вибрация возникает при работе АД вблизи резонансных частот.

В регулируемых электроприводах (РЭП) к обмоткам АД подводится несинусоидальное напряжение. Известны частотные электроприводы с АД, имеющими две трёхфазные обмотки, смещенные в расточке статора друг относительно друга на некоторый угол θ . Каждая обмотка питается от ПЧ, причём две трёхфазные системы напряжений, подаваемые на обмотки АД, также сдвинуты во времени на некоторый угол γ . При равенстве модулей этих углов будет минимальное значение коэффициента нелинейного искажения намагничивающей силы статора и максимальное использование габаритной мощности АД. В кривой МДС такой шестифазной обмотки АД полностью устраняются наиболее вредные пятая и седьмая гармоники, что уменьшает шум и вибрацию двигателя.

Механические резонансы возникают при совпадении собственной частоты резонанса с частотой внешних воздействий. Помимо того, что современные РЭП начинают регулирование практически от 0,5 Гц, они сами могут выбирать шаг регулирования частоты, не учитывая при этом резонансные частоты механической системы объекта регулирования.

В связи с массовым внедрением РЭП частота питающего напряжения, подаваемого на АД стала изменяться от 1 до 300 Гц. В этом случае механические системы установок гарантировано попадают в зоны нечувствительной работы.

При оснащении РЭП промышленных установок следует анализировать возможность возникновения косвенных резонансов от воздействий на приводы.

Наиболее приемлемым вариантом защиты промышленных установок от механических резонансов при внедрении РЭП является установка датчиков виброконтроля и подключение выходов последних ко входам обратной связи РЭП [3].

1. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода. - М.: СОЛОН-Пресс, 2015.

2. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИЕС 60034-9-2014. Машины электрические вращающиеся. Часть 9. Пределы шума.

3. Жук В.Н. Проблемы резонансных явлений при применении регулируемых частотных приводов. – Журнал «Новости теплоснабжения», №6(190) 2016.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гируцкий И.И.

Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства не в малой степени связано с использованием «информационного ресурса», компьютеризацией и роботизацией технологических процессов и установок [1]. Для их реализации идёт внедрение новых информационных технологий управления. Сельскохозяйственное производство распределено в пространстве и времени, включает биологическую составляющую. Причем с одной стороны, технологические процессы достаточно инерционны, с другой стороны, отключение, например, системы микроклимата на 2..3 часа может привести к серьезным негативным последствиям, вплоть до гибели животных или растений. Круглосуточный характер производства делает особо актуальным развитие безлюдных роботизированных технологий с интеллектуальными алгоритмами управления.

Так, внедрение современных инфокоммуникационных технологий управления, позволяющих исключить обязательное присутствие оператора, дает трех- и более кратное снижение энергозатрат на раздачу корма на свиноводческих комплексах. При этом сокращается металлоемкость технологического оборудования. Подобный результат наблюдается и при эксплуатации доильных роботов. Возможность круглосуточного доения коров в два и более раз снижает необходимое число доильных мест по сравнению с доильными залами. Кроме того, возможность доения коров с более длительными интервалами между доениями положительно сказывается и на их продуктивности [2]. Компьютеризация систем микроклимата картофелехранилищ позволяет эффективно использовать охлаждение в ночное время без присутствия оператора.

Но роботизация требует также создания интеллектуальных средств диагностики состояния животных и оборудования, алгоритмов предотвращения аварийных отказов оборудования и оперативного выявления заболеваний животных и растений.

1. 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.

2. Сеньков, А. Г. Математическая модель накопления молока в вымени коровы..... / А. Г. Сеньков, И. И. Гируцкий, А. Б. Грищенко // Системный анализ и прикладная информатика, 2019 (1).- с.9-12.

ФУНКЦИИ И ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПС 110 КВ

Гутич И.И., Давыдович Е.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизированная система контроля и учета электрической энергии (АСКУЭ) ПС 110/10 кВ предназначена для измерения, сбора, обработки, накопления, отображения, документирования и распределения достоверной, защищенной информации о перетоках электрической энергии (ЭЭ) и мощности по электрическим присоединениям; измерения режимных параметров электрической сети; контроля достоверности данных учета ЭЭ; контроля баланса ЭЭ и мощности по энергообъекту, по каждому классу номинального напряжения, по отдельным шинам и секциям; ведения архивов измеренных величин ЭЭ и мощности, данных учета с заданной дискретностью; обработки данных энергоучета и формирования отчетов; предоставления информации энергоучета заинтересованным сторонам; контроля и диагностики технического состояния элементов АСКУЭ; получения достоверной информации об усредненных значениях мощности в заданных временных интервалах; получения достоверной информации о параметрах качества передаваемой и принимаемой электрической энергии.

В процессе работы АСКУЭ, выполняемые функции распределены между уровнями. На уровне учета электроэнергии выполняется автоматическая регистрация с записью в память данных учета по каждой точке учета (приращения активной и реактивной ЭЭ в обоих направлениях в целом и с разбивкой по тарифным зонам (за сутки, месяц, год, всего); накопленная активная и реактивная ЭЭ обоих направлений в целом и с разбивкой по тарифам (на начало суток, на начало месяца, на начало года, за определенный период); срезы (графики срезов) активных и реактивных энергий и мощности обоих направлений за определенный период времени; трехминутные и получасовые значения усредненной активной и реактивной мощностей в обоих направлениях в целом и с разбивкой по тарифным зонам; текущие параметры электрической сети по 3 фазам (напряжения, токи, коэффициенты мощности, частота сети, мгновенные значения активной и реактивной мощности, данные архивов событий приборов учета); всю измеряемую и хранящуюся в приборах учета информацию.

На уровне устройств сбора и передачи данных выполняются сбор и хранение информации со счетчиков (результаты измерений, служебная информация); автоматическая самодиагностика устройств сбора и передачи данных с занесением в журнал событий; автоматическая синхронизация собственного времени от источника точного времени.

Для выполнения вышеперечисленных функций осуществляется следующее:

- измерение и преобразование в цифровой вид вторичных токов с трансформаторов тока (ТТ) (вторичные токи пропорциональны первичным токам присоединения согласно с коэффициентами трансформации); вторичных напряжений с трансформаторов напряжения (ТН) (вторичные напряжения пропорциональны первичным напряжениям на самом присоединении, либо на секции шин, питающей это присоединение;
- вычисление необходимых параметров с сохранением информации в памяти счетчиков электрической энергии (СЭ);
- самодиагностика счетчиков электрической энергии и ведение журнала событий с фиксацией несанкционированного доступа; факты связи со счетчиком, повлиявшие на изменения данных; изменение значений времени и даты при синхронизации времени; отклонения тока и напряжения в измерительных цепях от заданных пределов; отсутствие напряжения при наличии тока в измерительных цепях; перерывы питания;
- каждые 3 минуты устройство сбора и передачи данных производит опрос цифровых счетчиков электрической энергии, производится расчет приращений активной и реактивной электрической энергии;
- в устройстве сбора и передачи данных ведется хранение (не менее 3 месяцев при 3 мин периоде опроса) данных со всех измерительных каналов точек учета;
- в устройстве сбора и передачи данных ведется журнал событий, в котором сохраняются ввод расчётных коэффициентов измерительных каналов (коэффициентов трансформации измерительных ТТ и ТН); ввод/изменение групп измерительных каналов учёта ЭЭ для расчёта значений ЭЭ по группам точек измерений; установка текущих значений времени и даты; попытки несанкционированного доступа; связи с устройством сбора и передачи данных, приведшие к каким-либо изменениям данных; перезапуски устройства сбора и передачи данных (при пропадании напряжения, закливании); изменение текущих значений времени и даты при синхронизации времени; отключение питания.
- данные из устройства сбора и передачи данных передаются на сервера центра сбора и обработки данных АСКУЭ.

1. СТП 09110.35.126-09 «Технические требования к проектированию региональных АСКУЭ».

2. Электронный учебно-методический комплекс по учебной дисциплине "Автоматизированные системы контроля и учета энергопотребления" для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств" / Министерство образования Республики Беларусь, БНТУ, Кафедра "Робототехнические системы"; И. И. Гутич. –Минск: БНТУ, 2021.

OPEN DYNAMICS ENGINE (ODE) – ОТКРЫТАЯ БИБЛИОТЕКА ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ДИНАМИКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Дербан А.Н.¹, Бусько А.М.²

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

ODE представляет собой открытую библиотеку промышленного уровня, позволяющую визуализировать движения твердых тел с учетом их динамических характеристик. Это высокопроизводительный, гибкий и надежный инструмент для симуляции движущихся объектов в виртуальной среде с учетом контроля коллизий.

Рассматриваемая библиотека активно используется во множестве программных продуктов, связанных с 3D моделированием, САПР, робототехникой, а также игровой индустрией. ODE распространяется на основе наиболее свободной лицензии BSD (Berkeley Software Distribution), позволяющей использовать этот открытый программный продукт практически без ограничений в том числе в рамках закрытых коммерческих решений.

По аналогии с большинством аналогичных продуктов ODE основан на собственном наборе стандартных функций и интерфейсов (API - Application Programming Interface), который позволяет реализовать симуляцию не только твердых и гибких тел, но различных механических сочленений, контактных взаимодействий, а также выявления коллизий.

Возможности ODE очень широко используются, прежде всего, в области робототехники. Прототипизация, моделирование, биомеханика, обучение операторов, а также исследования возможных вариантов реализации механики роботов представляют собой неполный перечень наиболее популярных применений рассматриваемой библиотеки.

ODE является ядром, которое используется по умолчанию в наиболее популярной открытой программной среде моделирования робототехнических систем – Gazebo. Благодаря открытой модели разработки и распространения проект Gazebo использует собственную версию ODE, которая основана на ответвлении от основной ветки, что в большей степени соответствует потребностям робототехнического симулятора на современном этапе его развития.

На основе специальных программных модулей продукты Gazebo могут интегрироваться со средой ROS (Robot Operating System), которая представляет собой наиболее широко используемую открытую среду для реализации проектов в области робототехники по всему миру.

1. Сайт ODE [Электронный ресурс] - <http://www.ode.org/>
2. Сайт Gazebo [Электронный ресурс] - <https://www.gazebosim.org>

РАЗРАБОТКА КЛИНОВОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ ПРОКАТЫВАЕМОГО МЕТАЛЛА

Дубенец С.С.

Белорусский национальный технический университет;
Минск, Республика Беларусь

Задача повышения ресурса пластичности изделий, получаемых методом поперечно-клиновой прокатки, решается за счет оптимизации параметров прокатки: уменьшения угла заострения β клинового инструмента, увеличения угла наклона боковой грани α инструмента, оптимизации температуры нагрева заготовки, оптимизации степени обжатия при прокатке [1]. Предложен способ [2], который так же позволяет оптимизировать параметры прокатки аналогичным образом, и дополнительно к этому увеличить ресурс пластичности за счет действий, предусмотренных при реализации предложенного способа поперечно-клиновой прокатки. Этот способ может быть реализован при холодной, теплой, горячей поперечно-клиновых прокатках, а также их способах: реверсивной поперечно-клиновой прокатке и поперечно-клиновой прокатки одним инструментом.

Для исследования ресурса пластичности изделий был разработан технологический процесс прокатки поковки «Ось» (рисунок 1) и инструмент поперечно-клиновой прокатки (рисунок 3).

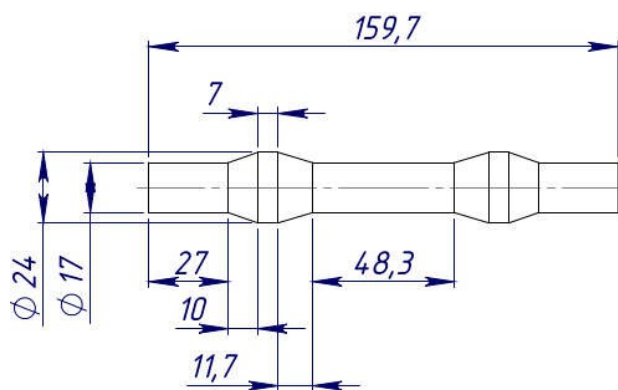


Рисунок 1 – Прокатанная поковка
типа «Ось»

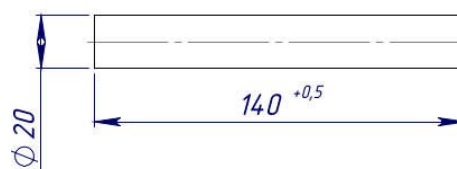


Рисунок 2 – Исходная заготовка

Разработка клинового инструмента для поперечно-клиновой прокатки начинается с выбора оптимальных углов заострения и углов наклона боковой грани деформирующих клиньев. Ориентировочно рассчитываются степени обжатия всех диаметров прокатываемого изделия, определяются силовые параметры, протекающие в процессе прокатки [1].

Исходная заготовка показана на рисунке 2. Клиновой инструмент (рисунок 3) представляет собой сборную конструкцию, которая включает в

себя обоймы 1 для монтажа деталей инструмента, загрузочного лотка 2, клина 3, клина 4, разделяющих и фиксирующих вставок 5 и 6 соответственно.

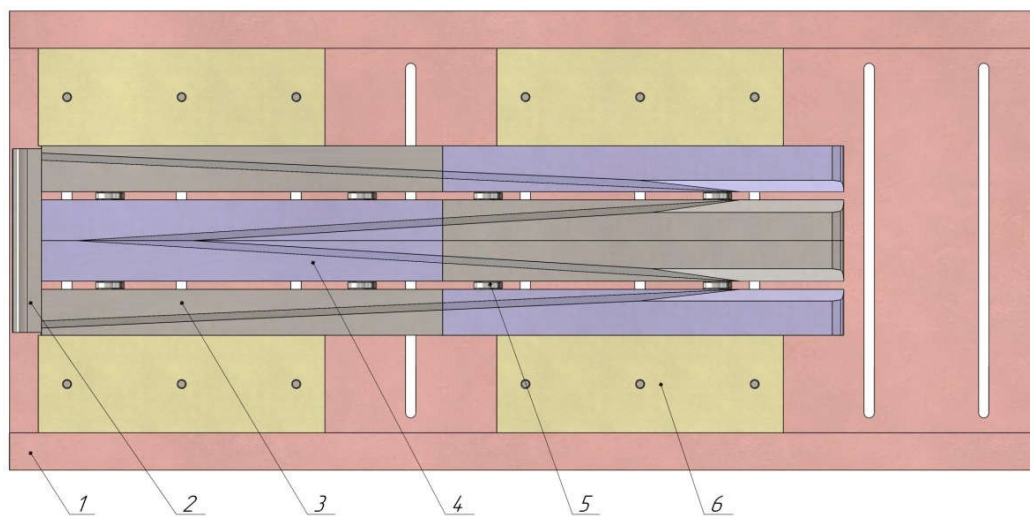


Рисунок 3 – Клиновой инструмент

Загрузочным устройством прокатного комплекса заготовка, нагретая до ковочной температуры, укладывается на лоток и вводится в пространство между деформирующими клиньями. Процесс деформации осуществляется за счёт встречного движения клиновых инструментов. Угол заострения $\beta_{об}$ для клина 3 равен $2,6^\circ$, угол наклонной грани $\alpha_{об}$ равен 30° . Внедрение центрального клина происходит после половины оборота заготовки. Использование столь малых значений углов заострений значительно повышает стойкость клинового инструмента, но увеличивает его габаритные размеры. Также позволяет не применять участки с технологической насечкой для повышения трения заготовки об клиновые поверхности.

Деформация осуществляется за счёт углов $\beta_{пр}$ и $\alpha_{пр}$ равных $3,5^\circ$ и 30° соответственно. После прохождения клиновых поверхностей, поковка окончательно формируется на калибрующем участке. Отсутствие отрезных ножей подразумевает торцевую утяжину, которая удаляется последующим снятием технологического припуска при механической обработке.

1. Красневский, С.М. Разрушение металлов при пластическом деформировании / С.М. Красневский, Е.М. Макушок, В.Я. Щукин. – Минск: Наука и техника, 1983. – 173 с.

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.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ВЕДОМОСТЕЙ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РЕСУРСОВ ODOO

Жалдыбин А.В., Околов А.Р., Храпун П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматическое создание ведомостей материалов помогает существенно ускорить работу персонала и минимизировать, как материальные так и временные затраты на производство и работу с клиентами.

В существующей системе была возможность просчитывать необходимое количество материалов на создание единицы продукта, исходя из данных стандартной ведомости материалов.

Однако, в связи с существованием зависимости количества компонентов от размеров требуемого продукта, появилась возможность автоматически рассчитывать их, учитывая так же такие факторы производства как припуск, допуск и др. Обычно ведомость состоит из следующих пунктов:

- 1.Продукт;
- 2.Единица измерения продукта;
- 3.Количество, необходимое для изготовления одной единицы продукции;
- 4.Зарезервированное количество;
- 5.Поглощенное количество.

Окно ведомости материалов видно, как управляющему персоналу, так и непосредственно на самом производстве. Поэтому у сотрудников предприятия всегда есть возможность свериться с нужной им ведомостью материалов, или открыть необходимый чертеж.

Данная разработанная опция облегчает работу с точки зрения отсутствия большого количества бумаг и подобной документации. Более того, в случае внесения каких-либо правок, они оперативно поступят на производство и персонал будет уведомлен об внесенных изменениях.

Основной информацией ведомости материала является сам вариант продукта, его компоненты и их количество для производства одной единицы данного варианта продукта. Технологическая карта, дополнительные услуги, осуществляемые при производстве данного продукта (например, его покраска или упаковка).

Обычно на один продукт приходится одна ведомость материалов, чтобы не возникло путаницы при его изготовлении. Однако была предусмотрена возможность создания дополнительных ведомостей на тот случай, если один и тот же продукт можно получить несколькими

способами. Например, через изготовление или через распил более большого по размерам продукта.

В случае возникновения конфликтов ведомостей (например, было создано несколько одинаковых), был предусмотрен функционал, запрещающий производство данного продукта до момента разрешения этого конфликта. Так же о такой ситуации уведомляется и ответственное лицо, которое и решает, какая из ведомостей должна использоваться в производстве.

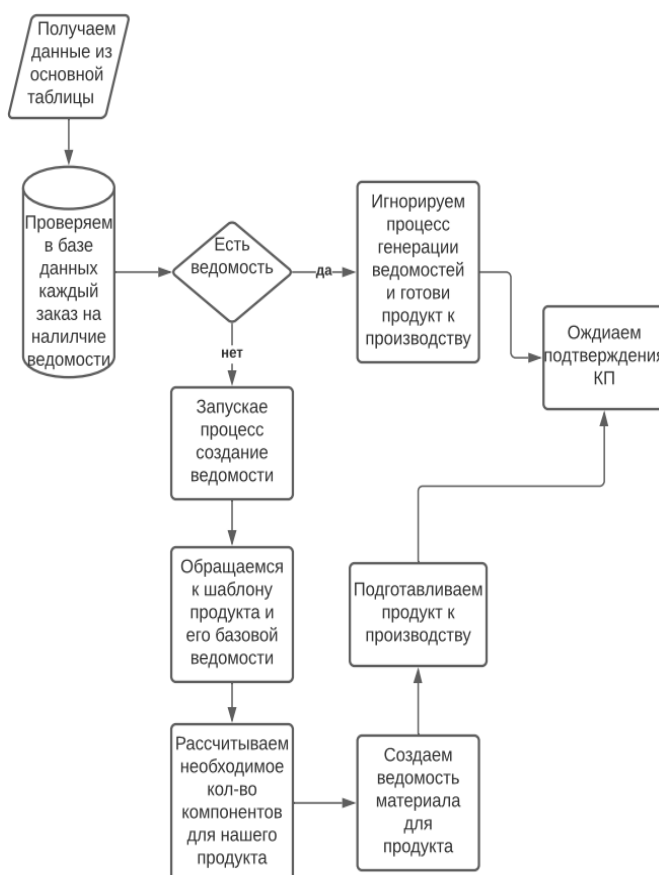


Рис.1. Блок-схема автогенерации ведомости

Алгоритм работы данного функционала следующий (рисунок 1):

1. Получение необходимых данных о базовой ведомости из шаблона продукта

2. Проверка наличия ведомости в варианте продукта

3. В случае, когда ведомость есть, коммерческое предложение подготавливается к производству, при этом игнорируется логика на создание ведомостей

4. В случае отсутствие ведомости, запускается процесс создания ведомости согласно данным из базовой ведомости и учитывая все допуски и другую информацию, влияющую на количество необходимых компонентов.

После подтверждения коммерческого предложения, создается производственное задание с необходимыми ведомостями.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ СКОРОСТНОГО ГОРЯЧЕГО ВЫДАВЛИВАНИЯ В РЕЖИМЕ ВТМО

Качанов И.В., Власов В.В., Кособуцкий А.А.

Белорусский Национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время выпуск биметаллических изделий широко освоен промышленностью. Однако потребность в них все более возрастает, и это особенно относится к новым видам биметаллов из тугоплавких металлов и их сплавов в сочетании с различными сталями и цветными металлами. Биметаллы широко применяют во многих отраслях промышленности: химической, нефтеперерабатывающей, судостроении, автотракторостроении, в новой технике.

В последнее время в инструментальном производстве, у нас в стране и за рубежом, кроме слесарно-механической обработки, используются новые способы изготовления формообразующих деталей: литье, холодное и полугорячее выдавливание, профильное шлифование, порошковая металлургия, электроэрозионная обработка, гальванопластика, плазменное напыление и др [1]. На кафедре ГЭСВТГ БНТУ, в рамках выполнения ГПНИ № 11-93/1, были проведены экспериментальные исследования по ударному скоростному горячему выдавливанию биметаллического инструмента в режиме ВТМО.

Для экспериментального исследования было проведено выдавливание стержневой биметаллической детали (рис.1) типа «Пуансон» из номенклатуры ОАО «МАЗ»

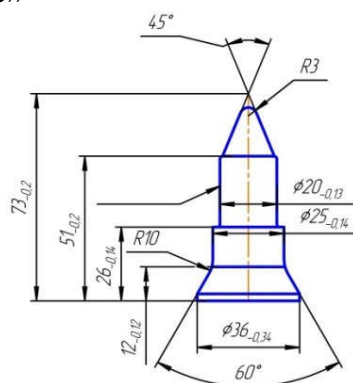


Рис. 1 Чертеж детали «Пуансон» №9783-433.09, из номенклатуры
инструментального производства ОАО «МАЗ»

Процесс скоростного горячего выдавливания (СГВ) детали «Пуансон» в режиме ВТМО проводился со скоростями деформирования $v=68-80\text{м/с}$ на опытной установке БНТУ с энергией удара 30-40 кДж. [2].

На рисунке 2 представлена фотография продольного шлифа биметаллического образца, полученного по технологии СГВ и использованного для морфологического анализа (сечение Б-Б).



Рис 2- Фотография продольных шлифов образцов, полученных по технологии СГВ и использованных для измерения твердости и микроструктурного анализа в зоне соединения разнородных материалов

Исследование элементного состава проводили на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором «INCA Energy 350» фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания) (рис.3).

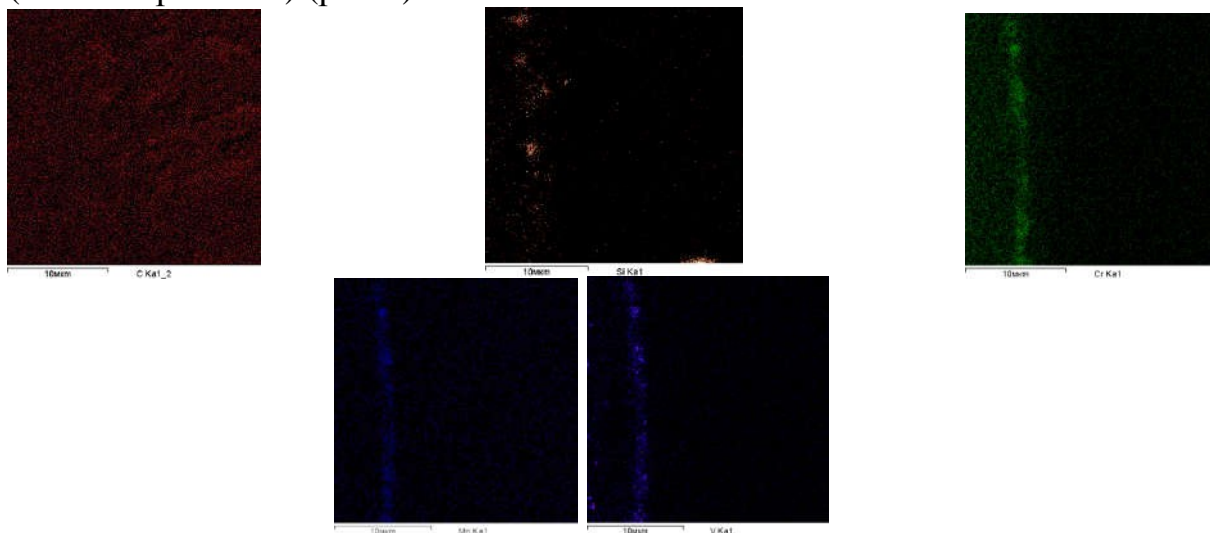


Рис. 3 - Морфология поверхности образца и съемка в характеристическом рентгеновском излучении

Анализ фотографии показывает, что в процессе скоростного формоизменения биметаллической заготовки (40X+ДИ23, 40X+5XHM) образнется прочное сварное соединение этих металлов без формирования окислов и интерметаллидных включений.

1. Качанов И.В., Здор Г.Н., Исаевич Л.А., Шарий В.Н. Скоростное горячее выдавливание стержневых изделий с плакированием торцевой части. Минск, БНТУ, Техническая литература, 2011, 198 с.

2. Качанов И.В., Шарий В.Н., Власов В.В. Скоростное горячее выдавливание в режиме высокотемпературной механической обработки биметаллических стержневых деталей штампов. Литье и металлургия. 2016;(2):93-98.

**РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ НЕСАМОХОДНОЙ БАРЖИ
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 2300 Т ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЮ ЕЕ КОРПУСА В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ**

**Качанов И.В., Ленкевич С.А., Ключников В.А., Шаталов И.М.,
Щербакова М.К., Власов В.В.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Для эффективной работы речного флота в любом направлении необходимо создание речных судов и их составов, обладающих минимальным сопротивлением движению, что в свою очередь тесно связано с оптимизацией конструктивных параметров корпуса судна.

Окончательное решение о форме обводов корпуса любого судна внутреннего водного транспорта следует принимать после сопоставления показателей сопротивления движению, полученных для нескольких вариантов проектируемого несамходного судна, путем испытания моделей в гидродинамическом лотке, т.к. статистические данные по построенным ранее однотипным судам не всегда позволяют получить обоснованное представление об элементах и обводах корпуса, обеспечивающих оптимальные пропульсивные качества. Таким образом, при проектировании несамходного судна приходится учитывать рекомендации, которые можно использовать лишь для оценки допустимых пределов изменения тех или иных параметров формы корпуса, не являющихся в общем случае наивыгоднейшими.

Ввиду ограниченной осадки несамходных судов (барж) внутреннего плавания они имеют относительно «плоские» очертания в сравнении с морскими судами, поэтому наибольшее отклонение основного потока воды на значительной части длины корпуса происходит в его оконечностях. Зато в средней части корпуса волновой профиль преимущественно располагается не по бортам, а по днищу судна, где наблюдается некоторый переход к двумерному обтеканию его поверхности.

Отмеченные особенности обтекания корпуса несамходных судов внутреннего плавания являются причиной того, что параметры, определяющие форму его обводов, обычно существенно отличаются от оптимальных. Учитывая перечисленные выше факторы разработка 3D-моделей осуществлялась путем разбивки корпуса баржи на три основных составляющих элемента: базовый носовой элемент, базовый кормовой элемент и цилиндрическую вставку. Соответственно к базовым основным элементам разрабатывались 3D-модели съемных носовых и кормовых частей.

Данная составная модель позволила отработать наибольшее количество вариантов носовых и кормовых обводов, а также выявить

оптимальные значения относительной длины несамоходного судна из прототипов, предоставленных заказчиком ОАО «Белсудопроект».

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

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Принимая во внимание габаритные ограничения лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей, равный 1:150. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе. Также, разработка 3D-моделей производилось с учетом правильной развесовки НС, чтобы обеспечить на спокойной воде посадку судна в грузу (в соответствии с масштабом) прямо и на ровный киль и исключить дифферент на его оконечности.

На рисунках 1–3 представлена 3D-модели базовых элементов и цилиндрической вставки, разработанные в КОМПАС-3D.

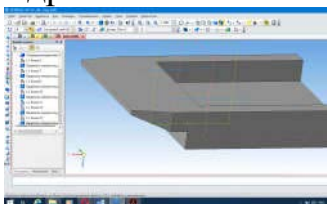


Рисунок 1 – Базовый носовой элемент для моделей НС

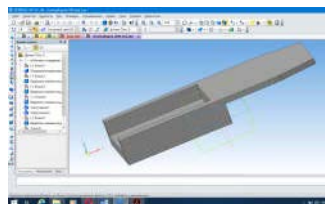


Рисунок 2 – Базовый кормовой элемент для моделей НС

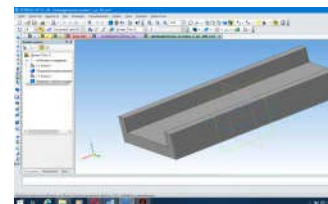


Рисунок 3 – Цилиндрическая вставка моделей НС

В результате были разработаны три «плоские» носовые части с различными углами наклона α носовой части к основной плоскости судна, а также одна ложкообразная носовая часть и три кормовые части с различными углами наклона β кормовой части к основной плоскости судна. Приведенные ниже значения углов принимались, исходя из анализа реализованных проектов несамоходных барж, и справочных источников.

На рисунках 4–7 представлены 3D-модели носовых частей. На рисунках 8–10 представлены 3D-модели кормовых частей. Для соединения основных элементов 3D-моделей использовали также съемные боковые планки, которые одновременно выполняли роль набора необходимой ширины несамоходного судна и крепились с помощью саморезов (рисунок 11). На рисунке 11 представлен процесс сборки 3D-модели прототипа баржи грузоподъемностью 2300 т. На рисунке 12 представлены варианты сборки с заменяемыми носовыми и кормовыми частями баржи.

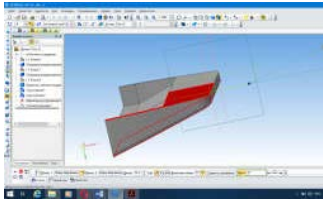


Рисунок 4 – Носовая часть с углом $\alpha = 15^{\circ}$ для модели прототипа №1

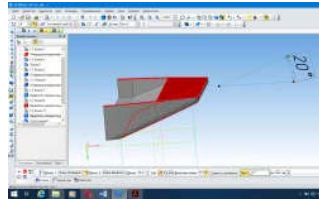


Рисунок 5 – Носовая часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ для модели прототипа №1

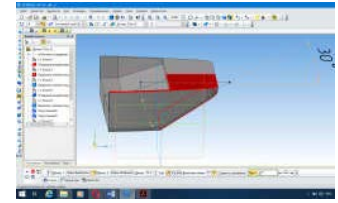


Рисунок 6 – Носовая часть с углом $\alpha = 30^{\circ}$ для модели прототипа №1

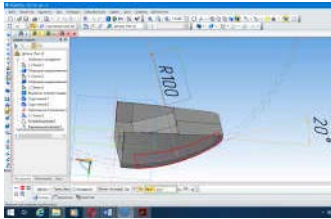


Рисунок 7 – Носовая ложкаобразная часть с углом $\alpha = 20^{\circ}$ по хорде и криволинейной образующей $R = 100$ мм для модели НС

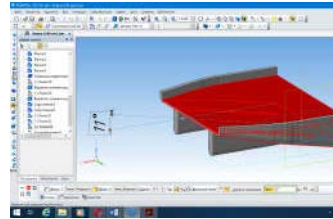


Рисунок 8 – Кормовая часть с углом $\beta = 11^{\circ}$ для модели НС

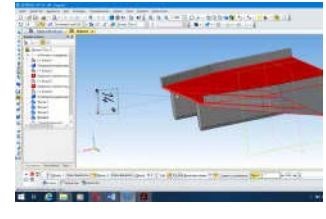


Рисунок 9 – Кормовая часть с углом $\beta = 14^{\circ}$ для модели НС

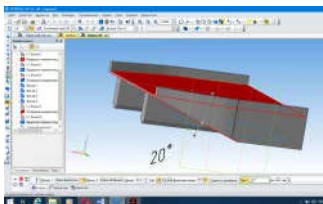


Рисунок 10 – Кормовая часть с углом $\beta = 20^{\circ}$ для модели НС

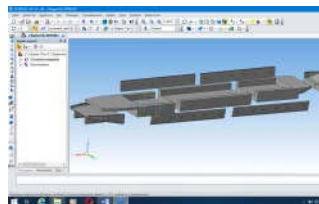


Рисунок 11 – Процесс сборки основных элементов, носовой и кормовой частей 3D-модели НС

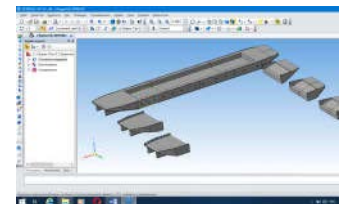


Рисунок 12 – Внешний вид 3D-модели в сборе и сменные части оконечностей (нос и корма)

Далее все изготовленные модели были подвергнуты гидродинамическим испытаниям для установления оптимальных параметров обводов проектируемой баржи.

ЦИФРОВАЯ РАЗРАБОТКА 3D-МОДЕЛЕЙ БАРЖЕ- БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

**Качанов И.В., Ленкевич С.А., Ключников В.А., Шаталов И.М.,
Щербакова М.К., Власов В.В.**

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Гидромеханика в настоящее время не позволяет теоретически предсказать с требуемой для практики точностью геометрию обводов корпуса судна, кинематические и динамические характеристики потока вблизи поверхности судна и его сопротивление. Для количественных оценок этих характеристик используется модельный эксперимент на созданных 3-D моделях судов.

Для определения гидродинамических характеристик существующих барже-буксирных составов речного флота Республики Беларусь были построены цифровые модели судов исследуемого барже-буксирного состава на основе прототипов буксира-толкача проекта 570 и баржи проекта 775, которые в последствии были напечатаны на 3D-принтере.

Построение цифровых моделей выполнялось в системе автоматизированного проектирования КОМПАС. Для построения моделей использовались теоретические и конструктивные чертежи, а также плазовые ординаты основных корпусных элементов (носовой и кормовой оконечностей) существующих судов согласно проектной документации указанных корпусных элементов судов.

Принимая во внимание габаритные ограничения лотка для проведения испытаний был выбран оптимальный масштаб моделей равный 1:100. Создание цифровых моделей производилось в выбранном масштабе.

Кроме того, рабочий стол 3D-принтера имеет возможность печати с ограничением габаритных размеров до 200 мм, поэтому 3D-модели создавались в виде составных частей с габаритами, не превышающими допустимые.

На рисунке 1 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС носовой части буксира проекта 570.

На рисунке 2 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС кормовой части буксира проекта 570.

На рисунке 3 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС носовой части баржи проекта 775.

На рисунке 4 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС цилиндрической вставки баржи проекта 775.

На рисунке 5 представлен процесс создания 3D-модели в КОМПАС кормовой части баржи проекта 775.

На рисунке 6 представлена в сборе 3D-модель баржи проекта 775 с заменяемыми носовыми оконечностями.

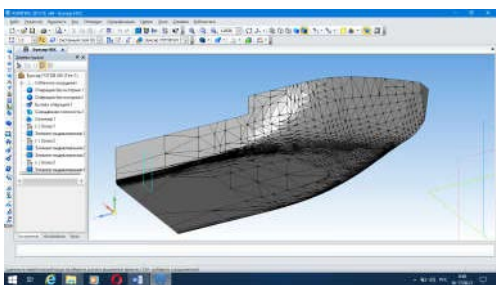


Рисунок 1 – Цифровая модель носовой части буксира проекта 570

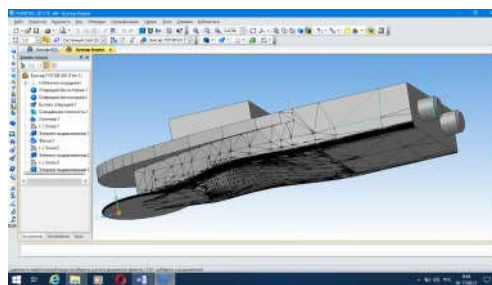


Рисунок 2 – Цифровая модель кормовой части буксира проекта 570

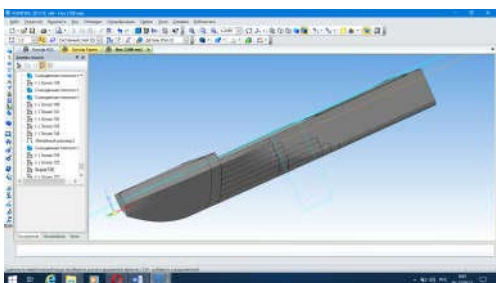


Рисунок 3 – Цифровая модель носовой части баржи проекта 775

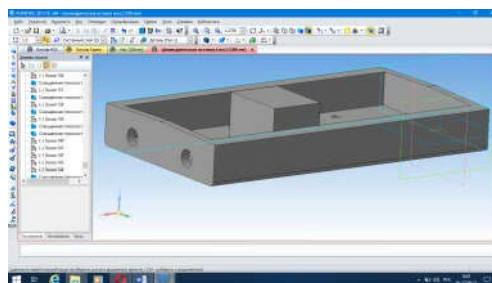


Рисунок 4 – Цифровая модель цилиндрической вставки баржи проекта 775

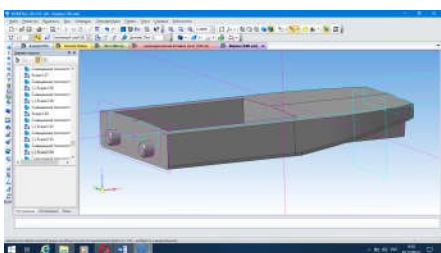


Рисунок 5 – Цифровая модель кормовой части баржи проекта 775

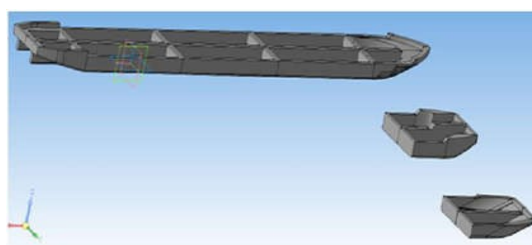


Рисунок 6 - Цифровая модель в сборе баржи проекта 775 с различными вариантами носовой оконечности

Для соединения частей судов на 3D-моделях предусмотрены направляющие штифты и отверстия.

Далее, полученные цифровые модели барже-буксирного состава, испытывались в гидродинамическом лотке с целью определения оптимальной геометрии обводов судов, входящих в барже-буксирный состав.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ПО ЗАРАНЕЕ ИЗВЕСТНЫМ КООРДИНАТАМ

Ким Т.Ю., Прокопович Г.А.

Лаборатория робототехнических систем,
Объединенный институт проблем информатики Национальной академии
наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

В работе описывается процесс разработки системы управления транспортным мобильным роботом на основе созданного его цифрового двойника [1,2]. Первым шагом является реализация математической модели на основе мобильного робота с двумя независимыми двигателями и моделирование в среде MATLAB/Simulink. Входными данными для системы управления мобильным роботом является наличие карты с маршрутом (рис 1), его максимальной скорости (V_{max} , груза, и момента (M_{max}) на волах электродвигателей. Мобильный робот решает две задачи: 1) движение по заданной траектории представленной последовательностью точек (x_1, y_1) , (x_2, y_2) и (x_n, y_n) , где n -число шагов; 2) двигаться с максимальной скоростью ориентации в пространстве.

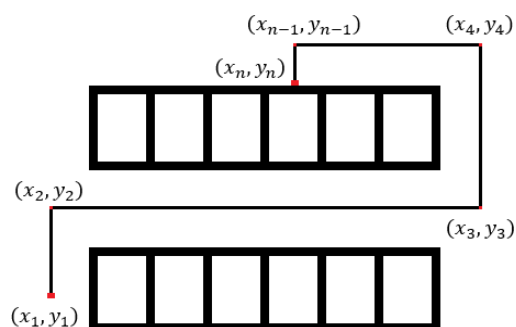


Рис 1. Траектория движения мобильного робота на основе
математической модели

Планируется на основе математической модели провести ряд вычислительных экспериментов над виртуальным роботом для того, чтобы получить желаемое значение максимального ускорения. Управление состоит из двухконтурного управления, где первый контур задает максимальное ускорение, а затем на его основе вычислить максимальную скорость. Заключительным этапом является визуализация движения по заранее известным координатам.

В качестве объекта исследования была взята имитационная модель RoboCak с дифференциальными приводами. На основе предыдущих экспериментов [3], были подобраны коэффициенты ПИД-регулятора, способного удерживать робота на линии при скорости 1 м/с.

Математическая модель [4,5] робота описывается следующими уравнениями (1-3), где V_x и V_y - это координаты робота в каждый момент

времени, θ - угловая скорость поворота корпуса робота, r - радиус колес, ω_1 и ω_2 - угловая скорость правого и левого колеса, a - расстояние от центра робота до центра колеса.

$$V_x = (r \cdot \omega_1 + a \cdot \theta) \sin \theta \quad (1)$$

$$V_y = (r \cdot \omega_1 + a \cdot \theta) \cos \theta \quad (2)$$

$$\theta = \frac{r \cdot \omega_2 - r \cdot \omega_1}{2a} \quad (3)$$

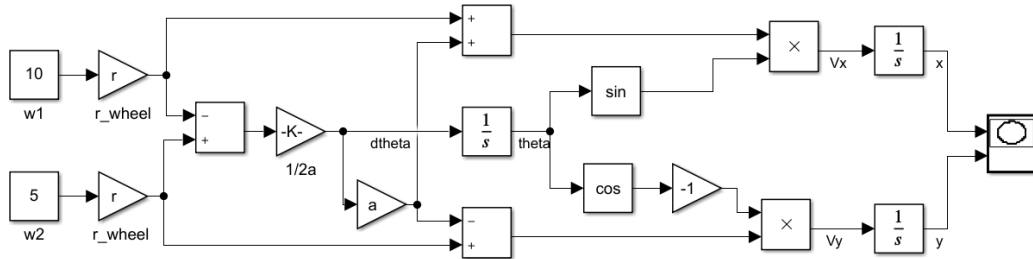


Рис 1. Реализация математической модели в среде MATLAB/Simulink на основе вышеуказанных формул

В заключении можно сказать, что суть поставленной нами задачи, заключается в передвижении мобильного робота из одной точки $((x_i, y_i))$, в другую точку (x_{i+}, y_{i+}) максимально близко придерживаясь намеченной траектории.

1. Ким Т.Ю., Прокопович Г.А. Разработка цифрового двойника для автоматической генерации траектории движения с применением глубокого обучения. – XXVII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», 2020 г. (электронный сборник).

2. Ким Т.Ю., Прокопович Г.А. Цифровой двойник транспортной тележки с дифференциальным приводом для отладки алгоритма следования по траектории. – Международная конференция «НАУКА И ИННОВАЦИИ»: сборник научных трудов, 2020 г. – С. 496-499.

3. Ким Т.Ю., Прокопович Г.А. Имитационное моделирование движения двухколесного робота RoboCape на горизонтальной плоскости. – XVII Международная научная конференция «Молодежь в науке», 2020 г. – С. 398-400.

4. Бартенев В. В., Яцун С. Ф., Аль-еззи А. С. Математическая модель движения мобильного робота с двумя независимыми ведущими колесами по горизонтальной плоскости - Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4-1. (дата обращения: 07.03.2022).

5. Яцун С.Ф., Безмен П.А., Лосев Ю.Ю. Математическое моделирование движения вибрационного мобильного робота с внутренней подвижной массой. - Вибрационные машины и технологии: сб. науч. тр. Курск: ГТУ, 2008. С. 241-247.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЛЕГКОВЕСНЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ФОРМЫ

Ковалева И.Л., Кункевич Д.П., Бородуля А.В., Чваньков А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Использование легковесных деталей является одним из перспективных направлений в современном машино- и приборостроении. Снижение материалоемкости в таких деталях достигается за счет полых областей (полостей), которые могут располагаться либо внутри деталей, либо на их поверхности. Однако наличие полостей может вызвать недопустимые изменения технико-эксплуатационных свойств деталей. Поэтому процесс проектирования легковесных деталей включает в себя поиск компромисса между желаемым снижением материалоемкости и недопустимым изменением технико-эксплуатационных свойств деталей.

Среди методов формирования полостной геометрии деталей с учетом их эксплуатационных свойств можно выделить два - конструктивный и декомпозиционный. Каждый из них основывается на одноименных базовых принципах построения геометрических моделей.

Геометрическая модель на основе декомпозиционных методов – это множество непересекающихся регулярных элементов - вокселей, октантов, конечных элементов. Они широко используются в инженерном анализе методом. Формирование полостей на основе декомпозиционной геометрии происходит достаточно просто: по результатам расчета напряженно-деформированного состояния наименее нагруженные элементы исключаются из модели. Недостатком такого подхода является то, что полученную полостную геометрию приходится заново перестраивать конструктивными методами. Именно конструктивные модели в настоящее время являются основной формой представления деталей на различных этапах жизненного цикла.

Таким образом, более эффективным представляется формирование полостей непосредственно на конструктивном уровне из элементов формы. Программная реализация такого подхода сложнее, однако результатом является «хорошая» технологичная геометрическая модель.

Целесообразно определить элементы формы различных уровней сложности. Нижний уровень – простейшая форма и минимальный набор параметров, например, сфера. Назначение этих элементов - первичное формирование полостей: вместо анализа напряженно-деформированного состояния детали на предмет выявления в ней «ненагруженных» зон, определения их форм, размеров и др. свойств, полости синтезируются пошагово. Однако поверхностная геометрия таких полостей будет сложна и нетехнологична. Устранить этот недостаток можно аппроксимировав

полость более сложным элементом следующего уровня, например, эллипсоидом.

Технология предложенного подхода примерно следующая. На первом этапе выполняется расчет напряженно-деформированного состояния детали и определение наименее нагруженной точки. В этой точке размещается сферический элемент формы и вычитается из тела детали. Процесс повторяется до тех пор, пока напряжения и/или деформации не превысят допустимых значений.

Размещенные таким образом сферические элементы формы располагаются группами (рисунок 1, а), каждая из которых впоследствии может быть заменена эллипсоидом (рисунок 1, б). Разбиение на группы выполняется методами кластеризации. Для размещения эллипсоида относительно группы аппроксимируемых им первичных элементов необходимо определить главные оси и главные моменты этих групп.

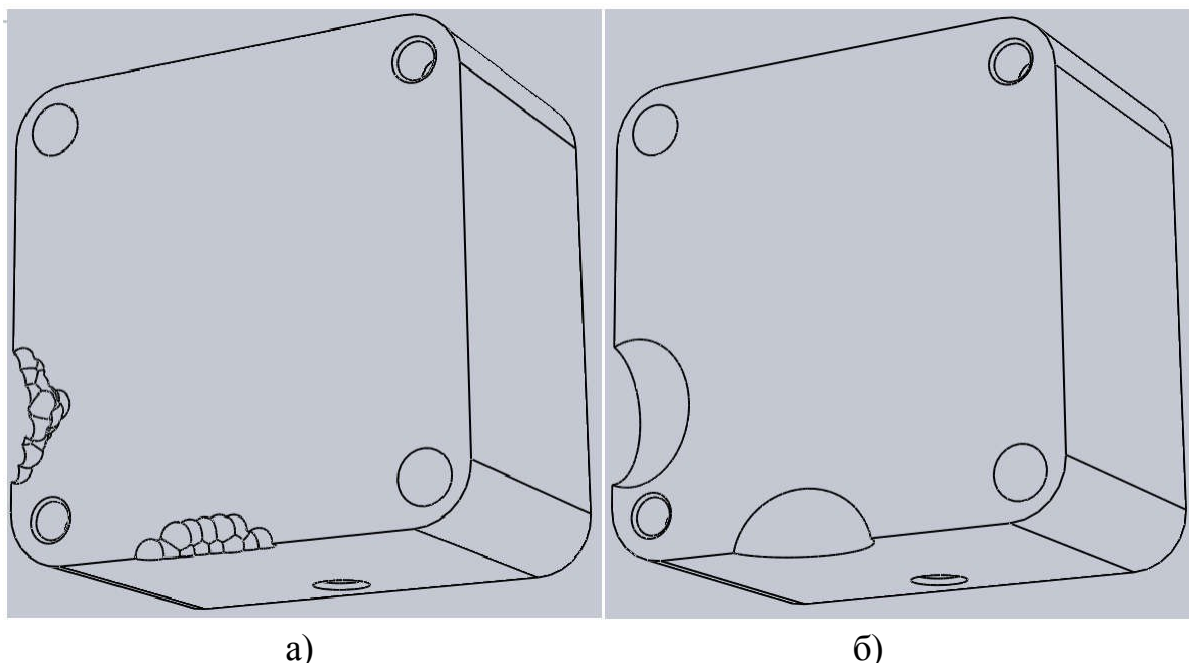


Рисунок 1 – Деталь с полостями из простейших сферических элементов (а) и с полостями, аппроксимированная более сложным элементом следующего уровня (б)

Экспериментальная проверка предложенного подхода была выполнена в системе геометрического моделирования SolidWorks. Геометрические преобразования и инженерные расчеты реализовывались макросом на языке Visual Basic for Application, функционирующим непосредственно на базе указанной системы. Задачи кластеризации решались модулем на языке Python.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Коваленко Е.А., Дербан А.Н.

Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Республика Беларусь

Допустимые режимы зарядки описаны в разделе 1 стандарта IEC 62196 [1], который определяет следующие возможные варианты:

Mode 1. Рассчитаны на ток 16 А, являются самыми простыми. Можно подключить напрямую к обычным бытовым розеткам. Зарядка батареи электромобиля ёмкостью 20 кВт/ч с использованием этой станции займет около 12 часов. Станции не имеют внутреннего преобразователя переменного тока в постоянный, они выдают энергию переменного тока, которая выпрямляется в бортовой зарядной системе автомобиля. Максимальная нагрузка до 16 А;

Mode 2. Рассчитаны на ток 16 А (при трёхфазном до 32 А), используют устройство защиты и управления, находящееся в кабеле, которое контролирует процесс зарядки и подключения, ограничивает максимальный зарядный ток, а также выполняет отключение в случае сбоя. Зарядка батареи электромобиля стандартной ёмкости 20-24 кВт/ч занимает 6-8 часов при 16 А;

Mode 3. Предназначены для питания от трёхфазной электросети с током 32 А, могут связываться с автомобилем и контролировать максимальный зарядный ток, станция имеет фиксированное соединение с электрической установкой. Время зарядки – примерно 1,5–2 часа в зависимости от ёмкости аккумулятора;

Mode 4. Является зарядным устройством постоянного тока, где максимальный зарядный ток постоянного тока формируется непосредственно самой станцией напрямую, а не внутри автомобиля. Связь между электрическим транспортным средством и зарядной станцией регулирует максимальный зарядный ток. Для станций режима 4 требуется всего 20–30 минут, чтобы зарядить батареи электрического транспортного средства до 80% их ёмкости. Остальные 20% заряда требуют большего времени, что связано с особенностями процесса заряда батарей и направлено на увеличение их срока службы [2].



Рисунок 1 – Режимы зарядных станций

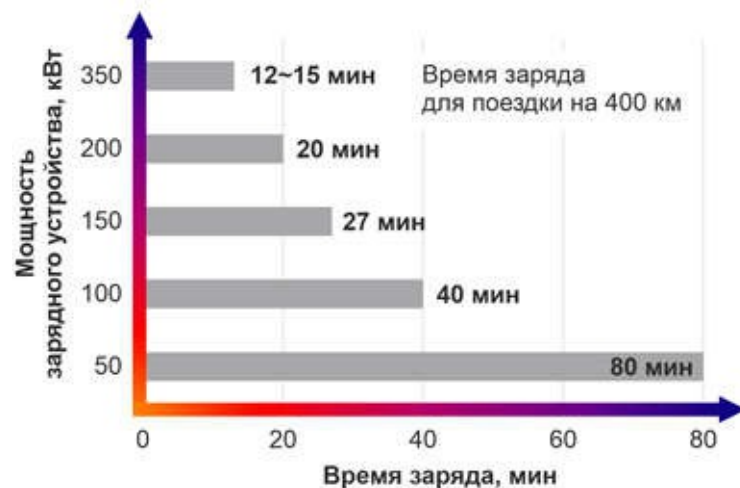


Рисунок 2 – Зависимость времени заряда аккумулятора от мощности зарядной станции

1. ГОСТ IEC 61851-1-2017
2. Основы по зарядным станциям: режимы, случаи и типы [Электронный ресурс]: <https://lsys.by/news/articles/osnovy-po-zaryadnym-stantsiyam-rezhimy-sluchai-i-tipy.html>.

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПЛАСТИЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ МЕТОДОМ ПОПЕРЕЧНО-КЛИНОВОЙ ПРОКАТКИ

Кожевникова Г.В., Щукин В.Я., Дубенец С.С.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одним из практических использований теории разрушения металла [1] является разработка второго поколения оборудования для поперечно-клиновой прокатки, позволяющего улучшить главные характеристики оборудования – повысить ресурс пластичности прокатываемых деталей [2]. Основным недостатком традиционного способа поперечно-клиновой прокатки является вероятность разрушения материала в осевой области заготовки при прокатке в виде осевой полости. Механизм этого явления заключается в том, что согласно деформационной феноменологической теории разрушения металлов и сплавов при пластическом течении на оси заготовки при прокатке реализуется максимальные растягивающие напряжения, и при достижении накопленными деформациями предельных значений, увеличивающиеся в своих размерах при прокатке микротрещины объединяются в макротрещину, которая трансформируется в осевую полость.

Предложен способ [2], который позволяет увеличить ресурс пластичности за счет создания при поперечно-клиновой прокатке в торцевых частях заготовки сжимающего напряжения меньше предела текучести материала. Эти упругие сжимающие напряжения воздействуют на очаг деформации и уменьшают в нем растягивающее среднее напряжение, что увеличивает ресурс пластичности материала по всему очагу.

С этой целью заготовку со стороны обоих торцов сжимают осевым усилием, которым создают в торцевых частях заготовки сжимающее напряжение меньше предела текучести материала и в прокатанной части заготовки уменьшают растягивающее, а вращение заготовки при прокатке принудительно тормозят моментом сил, меньшим момента сил вращения заготовки.

На рисунке показаны значения среднего напряжения σ/K на оси заготовки во время прохождения материалом очага деформации в традиционном (кривая 1) и в предложенном (кривая 2, $\sigma = 0,0724K$, где K – пластическая постоянная материала) способах. Данные получены компьютерным расчетом процесса поперечно-клиновой прокатки (методом конечных элементов) по двум указанным вариантам с параметрами процесса: материал сталь 45 ГОСТ 1050–88; исходный диаметр 28 мм; степень обжатия 1,60; скорость прокатки 0,3 м/с; температура нагрева заготовки 1100 °С; угол наклона боковой грани α клинового инструмента 30°; угол заострения β клинового инструмента 9°. Усредненное значение

среднего напряжения σ/K на оси заготовки за время прокатки от 0 до 1,1565 с для традиционного способа поперечно-клиновой прокатки составило 0,2236, для предложенного – 0,0724. то есть в 3,09 раза меньше.

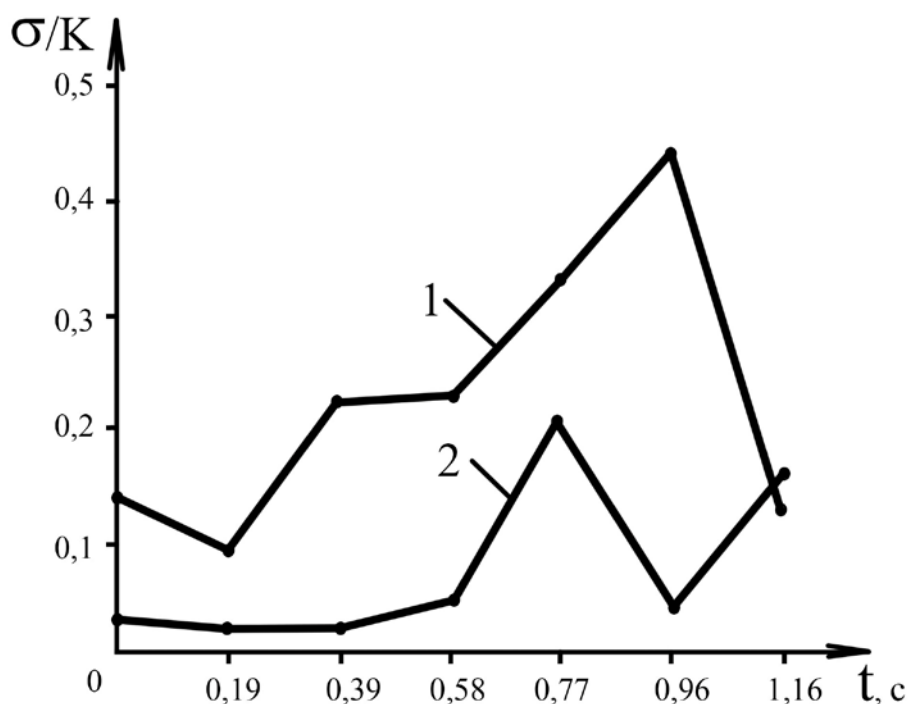


Рисунок – Значения среднего напряжения σ/K на оси заготовки во время прохождения материалом очага деформации в традиционном (кривая 1) и в предложенном (кривая 2) способах

Накопленные деформации для традиционного способа составили 6,44, для предложенного 6,50; предельная степень деформации сдвига стали 45 при температуре 1100 °С для традиционного способа составляет [1] 13,4, для предложенного 18,5. Рассчитанный ресурс пластичности для традиционного способа составил 0,519, для предложенного при создании в торцевой области сжимающего напряжения равного 0,5К составил 0,643. В итоге для перечисленных параметров прокатки предложенный способ обеспечивает увеличение ресурса пластичности на $(0,643 - 0,519) / 0,519 \cdot 100 \% = 24 \%$.

1. Кожевникова, Г.В. Пластические свойства металлов и сплавов: феноменологическая деформационная теория разрушения при пластическом течении / Г.В. Кожевникова, В.Я. Щукин. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 277 с.

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.

МЕХАТРОННЫЕ УСТАНОВКИ И КОМПЛЕКСЫ В ПРОЦЕССАХ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Коробчук М.В., Веригин А.Н.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)

Санкт-Петербург, Российская Федерация.

Вибрационные технологии и процессы находят применение в самых различных отраслях народно-хозяйственной деятельности. В химической промышленности вибрация используется для интенсификации самых разнообразных процессов. Анализ показывает, что из всего разнообразия аппаратуры и машин, применяемых в химической технологии, современные технико-экономические требования на уровне полной автоматизации, прежде всего, могут быть удовлетворены именно в области вибрационной техники. Вопросы разработки и проектирования мехатронных систем управления вибрационными установками относятся к отдельному направлению и обладают целым рядом специфических особенностей [1].

Опыт применения гармонических колебаний можно считать традиционным и к настоящему времени получившим наибольшее распространение [2,3]. Машины и аппараты реализующие в себе их полезные эффекты действия достаточно хорошо изучены, а результаты исследований изложены в большом количестве разнообразных публикаций. Несколько иначе обстоят дела в области колебаний динамических систем, в которых реализуются нелинейные эффекты геометрической и физической природы, порождаемые как в упругой системе, так и в возмущающей силе. При наличии хорошо проработанной теории, практических работ, посвященных использованию эффектов нелинейных колебаний крайне мало, однако, даже существующих достаточно, чтобы понять перспективность их применения.

Переход к нелинейным системам, возможность изменения режима работы в реальном времени, а также гибкая адаптивная подстройка под характеристики обрабатываемой среды позволяет говорить о принципиальном переходе вибрационного оборудования к новому поколению техники. Отмеченные особенности требуют учета целого ряда научно-технических задач, обусловленных необходимостью решения вопросов, связанных с управлением, математическим и компьютерным моделированием, а также экспериментальными исследованиями, которые напрямую связаны с необходимостью разработки мехатронных технологических установок, снабженных средствами контроля, измерения и управления [4].

Именно сложность настройки и управления режимом работы являлась одной из основных проблем, стоящих на пути реализации эффекта нелинейных колебаний в конструкциях вибрационных машин и аппаратов технологического назначения. Последние достижения в области механики, электроники,

вычислительной техники и теории управления, приведшие к появлению науки – мехатроники – позволяют решить эту проблему.

Анализ состояния агрегатов, входящих в механическую и электрическую части оборудования, мониторинг и оценка режима работы (включая гидродинамический режим, характеристики среды и т.д.) в реальном времени, автоматическая гибкая адаптивная подстройка под меняющиеся условия – далеко не полный перечень возможностей мехатронных систем химико-технологического назначения.

Применение мехатронных установок, построенных на принципах применения обратных связей и управления режимом работы (параметрами колебаний, нелинейностью системы), позволяет существенно повысить общую эффективность тепло и массообменных процессов химической технологии, существенно снизив затраты на их обслуживание, настройку и управление. Авторы убеждены, что переход от традиционного химического аппарата к мехатронной технологической единице является следующим этапом эволюции химического оборудования, итогом которой можно считать появление мехатронных технологических комплексов, обеспечивающих не только высокое качество протекания процессов и получаемых конечных продуктов, но и соответствующих требованиям по высокой энергоэффективности, общей безопасности, надежности и технологичности.

В заключение следует отметить, что важной составляющей проектирования мехатронных установок является соответствующая подготовка научных и инженерных кадров. Проведение исследований на высоком техническом уровне возможно лишь при условии привлечения высококвалифицированных специалистов (конструкторов, расчетчиков, электронщиков, программистов) и потребует отдельного решения непростых и тонких вопросов организации их взаимодействия.

1. Управление мехатронными вибрационными установками / Б.Р. Андриевский, И.И. Блехман, Ю.А. Борцов, С.В. Гаврилов и др. Наука, С-Петербург, 2001. 278 с .

2. Коробчук, М. В. Аппараты виброперемешивания. Обзор конструкций и тенденции развития / М.В. Коробчук, А.Н. Веригин // Химическая технология. – 2022. – Т. 23. – № 2. – С. 80-96.

3. Коробчук, М. В. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития / М.В. Коробчук, А.Н. Веригин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 4(32). – С. 32-45.

4. Коробчук, М. В. Использование программных средств и электронных компонентов, применительно к проектированию мехатронных вибрационных установок / М.В. Коробчук, А.Н. Веригин // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. – С. 212-216.

ПОЛИРОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РЕЖИМАХ ЭЛЕКТРОЛИТНО- ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ

**Королёв А.Ю., Нисс В.С., Алексеев Ю.Г.,
Паршута А.Э., Будницкий А.С.**

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Для снижения энергоемкости и повышения эффективности процесса электролитно-плазменной обработки (ЭПО) с целью, модификации и полирования поверхности изделий из металлических материалов, их размерной обработки при сохранении высокой интенсивности, качества и экологической безопасности разработан новый импульсный метод (импульсная ЭПО), совмещающий преимущества как электрохимического, так и электролитно-плазменного процесса. Разработанный метод импульсной ЭПО основан на применении униполярного импульсного режима с длительностью импульсов 0,5–10 мс и амплитудой более 200 В, при котором в пределах каждого импульса последовательно чередуются электрохимическая стадия, переходная стадия и устойчивая стадия ЭПО. Повышение эффективности разработанного процесса импульсной ЭПО достигается за счет основного интенсивного съема металла при реализации электрохимической стадии с низкими энергетическими затратами и оптимизации продолжительности электролитно-плазменной стадии, при которой обеспечивается высокое качество поверхности.

В работе исследовалось влияние состава и температуры электролита на съем металла и качество обрабатываемой поверхности. Обрабатываемый образец с размерами 20x5x1 мм (площадь обработки 2,45 см²) изготавливался из нержавеющей стали 304. Напряжение источника питания составляло 250 В. Обработку выполняли в электролитах двух составов: водный раствор сульфата аммония с концентрацией 3, 4 и 5 %; водный раствор сульфата аммония с концентрацией 4 % с добавлением лимонной кислоты 0,5, 1,0 и 1,5%. Температура электролитов составляла 60 и 80 °С. Временные параметры импульса: длительность импульса – 0,7 мс, длительность паузы – 0,3 мс. Время обработки образцов – 3 мин.

Установлено, что наименьшие значения шероховатости (Ra 0,045 и 0,050 мкм) при обработке в растворе сульфата аммония достигаются при его концентрации 5 % при температуре электролита 80 и 60 °С соответственно. В двухкомпонентном электролите (с добавлением лимонной кислоты) наименьшие значения шероховатости Ra 0,046 и 0,051 мкм достигаются при концентрации лимонной кислоты 0,5 % при температуре 60 и 80 °С соответственно (рисунок 1). Снижение массы образца достигает максимального значения 6,6 мг·мин/см² в электролите

состава 3 % сульфата аммония при температуре 60 °С, минимальное значение 2,4 мг·мин/см² – в электролите на основе 4% сульфата аммония с добавлением 1,5 % лимонной кислоты при температуре 80 °С.

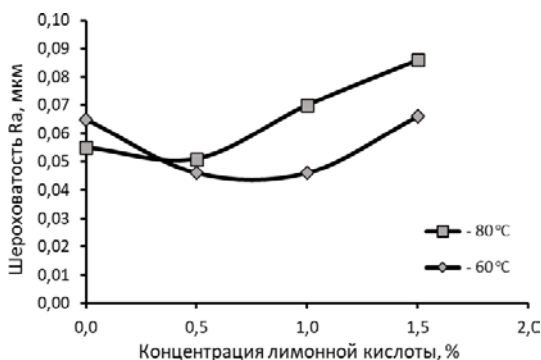
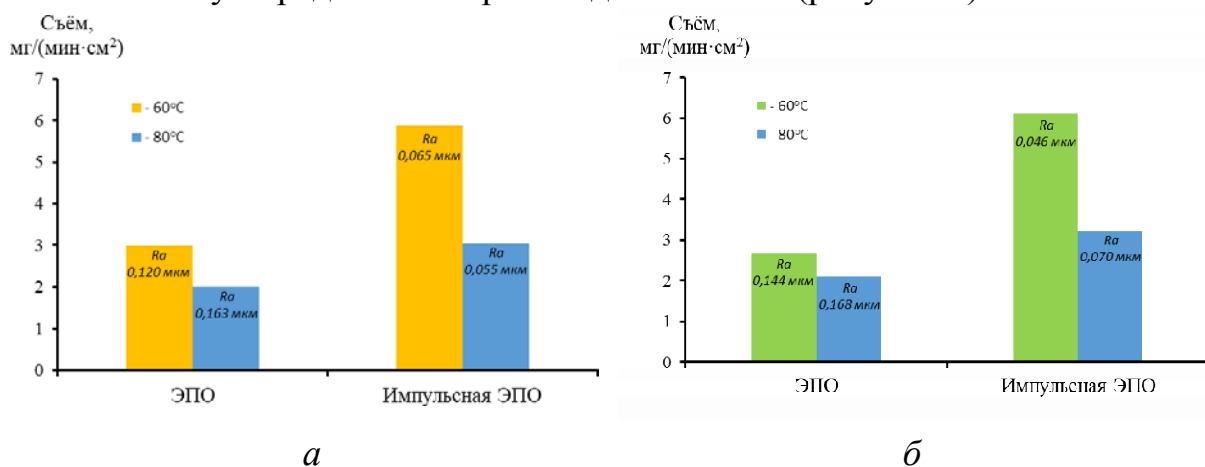


Рисунок 1 – Зависимость шероховатости Ra от концентрации добавки лимонной кислоты и температуры электролита

Для сопоставления результатов, полученных в импульсном режиме, с результатами, достигаемыми при традиционной ЭПО, выполнялась обработка образцов при постоянном напряжении 250 В в электролитах такого же состава (4 % сульфат аммония и 4 % сульфат аммония + 1 % лимонная кислота). Продолжительность обработки образцов составляла 3 мин. Измерялась шероховатость и масса образцов до и после обработки, затем по съему определялась производительность (рисунок 2).



а – сульфат аммония; б – сульфат аммония с лимонной кислотой

Рисунок 2 – Результаты сравнения производительности и качества поверхности при обработке в импульсном режиме и на постоянном токе

По сравнению с обработкой на постоянном токе импульсный режим обеспечивает значительно большую производительность (выше в 1,5–2,3 раза), за счет чего происходит более качественное сглаживание поверхности. При обработке в электролите с добавлением лимонной кислоты в импульсном режиме в зависимости от температуры обеспечивается шероховатость Ra 0,046–0,070 мкм, а при обработке на постоянном токе Ra 0,144–0,168 мкм.

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ И ПРЕДЛАГАЕМОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОБЛОКА 300 МВт

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Артёменко К.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В 2020-21 гг. в рамках научно-исследовательской работы на энергоблоке № 2 Лукомльской ГРЭС были проведены эксплуатационные испытания модернизированных регуляторов температуры перегретого пара. При проведении испытаний нагрузка энергоблока изменялась со скоростью ± 5 МВт/мин от 270 до 300 МВт и наоборот. В работе выполнено моделирование предлагаемой системы автоматического управления мощностью энергоблока (САУМБ) с установленными на энергоблоке настройками (Таблица №1) и сравнение полученных графиков переходных процессов с результатами эксплуатационных испытаний для оценки адекватности используемой модели энергоблока 300 МВт.

Таблица 1 – Настройки САУМБ энергоблока № 2 Лукомльской ГРЭС

| Регуляторы | Параметры настройки | | | |
|-------------------------------|---------------------|------------|-------|----------|
| | K_p | $T_{и}, с$ | K_d | $T_d, с$ |
| КРМ (ПИ-регулятор) | 0,18 | 87 | – | – |
| РТ (ПИ-регулятор) | 1,56 | 7,2 | – | – |
| ТРМ (ПИ-регулятор) | 1,5 | 24 | – | – |
| Дифференциатор ФСЗ | – | – | 0,1 | 13,2 |
| Дифференциатор инвариантности | – | – | 1,6 | 45 |

Схема моделирования переходных процессов САУМБ изображена на рисунке.

На рисунке 1 использованы следующие обозначения:

$W_{N_{\phi}, B_T}(p)$, $W_{N_{\phi}, h_{pk}}(p)$, $W_{p_0, B_T}(p)$, $W_{p_0, h_{pk}}(p)$ – передаточные функции по

электрической мощности и давлению при скачкообразном изменении задания котельному регулятору нагрузки и перемещении регулирующих клапанов турбины соответственно; $W_{оп}(p)$ – передаточная функция опережающего участка по расходу топлива (газа); $W_{ТРМ}(p)$ – передаточная функция турбинного регулятора мощности (ТРМ); $W_{ФСЗ}(p)$ – передаточная функция формирователя сигнала задания (ФСЗ) системы автоматического управления мощностью энергоблока; $W_{ди}(p)$ – передаточная функция дифференциатора инвариантности

(ДИ); $W_{\text{КРМ}}(p)$ – передаточная функция котельного регулятора мощности (КРМ); $W_{\text{РТ}}(p)$ – передаточная функция регулятора топлива; $p^{3\text{д}}$, p – соответственно заданное и текущее значение давления перегретого пара перед турбиной; $h_{\text{РК}}$ – перемещение регулирующих клапанов турбины; $N_{3\text{д}}$ – заданное значение мощности энергоблока; $N_{\text{ф}}$ – фактическая электрическая мощность энергоблока; f_1 – внутреннее возмущение; $x_{3\text{д}1}$ – задание регулятору топлива; B_{T} – изменение расхода топлива.

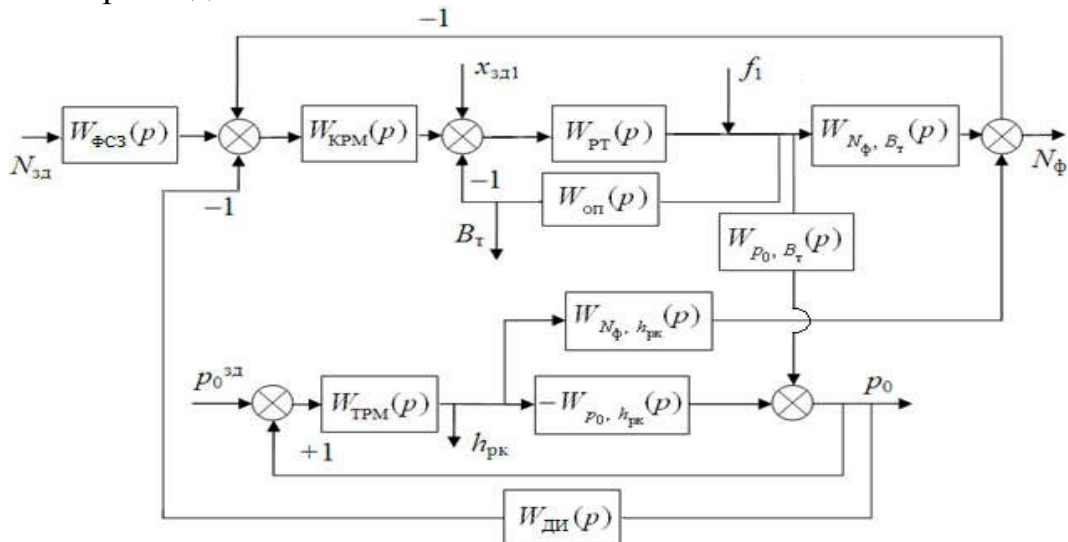


Рисунок 1 – Структурная схема моделирования переходных процессов предлагаемой САУМБ

Сигнал по небалансу заданной и фактической мощности не подаётся на вход ТРМ, т.е. на энергоблоке № 2 Лукомльской ГРЭС корректор ТРМ отключён, что отрицательно сказывается на скорости набора мощности энергоблоком.

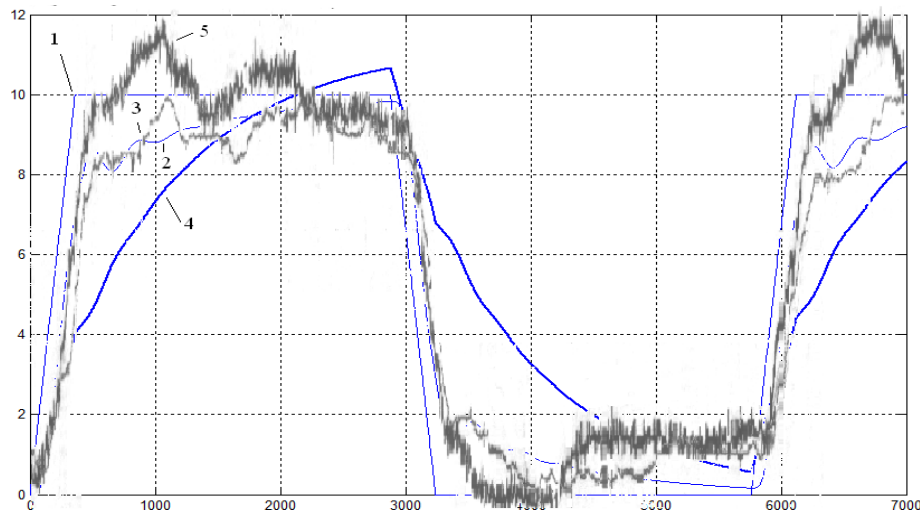


Рисунок 2 – Переходные процессы по мощности генератора и расходу топлива при обработке трапецидального изменения задания энергоблоку

На рисунке 2 использованы следующие обозначения: 1 – выход автоматического задатчика мощности энергоблока (АЗМБ); 2 – мощность генератора при моделировании САУМБ; 3 – активная мощность генератора при

эксплуатационных испытаниях; 4 – расход топлива при моделировании САУМБ; 5 – расход топлива при эксплуатационных испытаниях.

В результате проведения эксплуатационных испытаний и моделирования САУМБ получены следующие научные результаты:

1. Методика проверки адекватности динамики математической модели САУМБ реальной системе по электрической мощности и давлению перегретого пара перед турбиной при возмущении котельной нагрузкой и регулируемыми клапанами турбины заключалась в сравнении фактической электрической мощности энергоблока и результатов моделирования. Точность отработки задания фактической мощностью и результатов моделирования при наборе и сбросе нагрузки не превышает 1,0 % номинальной мощности энергоблока.

2. Разработанные методы параметрической оптимизации регулирующих элементов САУМБ, отличаются тем, что: ПИ-регулятор топлива настроен по передаточной функции опережающего участка по расходу топлива (газа) с использованием передаточной функции оптимального регулятора; котельный регулятор мощности представляет собой оптимальный регулятор с одним расчётным параметром динамической настройки $T_{зд}$; при постоянном давлении пара перед турбиной в качестве турбинного регулятора мощности используется типовой ПИ-регулятор, сформированный на основе передаточной функции оптимального регулятора с использованием передаточной функции по давлению пара перед турбиной при возмущении перемещением регулирующих клапанов; при переменном давлении пара перед турбиной в качестве ТРМ используется ПИ-регулятор, с параметрами настройки рассчитанными на основе передаточной функции оптимального регулятора по передаточной функции датчика измерения давления и ввиду при возмущении изменением положения регулирующих клапанов турбины; передаточная функция ФСЗ представлена звеном быстрого реагирования в широком диапазоне изменения нагрузок; передаточную функцию ДИ определяем при помощи передаточных функций по электрической мощности и по давлению перегретого пара перед турбиной при скачкообразном перемещении регулирующих клапанов турбины.

Использованные методы параметрической позволяют повысить точность и быстродействие системы автоматического регулирования мощности энергоблока при отработке трапецеидальных задающих воздействий со скоростью изменения нагрузки ± 5 МВт / мин.

1. Структурно-параметрическая модернизация регулятора впрыска котла филиала «Лукомльская ГРЭС» РУП «Витебскэнерго» для работы в широком диапазоне изменения нагрузок: отчет о НИР (заключ.) / БНТУ ; рук. Г.Т. Кулаков. – Минск, 2021. – 284 с.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Современная теория автоматического управления позволяет создавать высококачественные автоматические системы аналитическими методами [1,2]. Достоинства формирования оптимальных структур систем автоматического регулирования (САР) аналитическими методами покажем на примере формирования инвариантной каскадной системы автоматического регулирования (ИКСАР) с использованием передаточных функций оптимальных регуляторов.

На рисунке 1 приведены структурные схемы ИКСАР сформированной с использованием аналитических экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации динамических систем [2] и типовой САР с дифференциатором (САРД) со штатными параметрами первого впрыска котла №2 ТГМП-114 Лукомльской ГРЭС ($k_p = 1^{T/4}/0C$; $T_n = 6c$; $k_d = 1,5$; $T_d = 99c$).

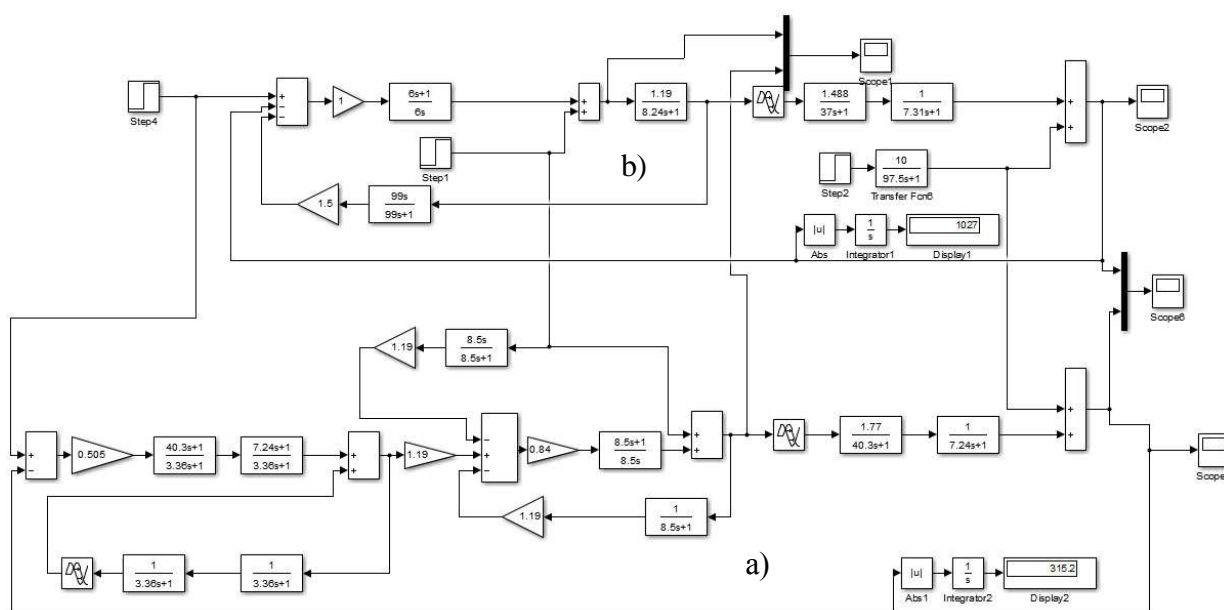


Рисунок 1 – Структурные схемы моделирования переходных процессов ИКСАР (а) и типовой САРД (б) в пакете Simulink

Формирование структурной схемы ИКСАР начинаем с выбора оптимальной структуры стабилизирующего регулятора (СР) на основе передаточной функции опережающего участка:

$$W_{оп}(s) = \frac{1,19}{8,5s+1}, \quad (1)$$

где $k_{оп}$ – коэффициент передачи, °C/т/ч; $T_{оп}=8,5$ – постоянная времени, с.

Так как передаточная функция опережающего участка (1) не содержит запаздывания, то передаточная функция оптимального СР примет вид [2]:

$$W_{p1}^{opt}(s) = \frac{T_{оп}s+1}{k_{оп}T_{зд1}s} = \frac{k_{p1}(T_{н1}s+1)}{T_{н1}s}, \quad (2)$$

где численное значение коэффициента передачи стабилизирующего регулятора:

$$k_{p1} = \frac{T_{оп}}{k_{оп}T_{зд1}} = \frac{1}{k_{оп}} = 0,84 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{т}/\text{ч}, \quad \text{а время интегрирования}$$

$$T_{н1} = T_{оп} = T_{зд1} = 8,5 \text{ с.}$$

Если между корректирующим (КР) и стабилизирующим регуляторами установить дополнительный усилитель с коэффициентом передачи опережающего участка $k_{оп}$ (рис. 1), то внутренний контур САР превратится в усилитель с коэффициентом передачи, равным единице. Это позволяет определить структуру КР только по передаточной функции главного участка объекта:

$$W_{гл}(s) = \frac{k_{гл}e^{-\tau_y s}}{(T_{гл}s+1)(\sigma_{гл}s+1)} = \frac{1,77e^{-21,3s}}{(40,35s+1)(7,24s+1)}, \quad (3)$$

где $k_{гл}$ – коэффициент передачи главного участка объекта, °C/т/ч; $T_{гл}$, $\sigma_{гл}$ – соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции (3), с; τ_y – условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия, с.

Так как передаточная функция (3) содержит запаздывание, то передаточная функция оптимального КР примет следующий вид [2]:

$$W_{p2}^{opt}(s) = [W_{гл}(s)]^{-1} \frac{W_{зд2}^{3C}(s)}{1-W_{зд2}^{3C}(s)} = W_{\phi}(s) \frac{1}{1-W_{зд2}^{3C}(s)}, \quad (4)$$

где $[W_{гл}(s)]^{-1}$ – обратная передаточная функция главного участка объекта; $W_{зд2}^{3C}(s) = \frac{e^{-\tau_y s}}{(T_{зд2}s+1)^2}$ – заданная передаточная функция замкнутой

системы при отработке скачка задания; $W_{\phi}(s) = \frac{W_{3C}(s)}{W_{гл}(s)}$.

Здесь $T_{зд2}$ – заданное значение единственного расчетного параметра оптимальной динамической настройки КР, которое определяют по формуле $T_{зд2} = \gamma\tau_y = 0,382 * 21,3 = 8,34$ [2].

В результате передаточная функция фильтра $W_{\phi}(s)$ будет равна:

$$W_{\phi}(s) = \frac{(T_{гл}s+1)(\sigma_{гл}s+1)}{k_{гл}(T_{зд2}s+1)^2} = \frac{(40,35s+1)(7,24s+1)}{1,77(0,382 \cdot 21,3s+1)^2}. \quad (5)$$

Таким образом, корректирующий регулятор ИКСАР реализован в виде последовательного соединения фильтра (5) и усилителя с единичным коэффициентом передачи, охваченного положительной обратной связью с заданной передаточной функцией $W_{зд2}^{3C}(s)$ замкнутой системы.

На рисунке 2 приведены графики переходных процессов в типовой САР с дифференциатором (кривая 1) и предлагаемой инвариантной относительно внутреннего возмущения каскадной системы автоматического регулирования (кривая 2).

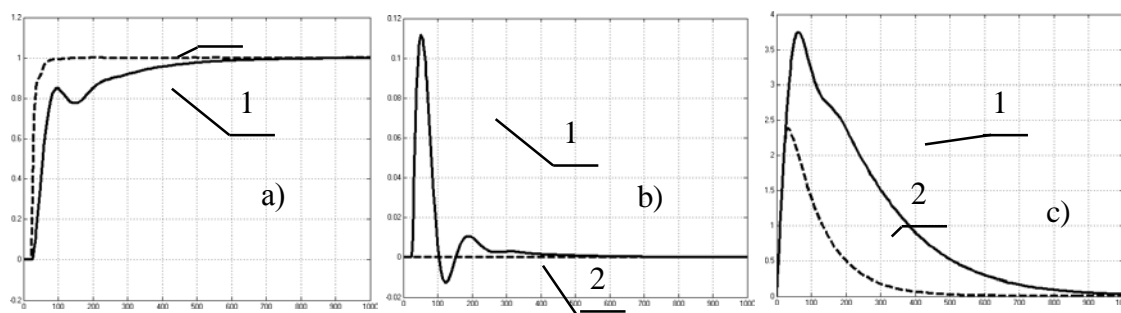


Рисунок 2 – Графики переходных процессов предлагаемой и типовой САРД температуры перегретого пара парового котла при отработке скачка задания

ИКСАР обеспечила полную инвариантность по отношению к внутреннему возмущению (прямая 2, рис. 2, *b*). Это достигается за счет ввода в систему регулирования дифференциатора инвариантности, передаточная функция которого обратно пропорциональна передаточной функции стабилизирующего регулятора.

При отработке наиболее опасного внешнего возмущения инвариантная каскадная система автоматического регулирования обеспечивает существенное повышение качества регулирования по сравнению с типовой САР с дифференциатором.

Таким образом, предлагаемая инвариантная каскадная система автоматического регулирования может быть использована при модернизации типовых систем автоматического управления теплоэнергетическими процессами.

1. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017 – 238 с.

2. Теория автоматического управления: учебное пособие для студентов специальности 1-53 01 04 “Автоматизация и управление теплоэнергетическими процессами”, 1-43 01 04 “Тепловые электрические станции”, 1-43 01 08 “Паротурбинные установки атомных электрических станций”, 1-53 01 01 “Автоматизация технологических процессов и производств” / Г.Т. Кулаков [и др.]; под общ. ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: БНТУ, 2017. – 133 с.

ИНВАРИАНТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ВНУТРЕННЕЙ МОДЕЛЬЮ

Кулаков Г.Т., Кулаков А.Т., Воюш Н.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Одной из основных проблем, снижающих эффективность использования стандартных промышленных регуляторов серийного производства, является вынужденное применение типовых алгоритмов управления для автоматизации объектов с большим запаздыванием по каналу регулирующего воздействия. Это порождает трудно разрешимую проблему “технических противоречий” между повышением быстродействия и устойчивостью системы. Повышение быстродействия типовых регуляторов неизменно приводит к снижению устойчивости [1].

Основными направлениями решения указанной проблемы является использование современных аналитических экспресс-методов структурно-параметрической оптимизации систем автоматического управления теплоэнергетическими процессами [2 ÷ 5].

Возможности существенного повышения качества регулирования теплоэнергетических процессов с использованием указанных аналитических экспресс-методов покажем на примере формирования инвариантной каскадной системы автоматического регулирования (ИКСАР) с внутренней моделью.

Схема моделирования ИКСАР и типовой каскадной системы в пакете Simulink приведена на рис. 1.

Динамика опережающего участка объекта представлена передаточной функцией инерционного звена второго порядка:

$$W_{\text{оп}}(s) = \frac{k_{\text{оп}}}{(T_{\text{оп}}s + 1)(\sigma_{\text{оп}}s + 1)}, \quad (1)$$

где $k_{\text{оп}}$ – коэффициент передачи; $T_{\text{оп}}$, $\sigma_{\text{оп}}$ – соответственно большая и меньшая постоянные времени в минутах.

Структуру стабилизирующего регулятора (СР) определим на основе передаточной функции оптимального регулятора для объекта без запаздывания [5]:

$$W_{\text{р1}}^{\text{opt}}(s) = [W_{\text{оп}}^*(s)]^{-1} W_{\text{зд1}}^{\text{PC}(n=1)}(s). \quad (2)$$

Здесь $W_{\text{оп}}^*(s)$ – расчетная передаточная функция опережающего участка, равная:

$$W_{\text{оп}}^*(s) = \frac{k_{\text{оп}}}{T_{\text{оп}}^*s + 1}, \quad (3)$$

где постоянная времени передаточной функции (3) с учетом (1) равна:

$$T_{\text{оп}}^* = T_{\text{оп}} + \sigma_{\text{оп}}. \quad (4)$$

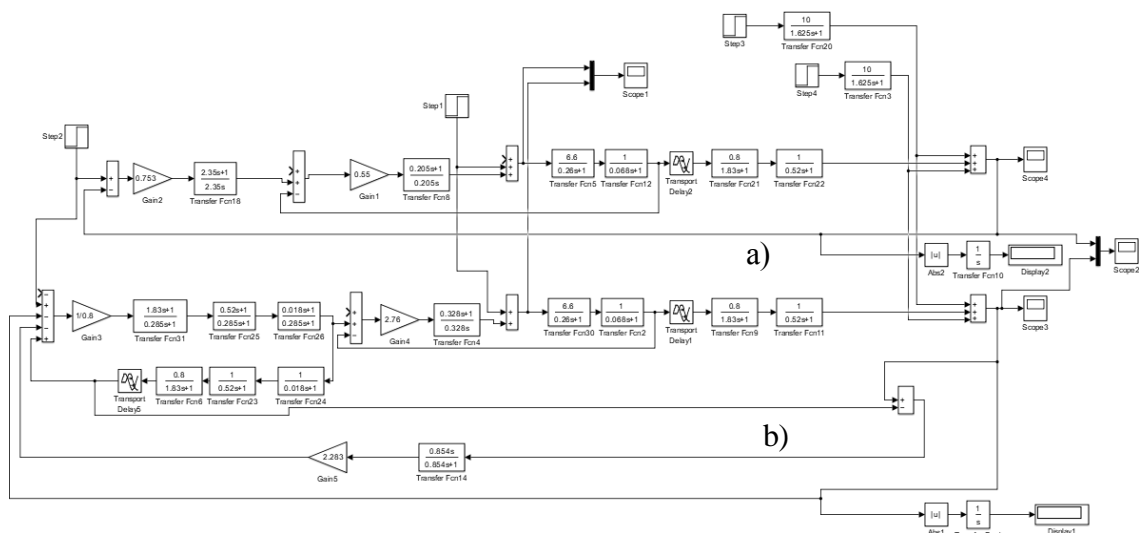


Рисунок 1 – Схема моделирования типовой (а) и инвариантной САР с внутренней моделью (б) в пакете Simulink

При этом заданная передаточная функция разомкнутой системы представлена интегрирующим звеном [5]:

$$W_{зд1}^{PC(n=1)}(s) = \frac{1}{T_{зд1}s}, \quad (5)$$

где $T_{зд1}$ – единственный расчетный параметр динамической настройки СР, численные значения которого рассчитывают по формуле:

$$T_{зд1} = \gamma_1 T_{оп}^* \quad (6)$$

Здесь $\gamma_1 \in [0,618; 0,382; 0,236; \dots; 0,09; 0,056]$ – весовой коэффициент из ряда чисел пропорции золотого сечения, где за целое принято численное значение $T_{оп}^*$ [5].

Подставив в передаточную оптимального регулятора (2) передаточные функции (3) и (5), получим:

$$W_{зд1}^{opt}(s) = \frac{k_{p1}(T_{н1}s+1)}{T_{н1}s}, \quad (7)$$

где время интегрирования $T_{н1} = T_{оп}^* = 0,328$ мин, (8)

а коэффициент передачи СР $k_{p1} = \frac{T_{оп}^*}{K_{оп}T_{зд1}}$. (9)

При $\gamma_1=0,056$, с учетом максимально допустимой величины регулируемого воздействия при отработке скачка задания, численное значение коэффициента передачи стабилизирующего регулятора будет равно $k_{p1} = 2,76 \frac{T/Ч}{oC}$. В результате чего внутренний контур системы со СР может быть заменен на передаточную функцию вида:

$$W_{зд1}(s) = \frac{1}{T_{зд1}s+1}, \quad (10)$$

где $T_{зд1} = \gamma_1 T_{оп}^* = 0,018$ мин. (11)

Динамика инерционного участка объекта представлена инерционным звеном второго порядка с условным запаздыванием по каналу регулирующего воздействия [3]:

$$W_{\text{ин}}(s) = \frac{k_{\text{ин}} e^{-\tau_y s}}{(T_{\text{ин}} s + 1)(\sigma_{\text{ин}} s + 1)}, \quad (12)$$

где $k_{\text{ин}}$ – коэффициент передачи; $T_{\text{ин}}$, $\sigma_{\text{ин}}$ – соответственно большая и меньшая постоянные времени передаточной функции (12); τ_y – условное запаздывание.

С учетом (10) и (12) эквивалентная передаточная функция объекта для формирования структуры корректирующего регулятора имеет следующий вид:

$$W_{\text{зкв}}(s) = W_{\text{зд1}}(s) W_{\text{ин}}(s) = \frac{k_{\text{ин}} e^{-\tau_y s}}{(T_{\text{ин}} s + 1)(\sigma_{\text{ин}} s + 1)(T_{\text{зд1}} s + 1)}. \quad (13)$$

Выход корректирующего регулятора (КР) подключаем с плюсом к входу КР с использованием полной модели эквивалентного объекта:

$$W_{\text{зкв}}^{\text{мод}}(s) = W_{\text{зкв}}(s) = \frac{k_{\text{ин}} e^{-\tau_y s}}{(T_{\text{ин}} s + 1)(\sigma_{\text{ин}} s + 1)(T_{\text{зд1}} s + 1)}. \quad (14)$$

В результате чего, полная модель при отработке скачка задания полностью компенсирует сигнал главной обратной связи замкнутой системы. При этом замкнутая система превращается в разомкнуто-замкнутую систему, т.е. замкнутую по промежуточной регулируемой величине и разомкнутую по основной регулируемой величине. Это позволяет на корректирующий регулятор возложить функцию компенсатора той части передаточной функции полной модели (14), которая не содержит запаздывания:

$$W_{\text{КР}}^{\text{opt}}(s) = W_{\text{п2}}^{\text{opt}}(s) = \frac{1}{W_{\text{зкв}}^{\circ}(s)}. \quad (15)$$

Для физической реализации КР передаточную функцию (15) умножаем на передаточную функцию:

$$W_{\text{зд2}}^{\circ}(s) = \frac{1}{(T_{\text{зд2}} s + 1)^2}, \quad (16)$$

где $T_{\text{зд2}} = \gamma_2 \tau_y = 0,146 * 1,95 = 0,285$ мин так как за целое в данном случае принята величина условного запаздывания τ_y [5].

С учетом (14), (15) и (16) передаточная функция КР примет вид:

$$W_{\text{п2}}^{\text{opt}}(s) = \frac{(T_{\text{ин}} s + 1)(\sigma_{\text{ин}} s + 1)(T_{\text{зд1}} s + 1)}{k_{\text{ин}} (T_{\text{зд2}} s + 1)^2}. \quad (17)$$

Для существенного улучшения качества отработки внешнего возмущения второй выход полной модели с минусом подключаем к входу дополнительного элемента сравнения (ЭС), на второй вход которого подаем сигнал основной регулируемой величины, а выход ЭС подаем на вход устройства компенсации (УК) внешнего возмущения. При этом выход УК с минусом подаем на вход КР, а УК реализуем в виде реального дифференциатора со следующими значениями параметров настройками:

$$k_{\text{д}} = 1/3\gamma_2, T_{\text{д}} = 3T_{\text{зд2}} = 3\gamma_2 \tau_y.$$

Графики переходных процессов типовой и инвариантной САР при основных воздействиях приведены на рис. 2.

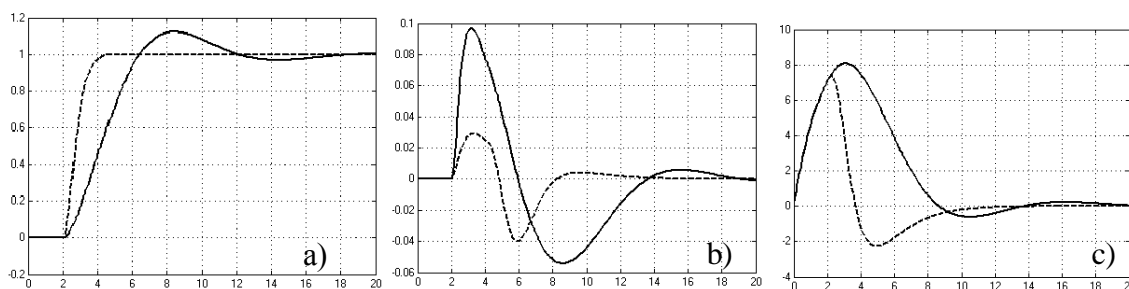


Рисунок 2 – Графики переходных процессов типовой и инвариантной САР при обработке основных воздействий

При обработке скачка задания (рис. 2, а) время регулирования ИКСАР (пунктирная линия) в 3,7 раза меньше, чем ТКСАР (сплошная линия). При этом максимальная величина перерегулирования ТКСАР составляет 12,5%, а у ИКСАР перерегулирование отсутствует.

При обработке внутреннего возмущения (рис. 2, в) максимальная динамическая ошибка регулирования ИКСАР в 3,6 раза меньше, чем ТКСАР. Причем время регулирования уменьшается в 1,6 раза, а интегральная оценка по модулю ошибки регулирования сокращается в 3,2 раза.

При обработке внешнего возмущения (рис. 2, с) быстродействие ИКСАР повысилась в 2,1 раза по сравнению с ТКСАР, а интегральная оценка по модулю ошибки регулирования уменьшилась в 1,8 раза.

Таким образом, ИКСАР существенно повышает качество обработки основных воздействий по сравнению с типовой.

1. Коновалов, М.А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов / М.А. Коновалов. – К.: Феникс, 2009. – 312 с.

2. Кулаков, Г. Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования : справочное пособие / Г. Т. Кулаков. – Мн.: Вышэйшая школа, 1984. – 192 с.

3. Кулаков, Г. Т. Анализ и синтез систем автоматического регулирования : учеб. пособие / Г. Т. Кулаков. – Минск : УП «Технопринт», 2003. – 135 с.

4. Кузьмицкий, И.Ф. Теория автоматического управления: учебное пособие для студентов специальности “Автоматизация технологических процессов и производств”, “Автоматизация пароторубинных установок и ядерных реакторов АЭС”, “Информационные технологии и управление в технических системах” / И. Ф. Кузьмицкий, Г. Т. Кулаков. – Минск: БГТУ, 2010 – 574 с.

5. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: учебное пособие / Г.Т. Кулаков [и др.]; под ред. Г.Т. Кулакова. – Минск: Вышэйшая школа, 2017. – 238 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ

Левченко И.А., Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Система водоснабжения должна обеспечивать водозабор, очистку и подачу воды потребителям в необходимых количествах и требуемого качества с соблюдением требований надежности.

Система водоснабжения – это комплекс инженерных сооружений, включающий в себя водозаборы, с помощью которых осуществляют захват воды из природных источников, насосные станции, подающие воду к местам ее очистки, хранения и потребления, очистные сооружения для улучшения качества воды, водоводы и водопроводные сети, служащие для транспортирования воды к местам потребления и ее распределения, башни и резервуары, играющие роль регулирующих и запасных емкостей.

Насосные станции (НС) являются ключевым элементом в системе водоснабжения, поэтому очень важно контролировать их работу и грамотно ей управлять, учитывая затраты на электроэнергию и обеспечивая бесперебойную подачу воды потребителям.

Разработка автоматической системы управления (АСУ) насосной станцией значительно упрощает процесс управления водоснабжением и обеспечивает контроль за расходом воды и электроэнергии. Схема автоматики АСУ насосной станцией представлена на рисунке 1.

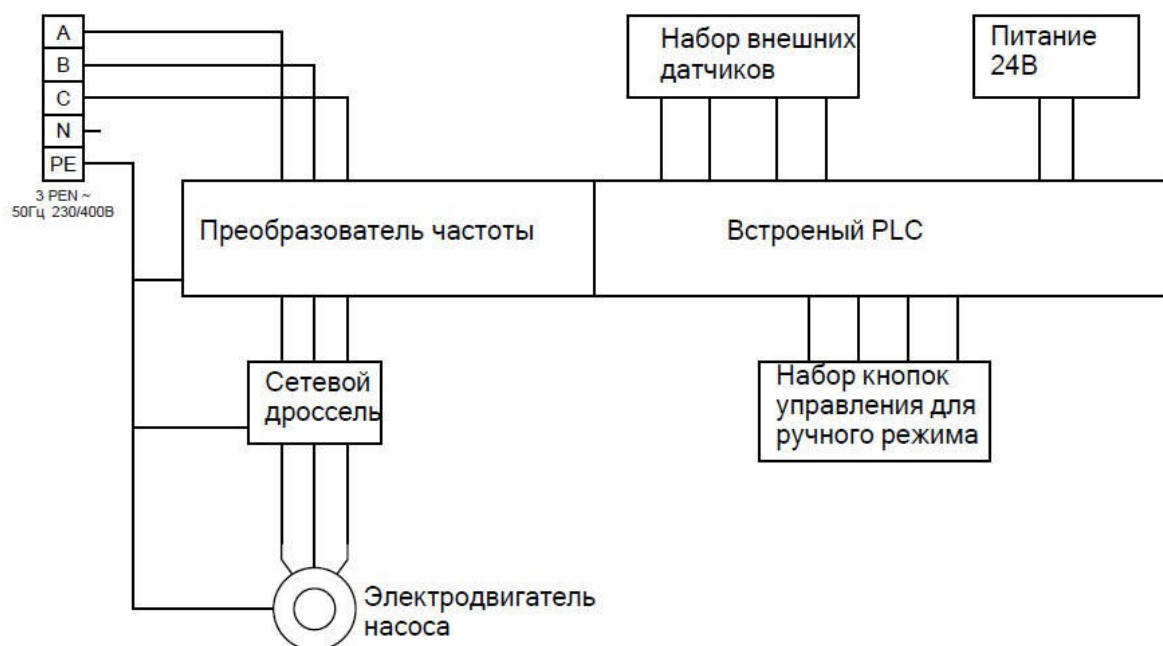


Рисунок 1 - Схема автоматики АСУ

Управление электродвигателем осуществляется с помощью частотно-регулируемого электропривода. Контроль сухого хода насоса при помощи датчика температуры обмоток статора электродвигателя насоса.

Система управления построена на современной элементной базе и включает в себя следующие элементы:

— преобразователь частоты (ПЧ) с интегрированным программируемым логическим контроллером (ПЛК), осуществляющим выполнение алгоритмов работы системы управления;

— кнопочный пульт управления с черно-белой графической панелью, предназначенной для управления, отображения состояния насосного оборудования и технологических параметров, ввода заданий и конфигурации непосредственно на объекте;

— пускозащитная аппаратура.

Для обеспечения защиты электрических цепей питания насосного агрегата и групп электроприемников от перегрузки и короткого замыкания предусматриваются автоматические выключатели.

Для плавного регулирования производительности насоса, а также для предотвращения гидроударов при пуске/останове насоса предусмотрен преобразователь частоты. Преобразователь частоты оснащен дросселем звена постоянного тока, который ограничивает гармонические искажения тока на входе преобразователя частоты, обусловленных наличием в схеме последнего нелинейных элементов.

Для защиты входных цепей ПЧ (диодов сетевого выпрямителя) используется автомат защиты с электромагнитным расцепителем.

Для успешного подавления электромагнитных помех и повышения надежности и долговечности электродвигателя насоса установлен сетевой дроссель.

Электрические элементы и приборы САУ устанавливаются в щит с монтажной панелью, кнопки управления для ручного режима устанавливаются на дверь щита. Щит устанавливается непосредственно на насосной станции. Установка и монтаж приборов, аппаратуры и щитов должна выполняться в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей», «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

В проекте разрабатывается САУ, которая включает в себя: схему электрическую принципиальную разрабатываемой системы управления; схему электрическую расположения компонентов системы на монтажной панели; схему подключения внешних устройств к щиту. В проекте предусмотрена передача сигналов об аварии общей и пожаре на диспетчерский пункт по оптоволоконным линиям связи.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ В ТЕПЛИЦАХ

Липницкий Л.А.¹, Шалькевич П.К.¹, Ковалев В.И.²

- 1). Международный государственный экологический институт имени А.Д.Сахарова Белорусского государственного университета
- 2). Белорусский государственный аграрный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Повышение производительности производства овощной и цветочной продукции в защищенном грунте (скорость выращивания и урожайность) напрямую зависит от создания оптимальных условия микроклимата для растений на протяжении всего вегетационного периода выращивания от посадки семян до получения урожая. К основным параметрам микроклимата, которые необходимо поддерживать в теплицы, относятся температура и газовый состав воздуха, состав и периодичность полива, влажность и освещение.

Многочисленные исследования показали, что для интенсивного выращивания светолюбивых растений необходимо обеспечивать освещение в пределах 150–220 Вт/м², при этом спектр излучения необходимо также оптимизировать. Усредненно для большинства растений состав излучения имеет следующее соотношения спектра: 30% – в синей области (380–490 нм), 20% – в зеленой области (490–590 нм) и 50% – в красной области (600–700 нм) [1]. При этом необходимо также увеличивать продолжительность освещения за счет искусственных источников при недостаточности естественного освещения. При обеспечении оптимальных параметров искусственного освещения удастся получать урожай в несколько раз выше и в более короткие сроки, чем при естественном освещении.

Более детальные исследования показали, что разные части спектра по разному влияют на определенные процессы развития растений. При этом от периода вегетации зависит, какой тип спектра ускоряет процессы развития растения, а какой наоборот их угнетает. Красные (720-600 нм) и оранжевые (620-595 нм) спектр вносят основной вклад энергии в процесс фотосинтеза. Благодаря ему увеличивается биомасса, при этом увеличение этого спектра тормозит процесс цветения. Синий спектр (490-380 нм) регулирует скорость развития растений, позволяет получить рассаду с более короткими, утолщенными стеблями и мясистыми листьями. Он также способствует образованию органических веществ и ускоряет цветение. Ультрафиолетовый спектр (270-380 нм) стимулирует жизнедеятельность и синтез витаминов, повышает холодостойкость.

Используемые ранее в теплицах натриевые высокого давления, металлогалогенные и некоторые другие типы ламп имели ограниченный спектр освещения, низкую эффективность и не позволяли обеспечить оптимальные условия для выращивания растений в течение всего периода вегетации. К тому же они не могли создать равномерность освещения по всей площади теплицы.

С появлением светодиодного освещения и возможности обеспечивать с его помощью различных типов спектра, а также благодаря компактности светодиодных светильников и их низкому энергопотреблению, возникла возможность создания принципиально нового способа организации освещения в теплицах. Новая система освещения позволяет разместить в теплице сразу несколько компактных светодиодных светильников с разным типом спектра или совместить их в одном.

Автоматическая система освещения, которая может построена на светодиодном освещении дает возможность решению следующих задач:

- включение необходимого спектра света в зависимости от периода вегетации;
- выбор типа спектра с учетом типа и особенности каждого вида растения;
- изменение яркости света в зависимости от необходимого уровня освещения и растений и яркости наружного освещения.

Для решения указанных задач необходимо использование в качестве регулирующего органа светодиодных светильников с возможностью воспроизведения необходимого диапазона спектра освещения, в качестве измерительного элемента должны использоваться датчики освещения и температуры. Для управления системой освещения целесообразно выбрать систему автоматического регулирования, постоянную на микропроцессорной системе с программным управлением. Программа должна задавать уровень и спектр освещения с учетом типа растения, периода вегетации, уровня естественного освещения и температуры в теплице. При этом в программу можно заложить алгоритм настройки работы светильников с учетом различных видов растений или в зависимости от сорта растения, например для различных сортов салата или томатов. Для улучшения результатов работы и повышения большего урожая в более короткие сроки было бы оптимальным увязать с уровнем и спектром освещения растений поддержание необходимого уровня температуры в теплице за счет обогрева и вентиляции, подачу питательного раствора к растениям с учетом с корректировкой его количества и химического состава, а также при наличии возможности поддержание оптимального газового состава и влажности воздуха. Такая система обеспечила бы оптимальное автоматическое управление системой защищенного грунта.

Появление светодиодного освещения с возможностью регулировки спектра дает возможность создания систем автоматического регулирования теплиц, построенных на базе микропроцессорного управления с учетом различных видов и сортов растений, что позволит заметно ускорить созревание и урожайность выращиваемых в защищенном грунте культур.

1. Бахарев И. и др. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы / И. Бахарев [и др.] // Современные технологии автоматизации. – 2010. – № 2. – С. 76-82.

АЛГОРИТМЫ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Интенсивно развивающиеся информационные системы и технологии дают возможность решения широкого круга задач исследования сложных динамических систем различной физической природы. При этом, как правило, отходят на второй план традиционные подходы, основанные на использовании аналитических методов исследования математических моделей систем. В то же время современные информационные технологии позволяют значительно расширить круг задач, решаемых с помощью известных аналитических методов за счет использования систем компьютерной математики или других программных средств.

Одним из интенсивно развивающихся направлений развития науки и техники является создание робототехнических комплексов, системы управления которых обладают элементами искусственного интеллекта, важным элементом которых являются подсистемы оценивания (фильтрации) сигналов, являющихся источниками информации, используемой для управления данными объектами. Работы [1-7] посвящены вопросам решения данных задач.

В работе [1] решается задача определения функции принадлежности выходных сигналов стохастической нелинейной системы на основе ее вероятностного анализа при использовании метода статистической линеаризации нелинейностей. Получено векторно-матричное дифференциальное уравнение для вектора вероятностей состояний системы и дифференциальные уравнения для вероятностных моментов.

В работе [2] на основе теории оптимальной фильтрации проводится анализ методических ошибок, которые возможны при применении алгоритма оптимальной оценки фазовых координат стохастической системы. Проводится исследование этих ошибок путём моделирования конкретного примера.

В работе [3] на основе теории систем случайной структуры рассматривается задача комплексирования в БЛА инерциальной навигационной системы и спутниковой навигационной системы с идентификацией режимов работы и оптимальной оценкой выходных сигналов измерителей. В работе [4] решается задача комплексирования измерителей случайных процессов и фильтров их оценки с помощью алгоритмов нечеткой логики.

В работе [5] рассматривается задача получения уравнения для апостериорной плотности вероятности стохастического марковского процесса при линейной модели измерений. В отличие от

распространенных подходов, основанных на рассмотрении в качестве критерия оптимизации минимума среднего квадрата ошибки оценивания, в данном случае в качестве критерия оптимизации рассматривается максимум апостериорной плотности вероятности оцениваемого процесса.

В работе [6] рассматривается задача оценивания информации, содержащейся в случайных сигналах, поступающих от различных источников – измерителей. Для повышения точности оценивания предлагается применять комплексирование всех возможных измерителей с введением дополнительной априорной информации с помощью системы нечеткой логики на основе выходных параметров фильтра Калмана с помощью нормировки апостериорной плотности вероятности.

В работе [7] Рассматривается задача оценивания информации, содержащейся в случайных сигналах на основе предложенного критерия максимума апостериорного правдоподобия, объединяющего критерий максимума правдоподобия и критерий максимума апостериорной вероятности, на основе чего разработана общая методика комплексирования. Данный подход к построению алгоритмов оценивания многомерных случайных процессов позволяет повысить точность оценивания.

1. Лобатый, А.А. Фаззификация сигналов нелинейной стохастической системы / А.А. Лобатый, М.А. Аль-Машхадани // Наука и техника. – 2013 № 2. – С. 28-32.

2. Лобатый, А.А. Особенности применения фильтров Калмана-Бьюси в комплексах ориентации и навигации / А.А. Лобатый, А.С. Бенкафо // Доклады БГУИР. – 2013. – № 5(75). – С. 67-71.

3. Лобатый, А.А. Оценка навигационных параметров подвижного объекта в условиях многорежимности / А.А. Лобатый, А.С. Бенкафо // Доклады БГУИР. – 2014. – № 4(82) . – С. 52-58.

4. Лобатый, А.А. Структурно-параметрическая нечеткая коррекция алгоритма фильтрации / А.А. Лобатый, А.С. Бенкафо, А.С. Абуфанас // Системный анализ и прикладная информатика. – 2014. – № 4. – С. 4-8.

5. Лобатый, А.А. Оптимальное оценивание случайного процесса по критерию максимума апостериорной вероятности / А.А. Лобатый, Ю.Ф. Яцына, Н.Н. Арефьев // Системный анализ и прикладная информатика. – 2016. – № 1. – С. 35-41.

6. Лобатый, А.А. Пошаговая нечеткая коррекция алгоритма фильтрации случайных сигналов / А.А. Лобатый, А.С. Радкевич // Системный анализ и прикладная информатика. – 2019. – № 1. – С. 35-40.

7. Лобатый А.А. Особенности построения алгоритмов оценивания параметров многомерных случайных процессов / А.А. Лобатый, А.Ю. Бумай // Системный анализ и прикладная информатика, 2020. – № 1. – С. 24-31.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЯМБДА ФУНКЦИЙ В ОБЛАЧНЫХ РЕШЕНИЯХ AMAZON

Лях М.В., Дербан А.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Сервис Lambda ограничивает доступ к операционным системам, гипервизорам и оборудованию, на котором выполняются лямбда-функции. Сервис постоянно развивается и изменяет инфраструктуру, чтобы предоставлять новые возможности, снижать стоимость и повышать производительность. Программный код, запущенных приложений не должен опираться на какие-либо предположения о том, как устроена архитектура Lambda, и не должен предполагать исполнения на какой-то конкретной аппаратной платформе. Подобное абстрагирование позволяет сосредоточиться на необходимых интеграциях, потоках данных и бизнес-логике, которые в свою очередь представляют ценность для конечных пользователей. Сосредоточив управление базовыми механизмами функционирования в рамках специализированных сервисов можно разрабатывать приложения быстрее и с меньшим количеством кода, который в свою очередь необходимо сопровождать.

При написании лямбда-функций следует исходить из того, что среда выполнения создаётся только на время единственного вызова.

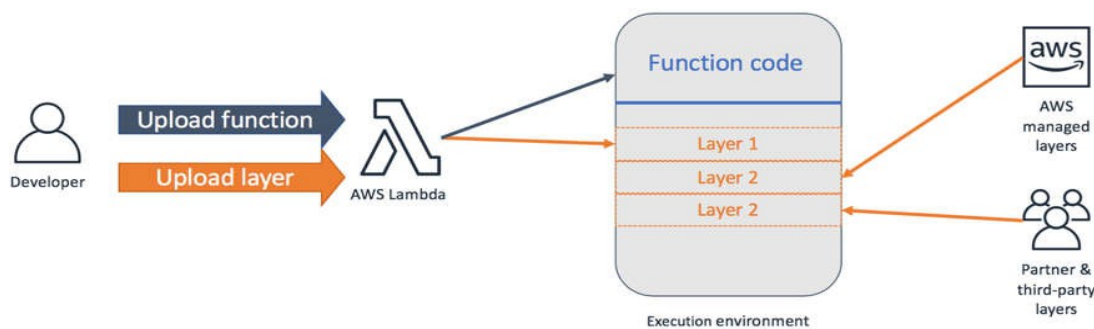


Рисунок 1 - Схема реализации Lambda-функции

1. Официальный сайт Amazon [Электронный ресурс] -
<https://aws.amazon.com/ru/blogs/rus/operating-lambda-design-principles-in-event-driven-architectures-part-2>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАНИЯ ИНВАЗИВНЫХ РАСТЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКИ

Мазуренко А.С., Аниськов И.П.

**РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов»
НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь**

Активное внедрение гиперспектральных (далее – ГС) камер в процесс распознавания образов повлекло за собой необходимость применения специальных методов анализа большого информационного объёма данных изображений в формате гиперкубов для множества спектральных каналов современных ГС камер (до сотен каналов). С целью ускорения обработки изображений такого большого объёма информации применяют специальным образом обученные нейронные сети (далее – НС). Для задач распознавания образов эффективно использовать свёрточные НС. Наиболее показательным частым применением ГС камер для распознавания образов является применение их для распознавания типов культур и оценки их состояния [1]. В качестве устоявшегося подхода в распознавании типа и состояния сельскохозяйственной культуры (далее – СК) часто применяют построенные на основе гиперкубов изображений с достаточно высоким спектральным разрешением (достаточно большим количеством спектральных каналов) и диапазоном, включающим оптический и ближний инфракрасный, карты нормализованного дифференциального индекса вегетации NDVI, которые во временной многомесячной динамике по анализу широко доступных ГС данных дистанционного зондирования со спутников [2] позволяют однозначно определить тип и состояние сельскохозяйственного посева в течение периода вызревания этого посева.

Ещё одним из ярких применений специально обученных свёрточных НС стало использование их для восстановления изображений полученных от ГС камер с наиболее компактными оптическими системами, минимизированными за счёт применения дифракционно искажающих изображения дифракционных оптических элементов. В рамках НИРОКР «Разработать и освоить в производстве многофункциональный беспилотный авиационный комплекс обследования территорий с целью выявления мест произрастания инвазивных растений, путей и средств их перевозки» № государственной регистрации 20213676 с установкой на беспилотном летательном аппарате (далее – БЛА) применена такая компактная ГС камера Copter.Space [3] производства Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева с дифракционным оптическим элементом, позволяющим исключить из оптической системы камеры традиционную тяжёлую и громоздкую призму в рефракционном подходе получения ГС изображений. Для восстановления дифракционно искаженного изображения используется свёрточная НС в процессе загрузки ГС данных съёмки

этой камерой с БЛА через сеть Интернет на сервер облачного сервиса (далее – СО) ООО «Байт-Самара». После восстановления дифракционно изменённых данных съёмки этот СО также осуществляет сборку ортофотопланов и построение гиперкубов с пространственной геопривязкой, визуализацией и анализом ГС данных с использованием алгоритма поиска посевов инвазивных растений (далее – ИР) на основе анализа карт индекса вегетации NDVI. В настоящее время на российском сервере СО ООО «Байт-Самара» не предусмотрены возможности ретроспективного анализа состояния СК на протяжении сезона её роста, что реализовано в платном американском сервисе [2]. Однако существующие бесплатные и платные интернет-сервисы дистанционного зондирования со спутника пока не предусматривают выявление и анализ состояния важных для МВД Беларуси (заказчика НИОКР, результаты которой представляются здесь) ИР.

Вне задач настоящей НИОКР в рамках независимой НИР предприятия по наработанным методам анализа карт индекса вегетации NDVI разрабатывается специальная ИС для ускорения выявления ИР с минимизацией ошибок распознавания ГС данных съёмки.

Таким образом, применение ГС камеры Copter.Space [3] производства Самарского национального исследовательского университета им. акад. С.П. Королева с анализом ГС данных съёмок (с БЛА предприятия в рамках НИОКР) на сервере СО ООО «Байт-Самара» является первым доступным белорусским практическим опытом поиска ИР. В отличие от анализа вида и состояния СК с возможностью ретроспективного исследования на протяжении сезона её роста, предполагаемого в платном сервисе [2] анализа данных дистанционного зондирования со спутника, в предпринятом в НИОКР распознавании СК с БЛА нет возможных ограничений закрывающей поля СК облачности, частой в условиях умеренного климата Беларуси, выше точность съёмки с БЛА посевов СК и есть возможность адаптации средств анализа ГС данных для поиска ИР. Опыт поиска ИР с БЛА с установленной ГС камерой Copter.Space [3] уже есть в Российской Федерации. В тесном сотрудничестве с российской стороной этот опыт в рамках НИОКР адаптируется к задачам МВД Беларуси.

1. Распознавание типов культур и оценка состояния их здоровья с использованием гиперспектральной съёмки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sovzond.ru/press-center/articles/tech-equipment/6177/>. – Дата доступа: 28.02.2022.

2. ГИС карта: Виды геоинформационного картирования и их применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eos.com/ru/blog/gis-karta/>. – Дата доступа: 28.02.2022.

3. Беспилотники-агрономы для «умного земледелия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://scientificrussia.ru/articles/bespilotniki-agronomy-dlya-umnogo-zemledeliya>. – Дата доступа: 28.02.2022.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЕРЕПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ С ЯЧЕЙСТАМИ СТРУКТУРАМИ С ВЫПОЛНЕНИЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА В СРЕДЕ ANSYS

Маканов Д.В., Полозков А.Ю., Полозков Ю.В., Напрасников В.В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Решение задачи по автоматизации многократного перепроектирования исходной геометрической модели детали для интеграции ячеистых структур с учетом инженерного анализа в среде ANSYS предлагается выполнить с помощью библиотеки PyANSYS, которая с использованием языка программирования Python позволяет интерактивно управлять экземпляром ANSYS и считывать данные из двоичных файлов результатов (.rst), двоичных данных массы и жёсткости (.full) и блочного архива ASCII (.cdb) [1]. В качестве исходных данных рассматривается геометрическая модель монолитной детали, для которой в среде ANSYS в интерактивном режиме должна быть сформирована и записана в соответствующий текстовый файл схема нагружения с указанием необходимых ограничений, действующих сил и прочих показателей, определяющих напряженно-деформированное состояние детали.

Общий алгоритм автоматизации включает три основных шага. На шаге 1 осуществляется получение исходных данных в виде файлов модели и схемы нагружения для данной модели. В процессе проведения инженерного анализа модель представляется в виде сетки конечных элементов, в узлах которой определяются значения нагрузок, деформации или напряжения. При этом идентификаторы элементов могут варьироваться от эксперимента к эксперименту. Поэтому в скрипте используются динамические переменные. Программная реализация данного шага заключается в создании объекта Mechanical APDL из библиотеки PyANSYS при помощи метода `launch_mapdl()` из пакета `ansys.mapdl.core` и вызова специальных методов:

```
ansys = launch_mapdl()
ansys.run("IGESIN, '%s', 'IGS', '%s' ! import" %
          (str(pathlib.Path(self.detail_fn).stem),
           str(pathlib.Path(self.detail_fn).parent.absolute()))).
```

Команда `run()` объекта ANSYS даёт возможность передать команды, понятные Mechanical APDL. Во второй команде реализуется чтение 3D-модели в виде IGS-файла, а встроенная библиотека Python `pathlib` даёт возможность корректного указания пути к модели `self.detail_fn`. Поскольку схема нагружения представляется в виде скрипта с командами для Mechanical APDL, то программа читает данный файл построчно и каждую команду выполняет в методе `run()`:

```

def run_load_schema(self, ansys):
    with open(file=self.load_schema_fn, mode="r", encoding="utf-8") as
load_schema_commands:
    for command in load_schema_commands:
        if not command.isspace() and command[0] != '!':
            ansys.run(command).

```

На шаге 2 на основе полученных данных происходит расчет возможных комбинаций ячеистых структур и их параметров. Программная реализация данного шага заключается в создании специальных типов данных для хранения объектов с параметрами, используемыми на третьем шаге.

На шаге 3 происходит добавление ячеек в модель с помощью библиотеки PyANSYS, повторное применение схемы нагружения и запуск инженерного анализа:

```

drawer = self.create_drawer(ansys, cells, body_params, calc_param)
res = ansys.run("*GET, KMax, VOLU,, NUM, MAX")
start = res.index("VALUE= ") + 7
volume_id = res[start:]
drawer.set_cells(cells)
cells_coordinates = drawer.draw_cells_volumes()
ansys.run("VSBV,%s,ALL,,," % (volume_id))
self.run_load_schema(ansys).

```

На этом шаге при помощи команды VSBV объем ячеистых структур, вычисленный на шаге 2, удаляется из исходной модели детали. В конце вызывается метод `self.run_load_schema(ansys)`, который повторно применяет схему заданную нагружения. При существовании необходимости дальнейшей модификации модели шаг 3 запускает повторный анализ напряженно-деформированного состояния детали, после чего выполняется переход на шаг 1.

Рассмотренные шаги алгоритма позволяют с использованием системы ANSYS реализовать автоматический режим многократного перепроектирования геометрии исходной модели монолитной детали путем интеграции ячеистых структур с учетом обработки данных инженерного анализа. Различные варианты алгоритмов расчета ячеистых структур и определения мест их интеграции, реализуемые на шаге 2, будут определять окончательный результат такого перепроектирования. Поэтому с разработкой данных алгоритмов связываются перспективные исследования.

1. Полозков, Ю.В. Реализация алгоритма для автоматизации многовариантного инженерного анализа деталей с ячеистыми структурами с помощью PYANSYS / Ю.В. Полозков, В.В. Напрасников, И.В. Павловский, Е.А. Яковец // Математические методы в технике и технологиях : сб. тр. междунар. науч. конф., Минск, 26 - 30 октября 2020 г. / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та ; под общ. ред. А. А. Большакова. – Минск, 2020. – Т. 12, Ч. 3. – С. 37 – 43.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИФРОВОМ СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Матвейчук Н.М.¹, Сотсков Ю.Н.²

- 1). Белорусский государственный аграрный технический университет
- 2). Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь.

Технологические процессы в сельском хозяйстве непрерывно совершенствуются, появляются новые технологии, алгоритмы и инструменты принятия решений, направленные на повышение эффективности использования ресурсов и снижение себестоимости производимой продукции.

Выделяют следующие этапы развития сельского хозяйства: традиционное сельское хозяйство или Сельское хозяйство 1.0 (начало XX века); Сельское хозяйство 2.0, с широким использованием средств механизации, удобрений и средств защиты растений (50-е годы XX века); Сельское хозяйство 3.0, с высокой степенью автоматизации и использованием информации с датчиков в режиме реального времени (с начала 1990-х гг.); Сельское хозяйство 4.0, основанное на управлении технологическими процессами с использованием элементов искусственного интеллекта и интернета вещей (с начала 2010-х гг.) и получившее название «цифровое» или «умное» сельское хозяйство.

Повышается доля предприятий АПК, использующих цифровые технологии. Ведется внедрение элементов системы «точного» земледелия (системы параллельного вождения, учета расхода топлива, дифференцированного внесения удобрений и средств защиты растений), реализуются проекты по цифровизации животноводства (системы управления стадом, автоматизированного кормления животных, прослеживаемости животных и продукции и др.).

Внедрение цифровых технологий в сельском хозяйстве подразумевает комплексное использование современных разработок, включая интернет вещей, облачную обработку данных, технологии 3S (дистанционное обследование, географические информационные системы и GPS) разработку средств сбора, анализа и передачи данных сверхвысокой детализации и др.

Управление технологическими процессами сельскохозяйственного производства основано на анализе больших массивов данных: данные об объемах производства, данные метеостанций, агроэкологических обследований, паспорта полей, данные о контурах полей, севооборот, посевные площади и культура, данные о состоянии стада, ветеринарное состояние, прослеживаемость продукции, данные телеметрии о состоянии сельхозтехники, агрохимобследования, контрольные параметры качества продукции.

Перспективным является применение облачных технологий хранения и обработки данных. На мировом рынке сложились устойчивые тренды по развитию цифровых платформ в агропромышленном комплексе, реализуемые на технологиях PaaS (Platform-as-a-Service, «платформа как услуга»). В этом случае все данные с датчиков хранятся в «облаке», что освобождает сельскохозяйственное предприятие от необходимости наличия мощных серверов для хранения данных за весь период наблюдений.

Облачные технологии позволяют объединить сельскохозяйственные предприятия в единую интегрированную информационно-коммуникационную систему с использованием элементов искусственного интеллекта для разработки управляющих алгоритмов. Управление технологическими процессами на основе анализа больших данных позволит снизить риски и обеспечить устойчивый рост производства сельскохозяйственной продукции. Управляющие алгоритмы, основанные на самообучающихся нейросетях, будут непрерывно корректироваться и уточняться по мере поступления новых данных. Наличие единой информационной базы позволит выработать рекомендации для каждого сельскохозяйственного предприятия с учетом наблюдаемых тенденций (прогнозируемые погодные условия, распространение болезней, вредителей и т.п.) и накопленного опыта других предприятий.

Представляет интерес сочетание облачных и граничных вычислений. В этом случае непосредственное управление технологическим процессом будет производиться с сервера, расположенного на территории хозяйства, на основе данных, поступающих с датчиков. Периодически будет происходить синхронизация периферийной базы данных с облачной базой данных и обновление управляющих алгоритмов для повышения качества и оперативности принятия решений. Обеспечение необходимого уровня безопасности информационных подсистем и ресурсов, целостности и конфиденциальности данных достигается использованием закрытых облачных сервисов.

Вместе с тем, в АПК наблюдается недостаточный уровень развития ИТ-инфраструктуры для создания распределенных систем управления сельскохозяйственным производством, и дефицит специалистов, обеспечивающих работу баз данных таких систем и формирование и алгоритмизацию сценариев управления (приборами, установками, процессами).

Одним из ключевым направлений при переходе к «цифровому» сельскому хозяйству должна стать подготовка высококвалифицированных кадров – специалистов в облачных технологиях, по работе с базами данных и управлению производством, а также проведение фундаментальных и прикладных исследований в области управления технологическими процессами в сельском хозяйстве с использованием цифровых технологий.

РОБОТИЗИРОВАННАЯ МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА УХОДА ЗА РАСТЕНИЯМИ

Матрунчик Ю.Н.¹, Голобурда М.Ю.²

- 1). Белорусский национальный технический университет,
г. Минск Республика Беларусь;
- 2). УО «Национальный детский технопарк» г. Минск Республика Беларусь.

Исследовательский проект «Роботизированная мобильная система ухода за растениями» реализован в рамках индивидуальной программы для заочной (дистанционной) формы получения образования по направлению «Робототехника» («Робототехнические комплексы») образовательной программы дополнительного образования одаренных детей и молодежи.

Индивидуальная программа дополнительного образования одаренных детей и молодежи заочной (дистанционной) формы получения образования имеет социально-педагогическую и научно-техническую направленность и ориентирована на развитие личности обучающихся, формирование и развитие творческих способностей, удовлетворение их индивидуальных потребностей в интеллектуальном совершенствовании, повышение мотивации к научным исследованиям, профессиональную ориентацию.

Целью исследовательского проекта стала автоматизация функций ухода за растениями в мини-садах и тепличных хозяйствах в условиях малого рабочего пространства. На основании поставленной цели была сформулирована задача проекта: разработка роботизированной мобильной системы, обеспечивающей выполнение земледельческих и агротехнических операций, таких как полив растений, внесение гранулированных удобрений, сбор и учет параметров окружающей среды.

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

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.

Роботизированная мобильная система по уходу за растениями включает в себя две мобильные роботизированные платформы, оснащенные дополнительными устройствами и системой датчиков (сенсоров) параметров внешней среды (Рис.1).

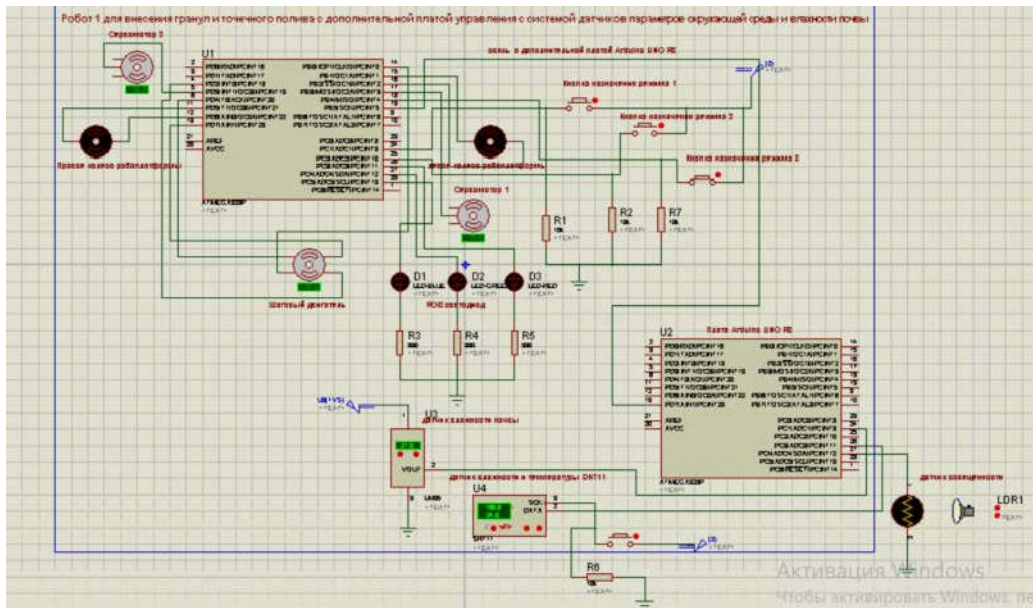


Рис.1 – Электрическая принципиальная схема робота с датчиками

В качестве оборудования выбрана мобильная платформа Robbo, управляемая микроконтроллером ATmega328P, кроме того, также используются дополнительные платы управления отдельными устройствами на базе того же микроконтроллера [1].

Робот 1 оснащен устройством для измерения уровня влажности почвы, контейнерами с водой и гранулированными удобрениями. Дополнительно установлены датчики освещенности, температуры и влажности окружающего воздуха, параметры которых передаются пользователю на ПК для контроля и принятия решения по их изменению и поддержания комфортных условий для роста и развития растений мини-теплицы.

Робот 2 оснащен буром для создания отверстий в земле возле растения для внесения удобрений роботом 1 и точечного полива почвы.

На обоих роботах установлены светодиодные RGB-индикаторы, сигнализирующие о движении, для обеспечения безопасности работы, на одного из роботов установлен пьезодинамик для звуковой сигнализации, чтобы пользователь мог знать где сейчас находится робот (которого может быть не видно в посадках).

Движение роботов происходит по заданной траектории (по нескольким вариантам).

Таким образом, не вызывает сомнений актуальность создания мобильного робототехнического комплекса, способного выполнять сразу несколько задач, связанных с возможностью и обработки почвы, и обогащения грунта с помощью внесения удобрений, и полива растений.

1. Перспективные микроконтроллеры AVR компании Atmel. [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://efo.ru/storage/docs/perspective_AVR.pdf

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА ТЕРРИТОРИЮ БНТУ

Матрунчик Ю.Н., Попок Р.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

В системах контроля и управления доступом (СКУД) часто для контроля проезда на территорию объекта используются шлагбаумы. Чаще всего шлагбаум состоит из металлической стойки и стрелы. Внутри стойки находятся двигатель, понижающий редуктор и плата управления.

Для предотвращения нанесения повреждений человеку или автомобилю стрелой шлагбаума, во время его открытия или закрытия, на стойки, по обе стороны от проезда, устанавливаются фотоэлементы. Фотоэлементы фиксируют нахождение объекта между ними и возвращают стрелу шлагбаума в исходное положение, что делает шлагбаум безопасным средством контроля и управления доступом. Также управление шлагбаумом может осуществляться через выносной радиопульт [1].

Для передачи вращающего момента от двигателя, а также для понижения оборотов используется редуктор. Редукторы могут иметь различное внутренне устройство, но они все равно подвержены износу и поломкам. Неподвижная часть привода с электромагнитами загибается в дугу. Подвижная часть с постоянными магнитами принимает форму сектора окружности. Принцип работы как у шагового двигателя: чередуя возбуждение различных обмоток, можно получить движение «ротора». При этом, поскольку «ротор» имеет форму сектора окружности, движение будет вращательным вокруг центра окружности. С противоположной от стрелы стороны находится противовес. Он одновременно выполняет две функции. Первая – балласт, уравнивающий стрелу. Правильно подобранный вес позволяет уменьшить необходимую силу сцепления между магнитами, а, следовательно, потребляемый ток. Вторая выполняемая функция – регулировка положения. При правильной настройке можно добиться того, что при отключении питания двигателя стрела шлагбаума или упадет, или поднимется вверх.

Для автоматизации процесса выезда используются две катушки индуктивности, работающие по принципу RF металлоискателя: используются две сбалансированные, разнесенные на расстояние и находящиеся в перпендикулярных плоскостях катушки. Такой металлоискатель подходит для поиска крупных металлических объектов. Когда автомобиль попадает в поле катушек, происходит их разбалансировка и управляющий сигнал поступает на ПЛК, что дает команду на открытие шлагбаума. При таком способе организации движения на выезд не контролируется кто именно выезжает.

При организации движения на въезд можно использовать RFID-метки, но работающие в диапазоне СВЧ. Такой диапазон обеспечивает работу на расстоянии до 10 метров. В таком случае водителю не нужно через открытое окно вручную прикладывать метку к считывателю, что особенно актуально в ливень или непогоду.

Однако у такого способа есть недостатки: каждого человека нужно обеспечить такой меткой, что при большом количестве транспорта может быть затруднительно. Для новых сотрудников нужно будет также приобретать метки. В данной системе используется другой метод детекции автомобиля – по автомобильным номерам. В такой системе используется камера и компьютер с установленной программой по распознаванию номеров и базой данных, например Macroscop.

В таком случае автомобиль на небольшой скорости (± 5 км/ч) подъезжает к зоне с камерой. Программа определяет автомобильный номер в кадре и сравнивает его с номерами в базе данных [2].

В случае, если есть совпадение и проезд разрешен, с компьютера на ПЛК идет сигнал на открытие шлагбаума. Когда стрела доходит до крайнего верхнего положения, срабатывает концевой выключатель, из-за чего выключается двигатель и шлагбаум находится в открытом положении некоторое время, после чего начинает движение на закрытие. Если в этот момент на ПЛК поступает сигнал от фотоэлементов о том, что в зоне проезда все еще есть автомобиль, стрела не начнет движение вниз, пока сигнал не исчезнет.

В такой системе участие человека значительно уменьшается, поскольку даже при неполном распознавании номера, программу можно настроить на открытие при совпадении n количества символов.

Помимо открытия шлагбаума, программа может уведомить персонал о том, что приехала машина, если ее ищут. В отличие от системы с RFID-метками, при появлении нового сотрудника достаточно добавить его автомобильный номер в базу данных, аналогично в ситуации, когда у сотрудника несколько машин, на которых он может въехать на территорию.

В случае, если необходимо контролировать не только въезд, но и выезд, на оборотной стороне можно также установить камеру вместо катушек.

1. СОБ [Электронный ресурс] / Системы охраны и безопасности. – Режим доступа: http://www.sob.by/access_control.php. – Дата доступа: 20.02.2022.

2. Macroscop [Электронный ресурс] / ПО для IP камер. – Режим доступа: <https://macroscop.com/produkty/programma-dlya-ip-kamer/raspoznavanie-avtonomerov>. – Дата доступа: 20.02.2022.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЧЕТ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ СОТРУДНИКОВ ПО ИДЕНТИФИКАЦИОННЫМ КАРТАМ

Матрунчик Ю.Н., Фрузорова В.А.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь.

Учет рабочего времени офисных сотрудников лежит в основе эффективного управления персоналом, что является необходимой мерой для любой организации. Физический контроль доступа может быть достигнут путем использования специально обученного охранника, который проверяет на входе пропуска, фиксирует в журнал всех посторонних лиц, однако это не является самым безопасным и рентабельным вариантом.

Повысить результативность и эффективность труда, а также добиться трудовой дисциплины помогают современные технологии, контролирующее рабочее время персонала.

В качестве варианта системы учета рабочего времени используют СКУД – системы учета и контроля доступа. Помимо основной функции контроля, такие технологии так же позволяют контролировать доступ посторонних лиц к объекту и обеспечивают сохранность корпоративного имущества.

Задача СКУД – зафиксировать точное время появления на рабочем месте и время ухода сотрудников, что позволяет легко контролировать опоздания, момент завершения рабочего дня, даже если начальства нет на месте.

Функция СКУД реализуется с помощью автоматизированной системы, которая устанавливается на вход и не позволяет пройти без электронного ключа доступа: идентификационной карты. Работа системы направлена на учет, регистрацию, обработку и анализ данных о деятельности предприятия.

СКУД включает в себя турникеты, усиленные замки с электронным ключом и другие элементы, которые запрещают свободный вход и выход в здание. Идентификационная карта представляет собой магнитную или пластиковую карту, которую сканируют для доступа к объекту. У каждого сотрудника свой идентификатор, который «вшивается» в электронный ключ. Данные от него считываются и записываются в общий электронный журнал учета, который хранится на локальном сервере.

Учет рабочего времени сотрудников включает запись и анализ контроля доступа, нахождения на рабочем месте, отработанных часов. Все эти данные сопоставляются с реально проведенными на рабочем месте часами. Для этого сотруднику необходимо, входя вовнутрь или выходя из помещения, поднести идентификационную карту к считывателю.

Контроллер, получив код карты, выдает команду на разблокирование. Таким образом регистрируется время и направление прохода работника.

Система позволяет составлять отчеты о продолжительности фактического нахождения на работе сотрудников, выявлять нарушения трудовой дисциплины.

Обеспечение высокого уровня безопасности всех производственных процессов – важная задача для функционирования предприятия. Несанкционированные проходы, нарушения пропускного режима и трудовой дисциплины, нецелевое использование рабочего времени – все это несет потенциальную угрозу, способную привести к существенным материальным издержкам.

Необходимо осознавать уровень потребности: проанализировать необходимость внедрения данной технологии, оценить уровень затрат на внедрение и эксплуатацию и сопоставить затраты с предполагаемой выгодой. Важным этапом также является постановка задачи на внедрение и выбор подрядчика, ведь далеко не всегда решения являются оптимальными в конкретной ситуации.

Совокупность различных методов идентификации позволяет организовать максимальный уровень защиты объекта от несанкционированного доступа.

Выбор методов должен основываться на уровне секретности помещения, в которое предоставляется доступ.

Таким образом, СКУД – базовая функция, необходимая для поддержания соответствующего уровня защищенности. Внедрение современной системы – это дорогостоящий проект, однако он повышает результативность и контролирует реальное рабочее время персонала.

1. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)" (направление подготовки "Автоматизированные технологии и производства") и направлению "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / А. А. Иванов. – 2-е изд., исправленное и дополненное. – Москва: Форум: ИНФРА-М, 2018. – 223 с. (2 экз.)

2. Матрунчик, Ю. Н. Микропроцессорные системы управления: лабораторный практикум для студентов специальности 1-53 01 01 "Автоматизация технологических процессов и производств (по направлениям)" / Ю. Н. Матрунчик; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Робототехнические системы". – Минск: БНТУ, 2020. – 64, [1] с.: ил., табл.

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИМПУЛЬСНОГО МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

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

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Микродуговое оксидирование (МДО) относится к экологически безопасным процессам, так как позволяет проводить обработку в электролитах с низкой концентрацией неагрессивных компонентов. При этом отсутствует необходимость тщательной предварительной подготовки поверхности перед обработкой. Данный вид обработки относится к электрохимическим процессам и отличается от традиционного анодного оксидирования наличием электрических разрядов на обрабатываемой поверхности, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на структуру и свойства получаемых оксидных покрытий [1]. Кроме того, процесс ведется при более высоких напряжениях – до 1000 В, причем чаще используется не постоянный, а переменный и импульсный токи.

МДО широко используется для нанесения покрытий на многие вентильные металлы и их сплавы, широко применяемые в машиностроении. Недостатками традиционных методов МДО являются большая продолжительность обработки (до 180 мин) для формирования оксидных слоев необходимой толщины с требуемыми свойствами и, соответственно, высокие энергетические затраты.

Для повышения производительности с возможностью управления структурой и свойствами формируемых оксидных слоев предложен метод, основанный на использовании полностью управляемых по амплитуде и длительности разнополярных импульсов амплитудой до 600 В с регулируемой частотой от 0,05 до 2,5 кГц.

В работе исследовалось влияние частоты импульсов на структуру, толщину и шероховатость формируемых покрытий. Для исследования процесса МДО выбирались следующие параметры режимов оксидирования: частота следования импульсов – 50, 500, 1000 и 2500 Гц, коэффициент заполнения – 50 %, амплитудное значение положительных импульсов – 500 В, отрицательных – 50 В. Для исследования использовались плоские образцы с размерами 40x5x1,2 мм, изготовленные из алюминиевого сплава АМг2. Обработка выполнялась в электролите следующего состава: КОН – 2,0 г/л, Na₂SiO₃·5H₂O – 9,5 г/л. Температура электролита поддерживалась в диапазоне 20–25 °С. Продолжительность обработки составляла от 10 до 60 мин.

Измерение шероховатости поверхности образцов до и после обработки производилось профилометром MarSurf PS1. Контроль и запись формы импульсов тока и спектрограмм осуществлялись запоминающим цифровым осциллографом Owon XDS3000. Микрофотографии поверхности образцов получены с помощью сканирующего электронного микроскопа VEGA II LMU с микроанализатором INCA350.

В результате обработки при всех исследованных значениях частоты следования импульсов формировался оксидный слой толщиной 33–53 мкм (после продолжительности 60 мин) с твердостью около 950 НВ. Применение высокочастотных режимов по сравнению с обработкой на частоте 50 Гц приводит к формированию более плотного оксидного слоя с существенно меньшей пористостью (рисунок 1). Шероховатость образцов при использовании высокочастотных режимов значительно ниже. Наиболее качественное покрытие формируется при частоте 1000 Гц (рисунок 2).

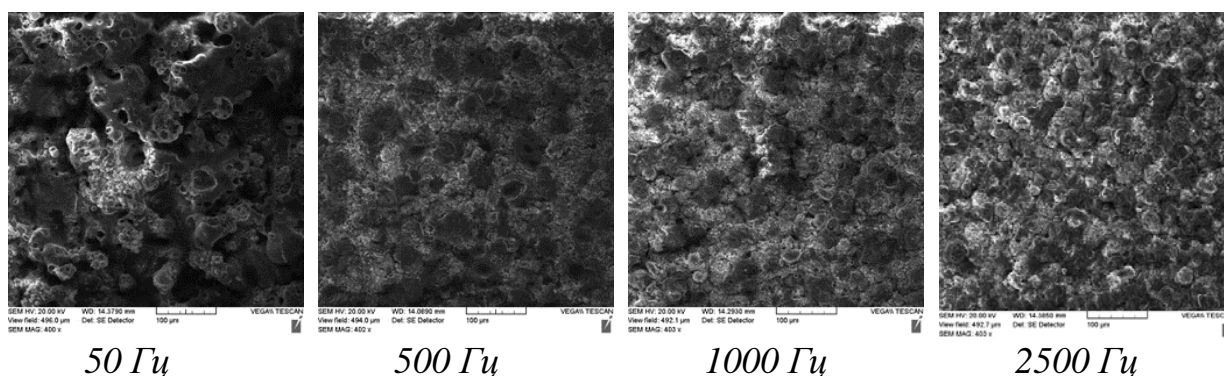


Рисунок 1 – Морфология формируемого оксидного слоя при различных значениях частоты после обработки продолжительностью 60 мин

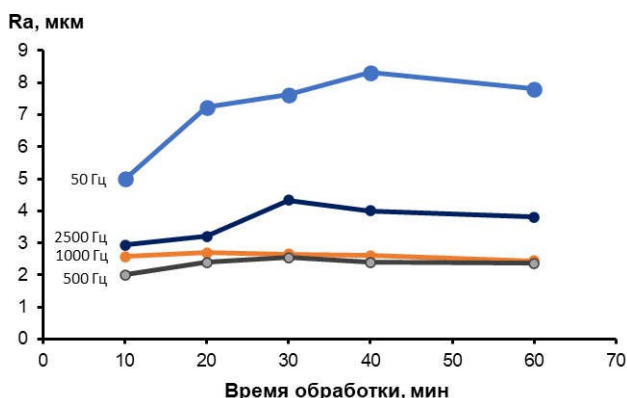


Рисунок 2 – Влияние продолжительности МДО на изменение шероховатости поверхности при различных значениях частоты

1. Суминов, И. В. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.)/ И. В. Суминов, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людин, Б. Л. Крит, А. М. Борисов — М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА

**Нисс В.С.¹, Алексеев Ю.Г.¹, Королёв А.Ю.¹, Калиниченко А.С.²,
Будницкий А.С.¹, Сенченко Г.М.¹**

- 1). Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
- 2). Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

В качестве альтернативы существующим методам упрочнения поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения. При подаче напряжения в диапазоне 100–300 В на электрохимическую ячейку, вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температур 400–1100 °С. Высокие температуры заготовки позволят проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволит значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин.

Преимуществами такого метода перед другими существующими методами термической обработки является высокая скорость нагрева заготовки (до 250 °С/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения (до 100 мкм/мин). Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости.

В работе установлены закономерности формирования микроструктуры поверхностного слоя титана при цементации с применением электролитно-плазменного нагрева. Для исследований использовались цилиндрические образцы из титана ВТ1 диаметром 2 мм длиной 40 мм. В качестве основного компонента электролита, обеспечивающего его электропроводность, использовался раствор хлорида аммония концентрацией 10 %. В качестве донора углерода в электролит

добавлялся глицерин (5–10%). Температура электролита поддерживалась в пределах 20 ± 3 °С. Напряжение обработки составляло 150, 175 и 200 В. Продолжительность обработки образцов – 10 мин.

На рисунке 1 представлены зависимости, характеризующие распределение микротвердости $HV_{0,1}$ в поверхностном слое образцов после цементации при различных значениях рабочего напряжения. При напряжении 150–175 В происходит незначительное увеличение микротвердости (на 30–100 HV). При напряжении 200 В увеличение микротвердости является более существенным. Так, при концентрации глицерина 10 % микротвердость на глубине 50 мкм от поверхности составила 512 HV. Причем упрочнение наблюдается по всей исследуемой глубине поверхностного слоя (до 500 мкм).

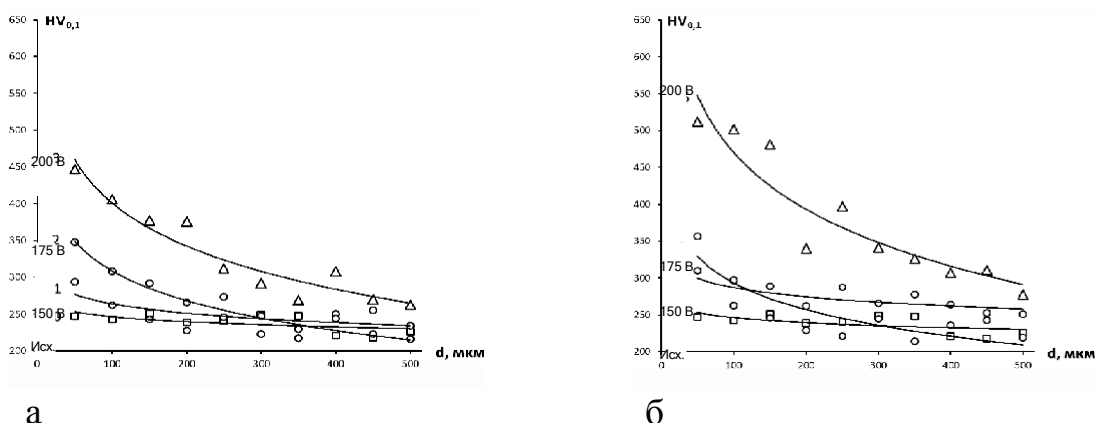


Рисунок 1 – Распределение микротвердости в поверхностном слое после цементации при концентрации глицерина 5% (а) и 10% (б)

На рисунке 2 представлены фотографии микроструктуры поверхностного слоя после цементации в электролите с содержанием глицерина 10 %. Электролитная-плазменная модификация при напряжении 150–175 В приводит к формированию равноосной структуры, состоящей из α -фазы. В поверхностном слое, наиболее насыщенном углеродом (толщиной около 50 мкм), наблюдается увеличение зёрен в 2–3 раза относительно основы. Увеличение напряжения до 200 В ведёт к формированию пластинчатой структуры, представляющей собой α' -фазу – мартенсит, полученный после быстрого охлаждения титана VT1 с температуры, превышающей температуру полиморфного превращения.

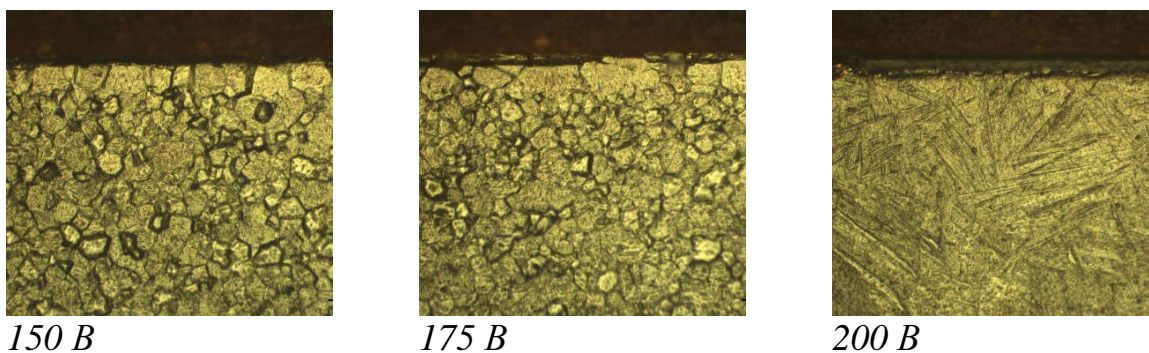


Рисунок 2 – Микроструктура образцов после цементации

К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ ЧАСТОТОЙ АВТОКОЛЕБАНИЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ЧАСТОТНО- ТОКОВОМ УПРАВЛЕНИИ

Нитиевский С.А.

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

При рассмотрении электропривода с частотно-токовым управлением одним из важных аспектов работы полупроводникового преобразователя является стабилизация частоты автоколебаний на каком-либо заданном уровне. Задача стабилизации частоты коммутации ключей инвертора может быть решена различными способами, однако для ее решения необходимо иметь представление о том, как изменяется частота автоколебаний с течением времени под воздействием различных факторов. На рисунке 1 показан график изменения частоты автоколебаний совместно с графиками угловой скорости и момента в процессе пуска электропривода на имитационной модели. Интервал времени от 0 до 1 секунды соответствует режиму установления магнитного потока, сигнал задания скорости на данном интервале равен нулю. Заданная величина частоты автоколебаний в данном случае равна 5000 Гц.

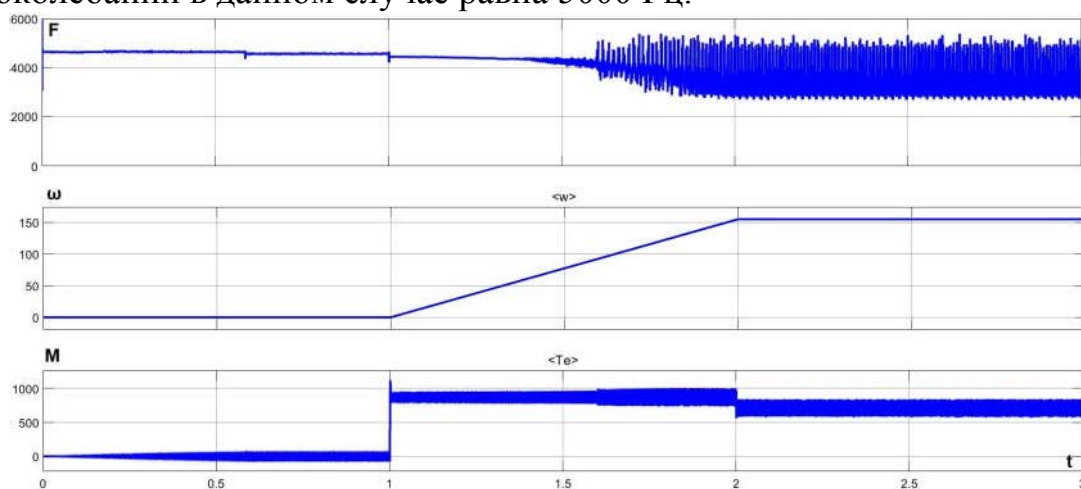


Рисунок 1 – График изменения частоты автоколебаний

Как видно из графика, с ростом скорости двигателя частота автоколебаний становится гораздо более нестабильной и начинает изменяться в достаточно широких пределах по сравнению с заданным значением. Более того, частота автоколебаний меньше заданного значения даже при отсутствии сильных возмущающих воздействий. Это говорит о необходимости введения в систему дополнительных корректирующих устройств для поддержания частоты автоколебаний на заданном уровне.

1. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, 1981. – 368 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЛАЧНЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ (САУ)

Околов А.Р.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Облачные платформы или облачные технологии – это наиболее удобная среда для хранения и обработки информации, объединяющая в себе аппаратные средства, лицензионное программное обеспечение, каналы связи, а также техническую поддержку пользователей. Их главной особенностью является не привязанность к аппаратной платформе и географической территории, а возможность масштабируемости. Клиент может работать с облачными сервисами с любой точки планеты и с любого устройства имеющего доступ в интернет, а также оперативно реагировать на изменяющиеся бизнес-задачи предприятия и потребности рынка. Работа в «облаках» направлена на снижение расходов и повышение эффективности работы предприятий.

Облако – это большая компьютерная сеть, состоящая из серверов и подключенных к ним посредством интернета или локальных сетей компьютеров пользователей. Это своего рода клиент-серверная структура, со сколь угодно тонким клиентом и очень мощным сервером.

Поставщики облачных вычислений предоставляют следующие основные виды услуг:

Платформа как услуга (Platform as a Service) – потребителю предоставляется компьютерная платформа с установленной операционной системой для последующего размещения на ней необходимых приложений.

Программное обеспечение как услуга (Software as a Service) – программное обеспечение находится на серверах поставщика и потребитель может получить к нему доступ посредством сети Интернет. Оплата производится за фактическое использование ПО.

Инфраструктура как услуга (Infrastructure as a service) – потребителю предоставляются виртуальные платформы, соединенные в сеть.

Потребители облачных вычислений могут значительно уменьшить расходы на инфраструктуру информационных технологий и гибко реагировать на изменения вычислительных потребностей, используя свойства эластичности облачных услуг.

При проектировании и эксплуатации САУ наиболее предпочтительно и эффективно использовать облачные платформы особенно в следующих случаях:

Программное обеспечение используется редко. Для решения не часто возникающих задач имеет смысл воспользоваться облачными

вычислениями и не беспокоиться о вопросах приобретения, установки и поддержки ПО.

Для работы ПО требуются более мощные компьютеры, чем имеющиеся. Часто для эффективного решения поставленных задач не хватает вычислительных мощностей имеющегося оборудования - требуются высокопроизводительные рабочие станции, графические карты, лицензионное программное обеспечение - то, что может значительно увеличить затраты пользователя. Использование облачных технологий позволяет доступными средствами решить проблему.

Обучение и сервисное обслуживание. Гибкость и масштабируемость облачных платформ может эффективно использоваться в процессе обучения работников производственных предприятий работе на спроектированном оборудовании и оперативного решения большинства вопросов и проблем, возникающим в процессе эксплуатации, обслуживания и ремонта этого оборудования

При проектировании систем автоматического управления (САУ) различными сложными технологическими объектами и процессами и их последующей наладке и эксплуатации возникает необходимость в решении множества различных задач, таких как: определение структуры САУ, расчет параметров регуляторов, выбор различных коэффициентов, области устойчивости, прогнозировании скоростей и траекторий и т.д. и т.п. Для их решения существует большое число различных прикладных пакетов, таких как MATLAB, LabVIEW, AutoCAD и подобных им, требующих Гбайтных объемов памяти. Однако многие программы являются лицензионными и не всегда находятся под рукой у проектировщика и, особенно, наладчика.

Использование облачных технологий позволяет быстро и эффективно решить большинство этих задач с помощью обычных персональных компьютеров и даже мобильных устройств, таких как планшеты или смартфоны. Необходимо лишь надежный (желательно высокоскоростной) доступ в интернет.

Доступ к необходимому ПО, предварительно размещенному на мощном сервере осуществляется посредством подключения к удаленному рабочему столу. Это позволяет пользователям проектировать в облаке, а также предоставлять результаты своей работы другим пользователям, что может быть особенно полезно при работе с удаленными объектами (рис.1).

Для этого нужно запустить какой-нибудь RDP-клиент (стандартный RDP-клиент, который установлен во всех операционных системах Windows, начиная с Windows XP, или какой-нибудь другой). Далее, после его запуска, вводится имя пользователя и пароль, под которым мы заходим на сервер и получаем доступ к САПР, которая автоматически запускается при входе соответствующего пользователя в систему.

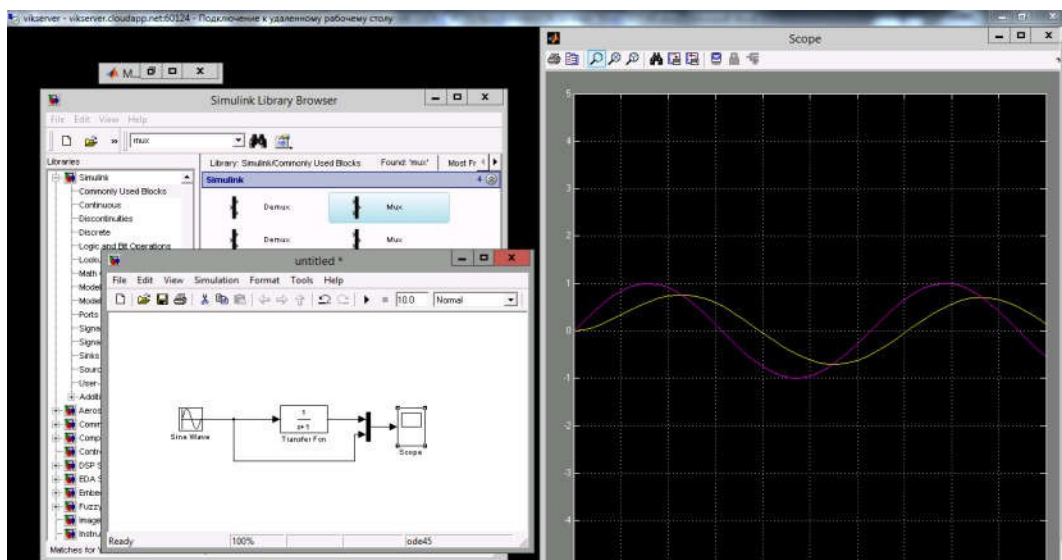


Рисунок 1. Окно удаленного рабочего стола с запущенным MATLAB

Доступ к САПР, размещенной в облаке может осуществляться не только с помощью стационарных компьютеров, но более дешевых планшетов или смартфонов, с установленными на них RDP-клиентом. Например если на планшете установлена ОС Android можно воспользоваться утилитой RD Client от Microsoft (рис.2).

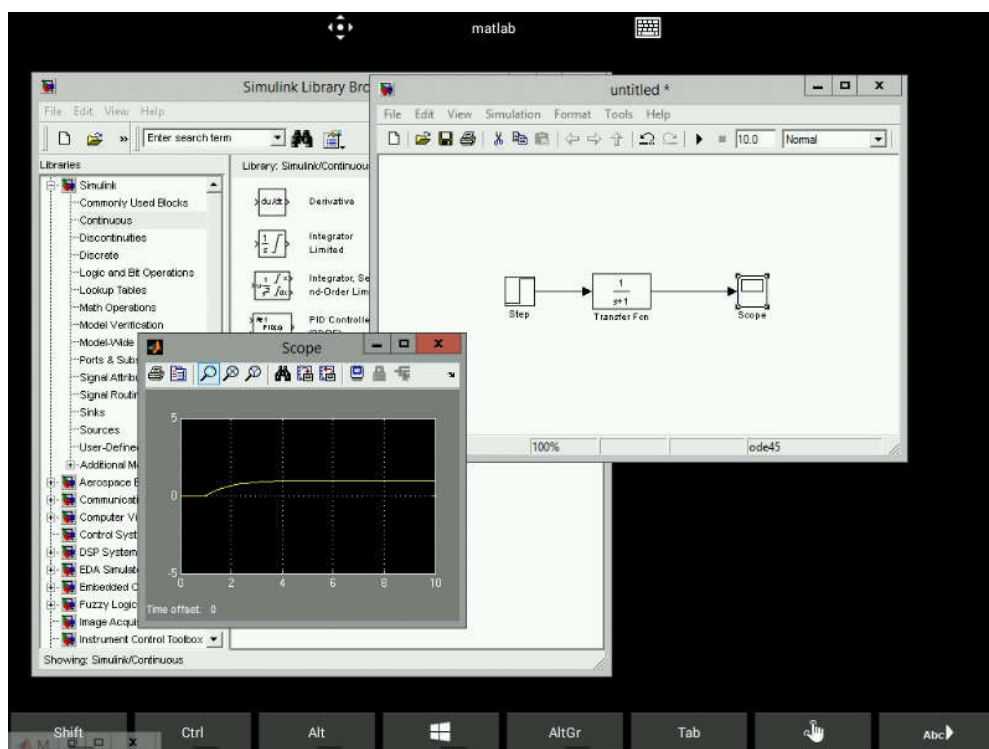


Рисунок 2. Окно удаленного рабочего стола, запущенное под ОС Android с помощью RD Client

УПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ

Опейко О. Ф.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Промышленные роботы широко применяются для обработки поверхностей, а именно, для окраски, очистки, шлифования поверхностей и других подобных операций. Обычно для этого применяют режим контурного управления, и требуется стабилизация либо изменение по заданному закону нескольких величин, таких, как абсолютное положение рабочего органа, модуль линейной скорости рабочего органа (при окраске, сварке, шлифовании поверхности) нормальное давление рабочего органа на поверхность [1].

Промышленный робот с m звеньями является нелинейным объектом с m входами, m выходами, m степенями подвижности и в обобщенных координатах описывается уравнениями

$$\begin{aligned} a_{i2}(\mathbf{q})\dot{q}_i + a_{i1}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})\dot{q}_i + a_{i0}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})q_i &= Q_i, \\ y_i &= g_i(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}), \quad (i = 1, 2, \dots, m). \end{aligned}$$

Здесь $a_{ij}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$, $(i = 1, 2, \dots, m, j = 0, 1, 2)$ - коэффициенты дифференциального уравнения, в общем случае зависящие от обобщенных координат $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_m)^T$ и скоростей $\dot{\mathbf{q}} = (\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dots, \dot{q}_m)^T$. Каждая из обобщенных координат является координатой одного из звеньев робота в его относительном движении.

Вектор обобщенных сил $\mathbf{Q} = (Q_1, Q_2, \dots, Q_m)^T$ может рассматриваться как управляющее воздействие. Вектор обобщенных сил \mathbf{Q} должен быть сформирован таким образом, чтобы вектор $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ выходных величин с требуемой точностью воспроизводил вектор $\mathbf{y}^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_m^*)^T$ сигналов на задающем входе, а динамические свойства системы удовлетворяли требованиям устойчивости и качества.

Простейший способ управления [2] предполагает использование одной из m степеней подвижности, q_j для управления одной из выходных величин, y_i , для которой производная $\partial y_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$, $(i, j = 1, \dots, m)$ принимает наибольшее значение на данной части траектории. Этот способ требует переключения регуляторов в функции производных $\partial y_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$, $(i, j = 1, \dots, m)$ при переходе от одного участка траектории к другому. Очевидный недостаток способа в наличии переключений структуры, что вызывает переходные процессы и

дополнительные динамические погрешности. Способ целесообразен для отработки простых траекторий с малым количеством переключений.

Другой возможный способ заключается в формировании нелинейного [3] линеаризующего управления либо применении линейного регулятора. В обоих случаях управление с неизбежностью формируется как адаптивное, учитывая изменение $\partial u_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$ вдоль траектории. Преимущество этого способа заключается в плавности отработки траектории и, кроме того, повышается точность, то есть уменьшается ошибка $\mathbf{e} = \mathbf{y}^* - \mathbf{y} = (e_1, e_2, \dots, e_m)^T$ регулирования каждой из выходных величин по сравнению со способом [2], предполагающим переключения в структуре управления.

Наибольшие возможности для обеспечения точности и качества динамики открываются при применении в качестве устройства управления искусственной нейронной сети (ИНН) [4].

Сигнал управления m степенями подвижности формируется в искусственной нейронной сети в результате обучения с учетом значений производных $\partial u_i / \partial q_j = \partial g_i / \partial q_j$. Обычно ИНН обладает значительной функциональной избыточностью и требует дополнительных затрат времени на обучение. Поэтому применение ИНН оправдано, если одновременно с формированием траектории ИНН решает и другие задачи управления.

Таким образом, синтез адаптивного управления звеньями промышленного робота является актуальной задачей, а формирование нелинейного линеаризующего либо линейного адаптивного управления позволит эффективно управлять движением робота вдоль траектории без применения ИНН.

1. A Force/Motion Control Approach Based on Trajectory Planning for Industrial Robots With Closed Control Architecture / A. Gutierrez–Giles, L. U. Evangelista–Hernandez, M. A. Arteaga, C. A. Cruz–Villar, and A. Rodriguez–Angeles // IEEE Access. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3085528 - 2021. - vol. 9, - P. 80728-80740.

2. Механика промышленных роботов: Учеб. Пособие для вузов: В 3 кн. / Под ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева. - М.: Высш. шк., 1988.

3. Isidori A. Nonlinear Control Systems /e-book, Springer. 2013.

4. Aggarwal C. C. Neural Networks and Deep Learning A Textbook / Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018.

РАЗВИТИЕ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Охотенко А.В., Гутич И.И.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Термин «интернет вещей», по всей видимости, обязан своим возникновением Кевину Эштону, который работая на компанию Proctor and Gamble, для управления системой поставок использовал технологию радиочастотной идентификации. С тех пор интернет вещей произвел переход от элементарных радиочастотных меток к экосистеме и индустрии, которая привлекла, сотворила или поглотила значительную часть мирового валового внутреннего продукта. Вплоть до прошлого десятилетия мысль подключения вещей к интернету больше касалась смартфонов, планшетов, персональных компьютеров и ноутбуков. По сути, тех вещей, что во всех отношениях выступают в качестве компьютера.

Потребность общественности растёт и появляется дисбаланс между ростом численности населения Земли и количества устройств интернета вещей. Каждую секунду во всём мире подключаются десятки устройств Интернета вещей. Основной объем присоединенных к интернету устройств будут составлять подключенные к интернету объекты с межмашинной коммуникацией. Это важно, поскольку в сфере информационных технологий основным фактором ценности сети является не количество размещенных в ней данных, а количество подключений. Люди больше не будут ключевым показателем пропускной способности сети и успешности информационно-технологического проекта.

Промышленный интернет вещей. Значительной спецификой данного направления является то, что он базируется на старых технологиях, на аппаратных и программных средствах, которые нельзя назвать актуальными. Зачастую тридцатилетние производственные станки функционируют на серийных интерфейсах RS485, а не на современной беспроводной ячеистой архитектуре. В некоторых странах государством была разработана и успешно применяется программа по развитию промышленного интернета вещей.

Потребитель, розничная торговля, медицина, транспортировка и логистика, сельское хозяйство и окружающая среда, энергетика, правительство и армия, умный город – являются сферами, где сейчас применяются технологии интернета вещей. По прогнозам аналитиков ожидается значительный рост данных направлений в ближайшее десятилетие.

Сегменты Интернета вещей: системы связи между датчиками (зачастую построены не на протоколе IP); локальные вычислительные сети (обычно выстроены на протоколе IP); агрегаторы, маршрутизаторы,

шлюзы; глобальная вычислительная сеть (обычно используются транспортные протоколы интернета: MQTT, CoAP, HTTP); анализ данных.

Прежде чем интернет вещей стал модной темой для разговоров, живейший интерес был направлен на межмашинное взаимодействие.

Технологии межмашинного взаимодействия и интернета вещей очень похожи по своей сути, но имеется значительное различие: M2M – общая концепция, подразумевающая, что самостоятельное устройство прямо обменивается данными с другим автономным устройством. Системы интернета вещей могут включать в себя несколько M2M-узлов (например сеть Bluetooth Mesh, в которой реализован обмен данными без участия протокола IP). Независимо от того, где происходит доступ к Интернет, характерной особенностью системы интернета вещей является то, что тем или иным образом она всегда подключена к интернету.

Полезность сети рассчитывается в соответствии с законом Метклафа, согласно которому полезность сети равна квадрату числа узлов данной сети. На основании этого закона строится график, где одна величина, обычно, линейно возрастает и отображает количество устройств, умноженное на стоимость одного узла. Вторая величина – экспоненциально возрастающая полезность сети. Важное значение – это точка пересечения, которая появляется в случае роста показателя полезности и обозначает тот момент, когда система достигает окупаемости инвестиций. Закон Меткалфа не принимает в расчет ухудшение качества связи, которое может возникнуть в результате роста числа пользователей и/или объема данных на фоне сохранения первоначальной пропускной способности сети. Вдобавок закон Меткалфа не учитывает разнообразие в уровнях сетевого обслуживания, ненадежную инфраструктуру (например, связь стандарта 4G LTE в передвижающемся транспортном средстве) либо негативные факторы, воздействующие на работу сети (например, DoS-атаки). Чтобы сделать поправку на эти обстоятельства, используется закон Бекстрома.

При разработке IoT-решений первое, что должен сделать проектировщик – это понять, какую выгоду принесёт проект. В худшем случае IoT-система становится финансовой обузой и доставляет клиенту лишь убытки.

За что отвечает архитектор системы интернета вещей: оценить отказоустойчивость системы и стоимость возможной потери данных, определить какой уровень должен отвечать за отказоустойчивость – нижние уровни или уровень протокола, выбор протокола, определиться в каком месте будет проводиться обработка данных, как вся система будет работать в случае перехода на другой облачный сервис.

1. Perry Lea, Internet of Things for Architects – 2018. P. 7 – 38.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ

Покровский А.И.

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

Проанализированы существующие в мире научные школы исследователей процессов структурообразования высокопрочного чугуна и представлены лидеры каждого из направлений. Обобщены результаты разработок высокопрочных чугунов в ФТИ НАН Беларуси (работы Горева К.В., Шевчука Л.А., Дудецкой Л.Р.).

Выполнен анализ теорий зарождения сферических графитных включений при литье и их внутреннего строения. Экспериментально уточнены и дополнены абсорбционная теория и теория зарождения графита на микровключениях оксидов, сульфидов, оксисульфидов, нитридов, карбонитридов. С помощью новейших методик подтверждено секторальное строение включения графита и радиальный рост наслаивающихся друг на друга пластин. С помощью микрорентгеноспектрального анализа экспериментально установлены аномалии в распределении концентраций по сечению графитного включения следующих химических элементов: углерод, магний, кремний, сера, кислород. Доказана возможность нахождения внутри включения графита участков кремнистого феррита.

Представлен обзор текущего состояния производства чугуновых отливок в мире и в Беларуси. Проанализированы происходящие изменения в структуре марочных составов чугуна в пользу высококачественных и высокопрочных сортов. Повышенная прочность, пластичность и улучшенное качество этих типов чугунов обусловлена аусферритной микроструктурой металлической матрицы и наличием включений шаровидного графита.

Представлены результаты 2D и 3D-моделирования процессов пластической деформации высокопрочного чугуна. Выполнены расчеты с помощью программы ANSYS (лицензия ИММС) напряженно-деформированного состояния графитных включений и структурных составляющих металлической матрицы при сжатии и выдавливании (как в мезофрагменте, так и при формообразовании конкретных деталей). Выполнены расчеты напряжений на межфазных границах (графит – аустенитная металлическая матрица), позволившие спрогнозировать зоны возникновения трещин, направления их распространения, характер разрушения, выдвинуть гипотезу о пластической деформации хрупких графитных включений, а также обосновать оптимальные силовые режимы деформации.

Представлены результаты экспериментальных исследований поведения чугуна при горячей пластической деформации, в частности трансформация структуры, изменение физических характеристик. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о том, что графитные включения в

структуре чугуна в процессе горячей обработки давлением претерпевают пластическую деформацию без разрушения.

Представлены результаты комплексных исследований механических и эксплуатационных характеристик чугунов после деформации, их анизотропии, позволившие выявить максимальные показатели и наиболее оптимальные режимы обработки.

По результатам исследований разработана и защищена патентами группа химических составов деформируемых половинчатых чугунов с повышенной пластичностью в горячем состоянии, отличающихся микродобавками бора, циркония.

Доказаны высокая конкурентоспособность отливок из высокопрочных чугунов по сравнению с изделиями, изготовленными из проката легированных сталей. Приведены примеры успешной замены чугуном ответственных изделий по критериям: качество – свойства – цена (детали железнодорожной подвески, крупных шестерен главной передачи грузовых автомобилей, почвообрабатывающего инструмента и др.). Показано, что в ряде отраслей машиностроения (железнодорожный транспорт, тяжелое автомобилестроение) замена стали на чугун приняла массовый характер.

Разработаны и опробованы научно обоснованные экспериментальные технологии прокатки, штамповки, выдавливания различных изделий из чугуна, конструкции деформирующей штамповой и прокатной оснастки, которые защищены патентами. Показана наибольшая эффективность для чугуна процесса горячего выдавливания. Предложена концепция формирования структур, градиентных по сечению чугунных изделий, получаемых за счет воздействия градиента пластической деформации при выдавливании и последующей термической обработки. Для деталей типа втулок разработаны и защищены патентами технологии получения заготовок уплотнительных и поршневых колец, втулок трансмиссии автомобилей.

Предложена концепция создания экономно-легированных аусферритных чугунов с пониженным содержанием основной «триады» дорогих легирующих: молибдена, никеля и меди. В частности, защищены патентами группа безникелевых и безмолибденовых аусферритных чугунов.

Изготовлены опытные партии деталей из деформированного чугуна: втулки педалей оси сцепления и тормоза пассажирского автобуса, которые успешно прошли эксплуатационные испытания (более 300 тыс. км).

Представлены результаты работ по гармонизации и создан проект (первая редакция) белорусского аналога СТБ международного стандарта ISO 17804:2005 Founding - Ausferritic spheroidal graphite cast irons - Classification (Отливки. Аусферритный чугун с шаровидным графитом. Классификация).

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИИ И СИЛЫ ПРИ РЕЗАНИИ

Попок Н.Н., Корба К.В., Анисимов В.С.

Полоцкий государственный университет, Республика Беларусь

В связи с расширением применения высокоскоростной обработки материалов остро встает вопрос фиксации вибрации и силы в процессе резания, оказывающих существенное влияние на качество изготавливаемых деталей машин.

Существующие динамометры, например, фирмы «Kistler» (Швейцария), позволяют производить высокоточные измерения силы и вибрации в процессе резания в широком диапазоне и в короткий отрезок времени, однако они имеют высокую стоимость и ограничены в применении.

Поэтому предлагается система измерения и регистрации параметров высокоскоростных процессов с последующей обработкой полученных данных. Система включает следующие функциональные узлы (рисунок 1): первичный преобразователь (динамометр-датчик), содержащий до шести элементов преобразования силы; измерительный усилитель-преобразователь; блок индикации, регистрации и обработки данных измерений.

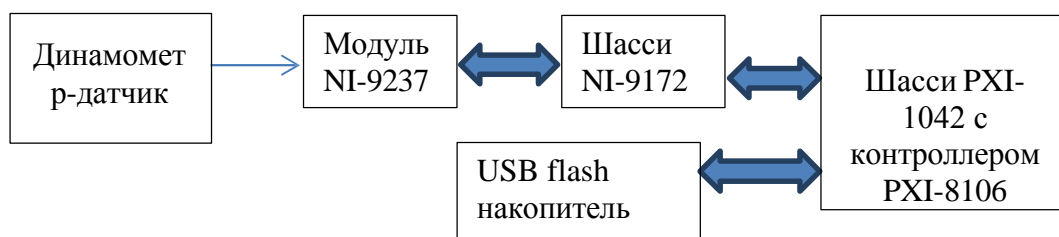


Рисунок 1 – Структурная схема системы измерения и регистрации параметров высокоскоростных процессов

Динамометр-датчик представляет собой плиту определенной жесткости, на ребра которой наклеиваются тензодатчики, соединяемые по полумостовой схеме. Динамометр устанавливается с использованием деталей универсальных станочных приспособлений на стол фрезерного, сверлильного и других подобных типов станков, или вместо резцедержателя на суппорт токарного станка. В динамометре-датчике закрепляется заготовка или инструмент в зависимости от типа применяемого оборудования.

Для усиления, регистрации и обработки сигналов используется оборудование фирмы National Instruments (NI). Так, в качестве усилителя-преобразователя применяется модуль С-серии NI-9237, позволяющий производить синхронную обработку сигналов тензометрических датчиков. Скорость оцифровки составляет 50 Гц при разрешении 24 бит.

Данный модуль предназначен для работы в составе модульных измерительных систем серии cDAQ и систем cRIO. Отличительной особенностью

модуля является возможность работать как с полномостовыми, так и полу-/четверть мостовыми тензорезистивными датчиками. Существует возможность проводить программно-аппаратную калибровку измерительной системы на базе данного модуля. В модуле имеется адаптивный фильтр нижних частот (ФНЧ), изменяющий свою полосу пропускания в зависимости от скорости оцифровки сигнала. Эти функциональные возможности данного модуля значительно упрощают построение измерительных систем на его базе, так как обеспечивают простое подключение первичных преобразователей особенно полу- и четвертьмостовой конфигурации, простую и быструю калибровку измерительной системы, а также первичную фильтрацию измеряемого сигнала от помех.

Для индикации и регистрации данных используется шасси сбора данных типа NIcDAQ-9172, в одном из слотов которого смонтирован модуль NI-9237, шасси имеет 8 слотов для модулей С-серии, что позволяет создавать достаточно сложные и гибкие тестовые системы, так как номенклатура модулей С-серии достаточно широка, и включает в себя различные модули аналоговых и цифровых входов/выходов, интерфейсные и специализированные модули. Данное шасси имеет интерфейс USB 2.0 для обмена данными с управляющим контроллером, и обеспечивает питание смонтированных модулей.

В качестве управляющего контроллера используется система PXI-1042, с установленным контроллером NIPXI-8106. Шасси PXI-1042 предназначено для построения сложных тестовых систем на базе модульных приборов формата PXI. В данном шасси может быть размещено до восьми модулей формата PXI. Шасси обеспечивает обмен данными между установленными модулями и управляющим контроллером верхнего уровня. Шасси обеспечивает тактовую синхронизацию модулей либо от встроенного источника опорной частоты 10МГц., либо от внешнего источника в случае работы в качестве ведомого устройства в сложной системе. В случае работы в качестве ведущего устройства работает в качестве источника опорной частоты для синхронизации ведомых устройств.

Контроллер NI PXI-8106 представляет собой специализированный встроенный компьютер на базе процессора IntelCore 2 Duo под управлением операционной системы Windows Vista Business. В качестве среды разработки применяется программное обеспечение LabViewFullDevelopmentSystem. Для взаимодействия среды разработки, прикладного программного обеспечения и аппаратными средствами выступает драйвер устройств NIMeasurementandAutomationExplorer.

В качестве накопителя используется USB-flash диск объемом 32Gb. Применение внешнего накопителя обусловлено удобством эксплуатации, так как не занимает место на встроенном в контроллер винчестере, а также упрощает перенос результатов экспериментов на другие компьютеры для дальнейшей обработки и анализа.

Комплекс позволяет производить измерения силы резания от 500 до 1500Н, фиксировать колебания технологической системы с резонансной частотой 55кГц и чувствительностью 2,45 мс/г.

БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСТИТА У ДОЙНЫХ КОРОВ

Ракевич Ю.А.¹, Гируцкий И.И.²

- 1). Жировичский государственный аграрно – технический колледж,
г. Гродно, Республика Беларусь;
- 2). Белорусский государственный аграрный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Развитие и внедрение компьютеризированных систем управления стадом крупно-рогатого скота на молочно-товарных комплексах требует эффективных средств диагностики мастита, работающих в реальном масштабе времени. Особый интерес и актуальность среди автоматизированных методов диагностики мастита у коров представляет термографический, в силу своей бесконтактности и многофункциональности. В условиях действующего молочно-товарного комплекса с использованием стандартной методики были определены 4 группы по 30 коров с разными уровнями заболевания маститом. На втором этапе проводились измерения максимальной температуры вымени коров путем анализа термографического снимка, полученного с помощью портативного тепловизора марки – DT 9875.

В результате статистической обработки экспериментальных данных сделан вывод о нормальном характере распределения плотности вероятности максимальной температуры вымени коровы для всех 4-х групп животных. В первой группе, где были здоровые животные среднее значение максимальной температуры вымени – 36,2⁰С, дисперсия – 0,65; Во второй группе для коровы с сомнительной пробой по кенотесту – 37,3⁰С и 0,217. Третья группа включала животных с субклинической стадией мастита – 38,5⁰С и 0,198, а в четвертой с клинической выраженной стадией мастита – 39,6⁰С и 0,209 [1].

С использованием статистической теории принятия разработан алгоритм и программный код распределения животных по 4-м группам в зависимости от степени заболевания маститом. Решающее правило построено на использовании критерия Неймана-Пирсона и результатов однократного измерения максимального значения максимальной температуры термографического снимка вымени коровы [2].

1. Ракевич, Ю.А. Использование инфракрасной термографии для выявления мастита коров / Ю.А. Ракевич // Агропанорама. - 2020. - N 5. - С. 19-22.

2. Сосулин, Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов/ Ю.Г. Сосулин //М.: Советское радио, 1978 .- 320 с .

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ ПАНЕЛЯМИ

Рыбак В.А.¹, Римарев И.М.², Аль-Аркаузи Али¹

1). Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

2). Белорусская государственная академия связи

Минск, Республика Беларусь

В условиях ограниченности ископаемых ресурсов и ухудшения экологической обстановки особую актуальность приобретают вопросы организации энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии. Хотя Республика Беларусь не относится к территориям, на которых целесообразно обширное применение солнечных батарей, в отдельных случаях такие решения представляются оправданными.

В рамках проводимых научных исследований разрабатывается аппаратно-программный комплекс для управления солнечными панелями, который будет не только двигать последние в двух плоскостях, но и определять оптимальные режимы функционирования, включая действия против обледенения.

Применение систем слежения позволит изменять угол наклона фотоэлектрических модулей в течение дня таким образом, чтобы сохранять прямой угол падения солнечных лучей на его поверхность. Это позволит увеличить количество пришедшей мощности, а, следовательно, и количество вырабатываемой мощности.

Учитывая особенности ежедневной траектории движения солнца, можно сказать, что эффективный угол поворота панелей – около 150°. Панель, которая зафиксирована в направлении ровно по середине между точками заката и восхода теряет до 75% от максимально возможной выработки в утреннее и вечернее время.

Вращение панели от востока к западу для минимизации этих потерь называют однокоординатным слежением. Кроме дневного движения с востока на запад солнце совершает сезонное перемещение между северной и южной сторонами света на 46°. Для того чтобы учитывать эти изменения необходимо двух координатное слежение.

Для Минской области было рассчитано, что наиболее эффективной является двухосная система ориентирования солнечных панелей, которая является более экономически обоснованной для использования чем батареи без систем ориентирования или с одноосной системой. Полученные результаты показали, что выигрыш в мощности составляет до 63 процентов.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ВИДИМОСТИ

Рыбак В.А., Амро Раbia

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

С развитием современных технологий становится возможным решение ряда задач, которые ещё несколько лет назад казались трудно преодолимыми.

В рамках выполняемого диссертационного исследования разрабатывается автоматизированная система распознавания объектов в условиях недостаточной видимости, включая дым, туман и тёмное время суток. Идея работы заключается в использовании кроме изображений в видимом спектре инфракрасного излучения.

Задача любой (в том числе и тепловизионной) системы, формирующей изображение, заключается в создании резкого, чистого изображения, свободного от шумов и искажений. Это всегда представляет определенные проблемы. Во-первых, каждая реальная система формирования изображений обладает некоторыми ограниченными возможностями; импульсная характеристика реальной системы имеет конечную длительность, что приводит к неизбежному снижению разрешающей способности. Если на изображении необходимо выделять важные детали, размер которых близок к длительности импульсной характеристики, то необходимо увеличивать разрешение. Так, например, с тепловизионной системы самолетов и вертолетов приходят снимки достаточно хорошего качества, но операторы, изучающие их, всегда пытаются увидеть на них объекты (например, танки, людей), искаженные в силу ограниченного разрешения камер. Во-вторых, изображения могут быть испорчены из-за определенного стечения обстоятельств съёмки. Можно принять все меры предосторожности, чтобы получить высококачественные изображения, но какая-то часть их окажется испорченной либо за счет движения объекта или камеры, либо из-за плохой фокусировки и т.д. Среди некачественных изображений всегда находятся столь важные или настолько редкие, что стоит пытаться улучшить их качество. Устранение искажений относится к задачам восстановления (повышения резкости) изображений [1].

Типичное тепловизионное изображение содержит очень много избыточной информации, что заметно даже при беглом взгляде на большинство изображений. Типичные тепловизионные изображения характерны тем, что в области пространственных частот элементы с малыми индексами велики по сравнению с элементами с большими индексами. Это значит, что структура изображения обычно имеет низкочастотный характер. Низкочастотные составляющие определяют контуры предметов, а также яркость и контрастность изображения.

Высокочастотные составляющие создают резкие линии и определяют общую четкость изображения, но суммарная энергия их невелика [2].

Суть разработанного метода обнаружения объекта на фоне шума связана с нелинейной операцией, которая повышает вероятность принятия решения о наличии искомого тепловизионного объекта в поле зрения тепловизора. Результатом нелинейной операции, возведение в степень 5 отношения значения яркости элемента к среднему значению яркости кадра, будет получение массива нелинейной фильтрации. В каждом элементе массива записаны величины, которые могут быть меньше или больше 1. Те элементы, значения которых меньше 1, соответствует шуму. В ячейках, значение которых больше 1, может быть элемент тепловизионного объекта. Обнаружить ячейку, соответствующую по величине излучению тепловизионного объекта можно только при сравнении величин с адаптивным порогом принятия решения. На этом заканчивается предварительная математическая обработка цифрового массива изображения и начинается пороговая обработка [3].

Необходимо отдельно отметить работы Богуша Р.П., который в [4] решал ряд подобных задач, что позволило создать алгоритм обнаружения дыма и пламени, отличающийся тем, что движение и хаотичность перемещения применяются в качестве их общих характеристик. Классификация детектированных областей выполняется с использованием анализа контраста, цветовой фильтрации и вейвлет-обработки. Общие этапы упрощают структуру алгоритма и позволяют снизить вычислительные затраты при необходимости обнаружения обоих признаков возгорания.

Для распознавания образов на инфракрасных снимках было разработано простое для применения графическое приложение. В качестве распознаваемых образов на первом этапе было решено выбрать людей и животных.

1. Иванов В.П., Курт В.И., Овсянников В.А., Филиппов В.Л. Моделирование и оценка современных тепловизионных приборов. Казань, ФНПЦ НПО ГИПО, 2006. 594 с.

2. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. - М.: Логос, 2004. 444 с.

3. Хмельницкий Д. В. Повышение эффективности информационно-измерительных систем обработки слабоконтрастных документов : Дис. ... канд. техн. наук. - Тула, 2008. - 166 с.

4. Богуш Р.П. Обнаружение и анализ объектов на изображениях в системах видеонаблюдения: автореф. дис. ... д.т.н.- Минск, 2022.- 50 с.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ТЕПЛИЦЕ С УЧЕТОМ ДАННЫХ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

Сеньков А.Г.¹, Гируцкий И.И.²

1). ГП «Центр радиотехники НАН Беларуси»

Минск, Республика Беларусь

2). УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

Поддержание оптимальных параметров микроклимата является одной из основных задач систем автоматического регулирования (САР) современных тепличных комплексов. В настоящее время одним из лучших по энергоэффективности считается комбинированное управление, сочетающее в себе принцип регулирования по отклонению температуры внутри сооружения от заданного оптимального значения и принцип компенсации основного возмущения – изменений наружной температуры воздуха. Для повышения энергоэффективности и улучшения качества регулирования температуры воздуха в промышленных теплицах предлагается метод управления температурой воздуха на основе принципа компенсации возмущения с использованием данных прогноза погоды. Динамические свойства объекта управления приближенно описываются линейным апериодическим звеном первого порядка с запаздыванием. Для решения проблемы наличия транспортного запаздывания в объекте управления при выработке управляющего сигнала в цепи компенсации возмущения помимо сигнала датчика наружной температуры учитываются также данные прогноза изменения наружной температуры на определенный предстоящий интервал времени, что позволяет заблаговременно осуществлять соответствующее компенсирующее управляющее воздействие.

В случае оптимальной настройки регулятора компенсации возмущения предложенный подход позволяет значительно улучшить показатели качества регулирования, например до 4 раз снизить значение перерегулирования переходного процесса по сравнению с базовым вариантом САР по отклонению.

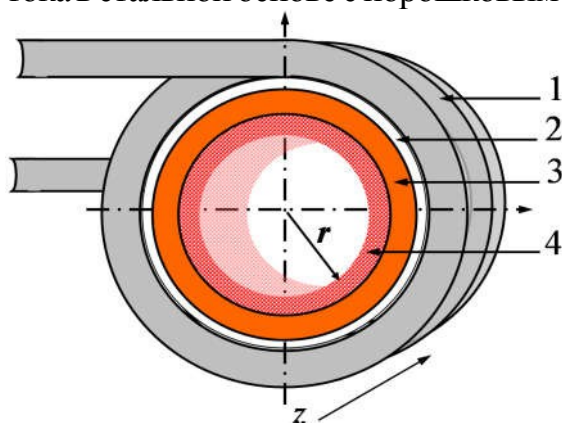
1. Сеньков А.Г. Автоматическое регулирование температуры воздуха в теплице с учетом данных прогноза погоды. Информатика. 2021;18(3):59-67.

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОТОКАМИ ПРИ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

**Сосновский И.А., Белоцерковский М.А., Курилёнок А.А.,
Комаров А.И., Орда Д.В.**

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
Минск, Республика Беларусь.

Представлены полученные на основе анализа уравнений Максвелла результаты исследования эволюции создаваемого током индуктора электромагнитного поля и преобразования, связанного с этим полем электромагнитного потока при его прохождении через зазор индуктора и стальную основу с порошковым слоем. Показано, что индукционной наплавке способствует только та часть переносимой электромагнитным потоком мощности, которая связана с появлением индукционного тока в стальной основе с порошковым слоем [1].



1 – индуктор; 2 – зазор; 3 – стальная основа; 4 – наносимый слой

Рисунок – Схема индукционной наплавки функционального покрытия

С учетом этого для оптимизации параметров электромагнитного потока предложено использовать энергетический функционал, содержащий кроме силовых характеристик электромагнитного поля, также векторный магнитный потенциал. При определении этого функционала учитывалось, что создаваемое током индуктора электромагнитное поле относится к смешенному типу векторных полей – потенциальному и солиноидальному. Показано, что по своим размерам зона индукционной наплавки порошкового слоя, с учетом

длины генерируемой током индуктора электромагнитной волны, относится к системам с сосредоточенными параметрами, в которой действует скин-эффект. На этом основании показана закономерность перехода к рассмотрению индукционной наплавки как процесса, в ходе которого происходит выделение джоулевого тепла индуцированным в стальной основе с порошковым слоем током, который возник как результат изменяющегося во времени магнитного потока. По результатам исследования предложены схемы и система уравнений, определяющая закономерность управления электромагнитным потоком при индукционной наплавке порошкового слоя и возможность оптимизации технологических параметров этого процесса.

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь [и др.] // Минск: Беларуская думка, 1998. – 583 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ПРИ ПРОРЫВЕ ПЛОТИНЫ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ

Стриганова М.Ю.¹, Дмитриченко А.С.², Шаталов И.М.³,
Щербакова М.К.³, Кособуцкий А.А.³

- 1). ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси», Минск, Республика Беларусь
- 2). УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Республика Беларусь
- 3). Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В реальных условиях высокогорья при прорыве плотины происходит относительно постепенное опорожнение водохранилища, при котором наблюдается падение уровня воды в водохранилище, уменьшение расхода воды в начальном створе и увеличение расхода в конечном сечении прямой отрицательной волны перемещения (рисунок 1).

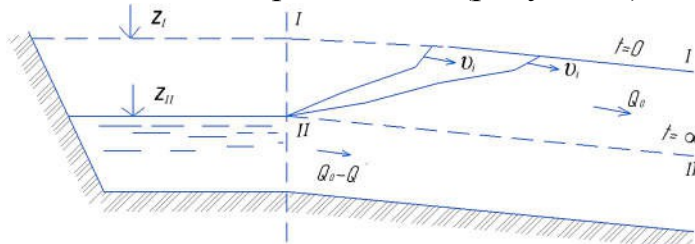


Рисунок 1 – Прямая отрицательная волна, или волна отлива

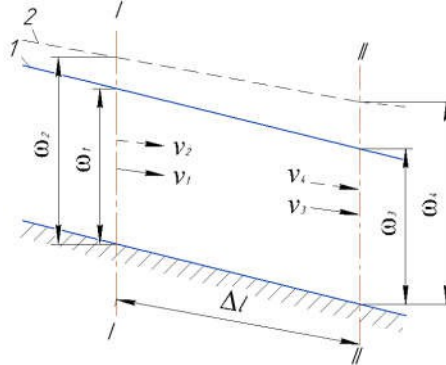
Движение воды в теле такой волны перемещения хорошо описывается двумя дифференциальными уравнениями баланса расхода и уравнением динамического равновесия

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \omega \frac{\partial v}{\partial l} + v \frac{\partial \omega}{\partial l} = 0, \\ (i - AQ^2)g = \frac{g}{B} \frac{\partial \omega}{\partial l} + \alpha \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha v \frac{\partial v}{\partial l}. \end{cases} \quad (1)$$

Для решения системы уравнений (1) в практических задачах и при компьютерном моделировании неуставившегося постепенно или плавно изменяющегося движения воды в условиях высокогорья в виде волны перемещения прямой или обратной, положительной или отрицательной наиболее применим метод конечных приращений. Подобный метод был использован Томпсоном для расчета прямоугольных русел, который с некоторыми дополнениями и изменениями можно распространить на русла произвольной формы поперечного сечения.

Рассмотрим русло произвольной формы поперечного сечения (см. рисунок 2). Разделим это русло на элементарные участки Δl , в пределах которых площадь живого сечения $\Delta \omega$ будет изменяться постепенно (или плавно). Рассмотрим конкретный элементарный участок, в начальном

сечении которого, как и в последующих сечениях, параметры неустановившегося потока (глубины h , скорости v , площади живых сечений ω и т. д.) известны в данный момент времени t и в последующие отрезки времени Δt . Предположим, что на рисунке 2 линия 1 соответствует положению свободной поверхности волны перемещения в начальный момент времени t ; а линия 2 – это положение свободной поверхности той же волны по истечении отрезка времени Δt , т. е. в момент времени $t + \Delta t$.



1 – начальное положение поверхности волны перемещения в момент времени t ;
2 – конечное положение поверхности волны перемещения в момент времени $t + \Delta t$

Рисунок 2 – Отрезок некоторой кривой линии тока

Определим средние значения параметров неустановившегося потока в любом его сечении для отрезка времени Δt :

$$\begin{cases} \bar{\omega} = (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) / 4, \\ \bar{B} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) / 4, \\ \bar{R} = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) / 4, \\ \bar{v} = (v_1 + v_2 + v_3 + v_4) / 4, \\ \bar{C} = (C_1 + C_2 + C_3 + C_4) / 4, \end{cases} \quad (2)$$

где ω – площадь живого сечения, м^2 ; v – средняя скорость, м/с ; B – ширина русла по поверхности потока, м ; R – гидравлический радиус, м ; C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0,5/\text{с}}$.

В системе уравнений (1) неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения уклон трения $i_{\text{тр}} = A Q^2$ на элементарном участке потока Δl можно выразить из уравнения Шези $i_{\text{тр}} = \frac{\bar{v}^2}{C^2 R}$. С учетом того что

для призматического русла $\frac{\partial \omega}{\partial l} = 0$ и $i = i_0 - \frac{\partial h}{\partial l}$, где i_0 – уклон дна водотока,

уравнение движения системы (1) представимо в виде:

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{\alpha_0}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}, \quad (3)$$

$$i_0 = \frac{\bar{v}^2}{C^2 R} + \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial l}. \quad (4)$$

Частные производные в конечных приращениях представим в виде:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial h}{\partial L} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_3 - h_1}{\Delta L} + \frac{h_4 - h_2}{\Delta L} \right) = - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta L}, \\
\frac{\partial v}{\partial L} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_3 - v_1}{\Delta L} + \frac{v_4 - v_2}{\Delta L} \right) = - \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2\Delta L}, \\
\frac{\partial Q}{\partial L} &= \frac{\partial(\omega v)}{\partial L} = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_3 v_3 - \omega_1 v_1}{\Delta L} + \frac{\omega_4 v_4 - \omega_2 v_2}{\Delta L} \right) = - \frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta L}, \\
\frac{\partial h}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{h_2 - h_1}{\Delta t} + \frac{h_4 - h_3}{\Delta t} \right) = - \frac{h_1 - h_2 + h_3 - h_4}{2\Delta t}, \\
\frac{\partial v}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{v_2 - v_1}{\Delta t} + \frac{v_4 - v_3}{\Delta t} \right) = - \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2\Delta t}, \\
\frac{\partial \omega}{\partial t} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} + \frac{\omega_4 - \omega_3}{\Delta t} \right) = - \frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t}.
\end{aligned} \tag{5}$$

где h_1, h_2, h_3, h_4 – глубина потока в рассматриваемых сечениях за отрезок времени Δt ; v_1, v_2, v_3, v_4 – средние скорости за отрезок времени Δt ;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – площади живых сечений за отрезок времени Δt .

Согласно уравнениям (5) уравнения (3) и (4) в конечных разностях примут вид:

$$i_0 = \frac{v^2}{C^2 R} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta L} - \alpha_0 \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \alpha v \frac{v_1 - v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta L}, \tag{6}$$

$$i_0 = \frac{v^2}{C^2 R} - \frac{h_1 + h_2 - h_3 - h_4}{2\Delta L} - \frac{v_1 - v_2 + v_3 - v_4}{2g\Delta t} - \frac{v_1 + v_2 - v_3 - v_4}{2g\Delta L}. \tag{7}$$

Уравнение баланса расхода (или уравнение неразрывности) постепенно или плавно изменяющегося неустановившегося движения потока жидкости в открытом русле системы (1) в конечных приращениях согласно (5) принимает вид

$$- \frac{\omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 - \omega_3 v_3 - \omega_4 v_4}{2\Delta L} - \frac{\omega_1 - \omega_2 + \omega_3 - \omega_4}{2\Delta t} = 0. \tag{8}$$

Уравнения (6), (7) и (8) позволяют найти параметры h и v неустановившегося потока в любой отрезок времени Δt и в любых сечениях этого потока, а также построить кривую свободной поверхности волны перемещения (прямой и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

Представленный конечно-разностный метод интегрирования дифференциальных уравнений неустановившегося постепенно или плавно изменяющегося движения для определенных отрезков времени $t = \text{const}$ (метод мгновенных режимов или фрагментов) является достаточно приближенным. Однако этот метод наиболее полно отвечает требованиям реальной инженерной практики и позволяет осуществить компьютерное моделирование процесса распространения волны перемещения (как прямой, так и обратной) в условиях высокогорья при прорыве плотины.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ НА КОНВЕЙЕРНЫХ ЛИНИЯХ

Стромский С.А., Дубинин С.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Автоматизация действий оператора конвейерных линий позволяет повысить эффективность технологического процесса, а также исключить монотонный труд и возможность ошибочных действий персонала. При внедрении роботизированных конвейерных линий необходимо решать задачи определения положения перемещаемых объектов для синхронизации движения манипуляторов с конвейером для захвата предметов “на ходу”. Для решения этих задач целесообразна реализация функций системы технического зрения (СТЗ) [1]. В отличие от способа на основе фотоэлектрических датчиков исключается необходимость ориентированного расположения объектов на конвейере. Вариант реализации роботизированного конвейера с СТЗ представлен на рис.1.

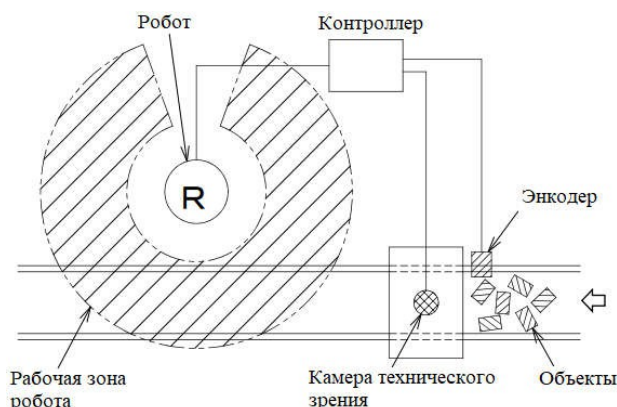


Рисунок 1 – РТК с функцией отслеживания конвейера

Система работает следующим образом. Объект, перемещаясь по конвейеру, попадает в область визуального контроля СТЗ. В момент обнаружения объекта контроллер запоминает его координаты, полученные от СТЗ и энкодерного датчика, контролирующего движение конвейера. Положение объекта на конвейерной ленте не изменяется, поэтому для дальнейшего отслеживания достаточно показаний энкодерного датчика. По полученным координатам контроллер робота определяет момент приближения объекта к рабочей зоне робота и синхронизирует движения робота с конвейером. Это исключает необходимость остановки конвейера, для захвата объекта.

1. Юревич Е.И. Основы робототехники, 4-е издание / Е.И. Юревич-БХВ - Петербург, 2017.- 302 с.

ЭФФЕКТ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАНСНОГО ПИКА В СОБСТВЕННОМ РАДИОИЗЛУЧЕНИИ КОРОННОГО РАЗРЯДА В СИСТЕМЕ ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ОСТРИЕ – ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ ПО МЕРЕ ВОЗРАСТАНИЯ КОЛИЧЕСТВА КОРОНИРУЮЩИХ ИГЛ

Тимошевич В.Б.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Известно [1], что летательные аппараты в процессе полета генерируют собственное радиоизлучение, вызванное, в том числе стеканием электронов с корпуса аппарата в окружающую среду. Накопление электрических зарядов на корпусе обусловлено физико-химическими процессами сгорания топлива в камерах сгорания двигателей, а также явлением трибоэлектричества при трении корпуса о набегающий поток воздуха. Это радиоизлучение имеет широкую полосу частот, однако в зависимости от типа самолета, высоты полета, его скорости и загрузки, спектральный максимум смещается и лежит обычно в длинноволновой области радиочастот. Это излучение также модулировано механическими колебаниями корпуса [1], которые передаются от механически сопряженных с ним агрегатов.

Длинноволновое радиоизлучение распространяется на большие расстояния и может быть использовано для контроля, диагностики и идентификации летательных объектов.

Для снижения разности потенциалов между корпусом самолета и землей с целью увеличения безопасности посадки самолета его крылья оборудуются остроконечными стекателями, которые также участвуют в генерации радиоизлучения.

С целью моделирования этого процесса в вакуумной камере исследовался разряд в системе отрицательное острие – положительная плоскость. В качестве многоточечного острия использовались 49 однотипных стальных игл диаметром 0,5 мм и радиусом закругления 0,018 – 0,027 мм. Они были расположены перпендикулярно эквипотенциальной стальной подложке и параллельно друг другу на расстоянии 0,5 см друг от друга (как щетка). Расстояние между остриями игл и положительной плоскостью было 10 мм. На разрядный промежуток от регулируемого высоковольтного источника питания через токоограничительный резистор и микроамперметр подавалось напряжение. Электромагнитное излучение наводило ЭДС на расположенную в вакуумной камере магнитную антенну, сигнал с которой подавался на перестраиваемый по частоте измеритель радишумов и, далее, после усиления и детектирования, на вход самопишущего потенциометра.

Увеличение напряжения на разрядном промежутке вызывало появление вначале темнового, а затем коронного разряда, что подтверждалось, в том числе, увеличением разрядного тока. Напряжение на разрядном промежутке увеличивалось незначительно, ток возрастал практически линейно. При этом наблюдалось постепенное увеличение числа коронирующих (светящихся) игл от 1 до 30. При дальнейшем увеличении напряжения на источнике питания возрастание количества коронирующих игл прекратилось, а характер разряда с некоторых из «зажженных» игл преобразовался в искровой. Но главный результат эксперимента выразился (рис.) в существенном сужении полосы частот и увеличении добротности резонансного пика по мере увеличения числа коронирующих игл.

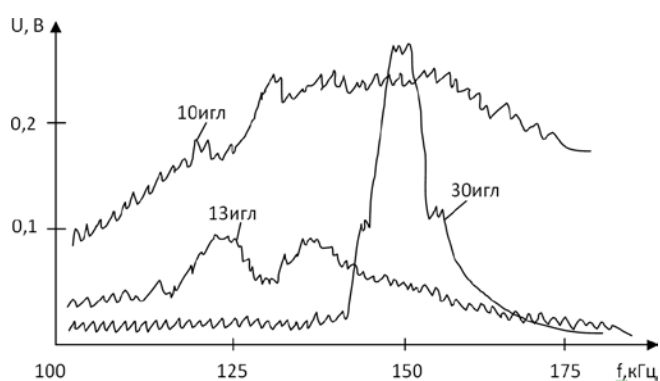


Рис. Спектральные характеристики радиоизлучения при различном числе коронирующих игл

Из этого эксперимента можно сделать следующие выводы:

При многоточечном разряде в системе отрицательное острие – положительная плоскость увеличение числа коронирующих игл происходит постепенно по мере увеличения тока разряда;

Не все из игл участвуют в разряде;

Увеличение числа коронирующих игл приводит к сужению полосы частот и увеличению добротности резонансного пика собственного радиоизлучения системы.

Эксперимент позволил найти объяснение вариациям частот максимумов радиоизлучения для разных самолетов и при различных режимах их работы. Глубокий анализ характеристик, в том числе спектральных, собственного радиоизлучения двигательных установок и связанных с ними объектов может существенно расширить возможности технической диагностики и контроля технологических параметров дистанционно и без вмешательства в технологический процесс.

1. Гречихин Л.И., Тимошевич В.Б. Техническая диагностика технологических процессов и энергетических устройств в машиностроении путем анализа генерируемого радишума. – Минск: Машиностроение, 2001. – 633 с.

ТЕХНОЛОГИЯ СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

К.В. Хвилько, И.В. Качанов, И.М. Шаталов, А.А. Кособуцкий

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Осуществление дноуглубительных работ на внутренних водных путях Республики Беларусь является необходимым условием для обеспечения судоходства пассажирских и грузовых судов. Эти работы осуществляются специальными плавучими дноуглубительными земснарядами, предназначенными для подводной разработки грунта. В организациях внутреннего водного транспорта Республики Беларусь эксплуатируется около 30 таких машин. Дополнительно указанные земснаряды выполняют работы по добыче песка со дна рек и озер для обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.

Общий объем грунта, извлекаемый в Республике за период навигации, составляет около 800 000 м³. Извлекаемый природный песок разнороден по своему зерновому составу. В большинстве случаев он не отвечает требованиям, предъявляемым действующими стандартами к пескам, предназначенным для приготовления бетонных и растворных смесей. Чтобы получить из них доброкачественный заполнитель бетона нужно, как правило, удалить из песка вместе с глиной и илом излишнее количество фракций мельче 0,16 мм., для этого необходима дополнительная обработка природного песка, его сепарация, которая осуществляется в специальных аппаратах. Анализ существующих конструкций гидравлических классификаторов гидросмесей, гидроциклонов, спиральных аппаратов показал невозможность их использования непосредственно на земснарядах ввиду больших габаритов, металлоемкости и невозможности получения готового, товарного песка без дополнительной обработки.

В связи с вышеизложенным на кафедр «ГЭСВТГ» БНТУ были выполнены НИР в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве с Республиканским унитарным эксплуатационно-строительным предприятием (РУЭСП) «Днепробугводпуть».

Объектом исследования являлась технология и устройство для сепарации пульпы при проведении дноуглубительных работ на речных фарватерах.

Цель работы – разработка инновационной технологии сепарации пульпы в нагнетательном трубопроводе грунтового насоса земснаряда.

В результате проведенных компьютерных, лабораторных и натурных исследований была разработана инновационная технология сепарациипульпы (ТСП) в нагнетательном трубопроводе грунтового

насоса и определено оптимальное поперечное сечение, которым является овальное.

На рисунке 1 представлена конструкция сепаратора и возможные формы его поперечного сечения.

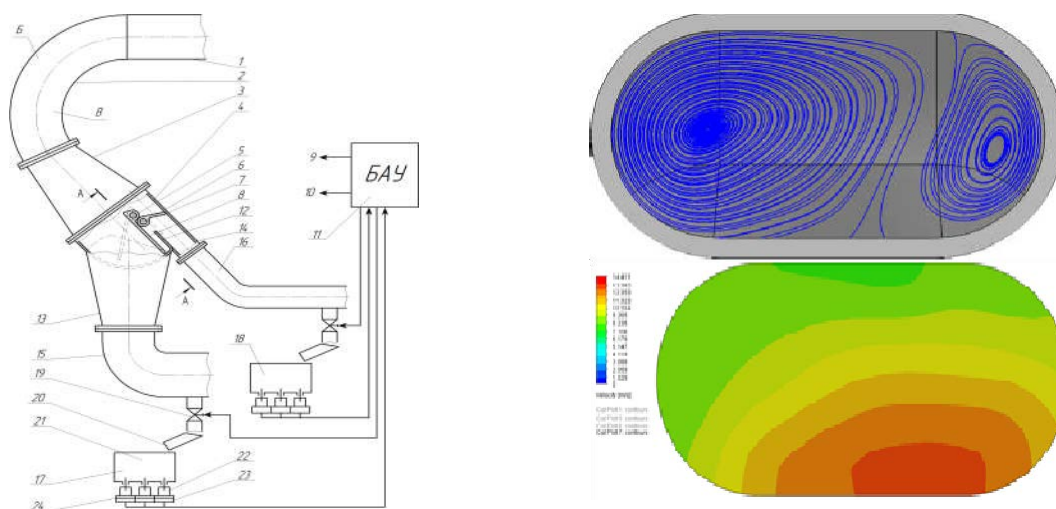


Рисунок 1 – Конструкция сепаратора пульпы и возможные формы его поперечного сечения

Использование овальных сечений на плавных поворотах трубы грунтового насоса приводит к существенному снижению (в 1,5 и более раз), гидравлического сопротивления этой трубы, что в свою очередь серьезно снижает энергозатраты на подачу пульпы (20–30% меньше) и повышает эффективность работы землесосного снаряда.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: применение овального сечения на поворотах нагнетательной трубы позволит реализовать ТСП в реальных (натурных) условиях при напоре $H = 27$ м; подаче $Q = 0,38$ м³/с, при этом на реализацию ТСП необходима мощность $N = 175,7$ кВт, а расход топлива для нормальной работы двигателя составит 27 л/час.

Результаты проведенных исследований были использованы в РУЭСП «Днепробугводпуть» при разработке новой конструкции нагнетательного трубопровода с сепаратором пульпы грунтового насоса, установленного на земснаряде при добыче речного песка в районе г. Пинска и г. Бобруйска.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Холод П.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В настоящее время подавляющее большинство электронных устройств имеют в своём составе не менее одной печатной платы. Любая печатная плата состоит из самой платы и установленных на ней в один или несколько слоёв электронных компонентов. Существенное уменьшение массогабаритных характеристик электронных компонентов было достигнуто с внедрением технологии поверхностного монтажа. Основным отличием технологии поверхностного монтажа от технологии сквозного монтажа в отверстия – является то, что компоненты монтируются на поверхность печатной платы только со стороны токопроводящих дорожек и для этого не требуются отверстия. Таким образом, плата для схемы является и несущей основой и коммутирующей схемой.

Существенное уменьшение габаритов электронных компонентов, размеров их выводов и расстояний между ними (расстояния между выводами могут составлять десятые доли миллиметра) привело к невозможности реализации процесса производства печатных плат человеком без вспомогательного оборудования. В результате стали внедряться системы повышенной точности, которая достигается отдельным оборудованием во многом за счёт системы компьютерного (технического) зрения.

Процесс поверхностного монтажа в общем виде представляет собой нанесение паяльной пасты или паяльного клея на позиции, на которые будут монтироваться электронные компоненты, установку компонентов на позиции и оплавления паяльной пасты (клея). Первые два этапа предъявляют особые требования точности, так как в случае неточной реализации возможны короткие замыкания и разрывы цепи.

Паяльная паста (клей) наносится на печатную плату либо с помощью трафаретного принтера (серийное и массовое производство) либо с помощью автомата дозирования или встроенной в автомат установки компонентов системы дозирования (единичное и мелкосерийное производство). В последних двух случаях используется система технического зрения (СТЗ).

При использовании автомата дозирования компьютерное зрение применяется для фиксации платы в необходимом положении, которое осуществляется за счёт сканирования встроенной в автомат видеокамерой реперных знаков, расположенных на поверхности печатной платы. Реперные знаки представляют собой размещаемые в углах заготовки

простые геометрические фигуры (круги, квадраты, кресты, ромбы и т.п.) размером 1...5 мм, которые получают в процессе изготовления платы.

В автомате установки компонентов печатных плат СТЗ, помимо позиционирования печатной платы, применяется для точной установки электронных компонентов. Автомат управляется с компьютера и имеет собственное программное обеспечение, в которое загружается печатная плата, спроектированная в САД-системе, и преобразуется в программу обработки, либо же в самой программной среде создаётся программа установки компонентов. В обоих случаях создание программы монтажа основывается на использовании встроенной библиотеки компонентов, содержащей информацию о типах микросхем и других SMD-компонентов, их габаритах, размерах ножек, расстояниях между выводами и т.д. Элементы загружаются в специальные интеллектуальные питатели, которые вставляются в определённые позиции в автомате. Далее, согласно программе обработки, рабочая головка автомата с помощью вакуумного схвата захватывает компонент, переносит его в поле зрения видеокамеры, где происходит его анализ и сравнение с библиотечной моделью для выявления отклонений и задания корректировок, после чего с учётом заданных корректировок компонент устанавливается на печатную плату. Если в автомат установки компонентов интегрирована система дозирования, то по той же программе перед установкой компонентов автомат с помощью закреплённого на рабочей головке дозатора выполняет нанесение паяльной пасты (клея) на участки последующей установки компонентов [1].

Также система компьютерного зрения широко применяется для выявления дефектов паянных соединений. Самые первые методы сводились к тому, что печатная плата анализировалась с помощью СТЗ и ей присваивалась метка «годная деталь» или «брак» без указания конкретной позиции. Далее поиск неисправностей осуществлялся оператором. Более современные системы сводятся к выявлению некачественных соединений на основании машинного обучения, осуществляющегося путём обработки огромного количества снимков. Данный способ более эффективный, однако нестабилен при внедрении в производство новых плат. Также одним из современных способов контроля является внедрение искусственного интеллекта для анализа снимков, полученных с помощью автомата рентгеноскопии плат [2].

1. Богачек, Г.Д. Технология поверхностного монтажа. Автоматическая установка компонентов: учебное пособие / Г.Д. Богачек, И.В. Букрин, В.И. Иевлев; под общ. ред. В.И.Иевлева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018 – 104 с.

2. Jabbar E., Loubes J.M. Supervised Learning Approach for Surface-Mount Device Production // 4th International Conference, LOD 2018 – Volterra 2018. – 11 p.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМ 3D-ПРИНТЕРОМ

Юденков В.С., Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью исследования является синтез оптимального управления двигателем строительного 3D-принтера на базе магистрального метода оптимизации. В работе проведен синтез оптимального регулятора методом математического моделирования, рассчитан момент переключения с оптимального регулятора на ПИД-регулятор, а также показана экономичность привода с таким регулятором по сравнению с обычным ПИД-регулятором. Путем математического моделирования доказано, что наиболее рациональной структурой САУ является САУ с изменяемой структурой. Для регулятора с изменяемой структурой процесс разгона состоит из трех частей: заход на оптимальную траекторию, движение по оптимальной траектории и переключение на траекторию стабилизации. Оптимальное управление электроприводом синтезировано с учетом полных потерь в двигателе [1,2]. Уравнения электропривода постоянного тока выражаются формулами [1,2]:

$$T_M \dot{e} = iR_0 - I_c R_0, \quad \frac{Td(iR_0)}{dt} = iR_0 - e - \beta_{nu} \quad (1)$$

где R_0 – сопротивление цепи якоря; i – ток двигателя; I_c – ток статической нагрузки; e – ЭДС двигателя, β_n – коэффициент усиления преобразователя.

Критерий качества имеет вид:

$$J = \int_0^T (1 + \lambda \Delta P_\Sigma) dt \quad (2)$$

Используя магистральный метод оптимизации получено оптимальное управление:

$$i_a = I_c \pm \sqrt{I_c^2 + \frac{1 + \lambda(g(w) + \Delta P_M(w))}{R_0}} \quad (3)$$

где $g(w)$ – потери мощности в цепи возбуждения, $\Delta P_M(w)$ – потери механической мощности, зависящие от угловой скорости.

Оптимальное управляющее воздействие, формируемое регулятором, будет изменяться по следующему закону:

$$u^* = \begin{cases} u_a, & \text{при } u_a \leq u_{\max} \\ u_{\max}, & \text{при } u_a > u_{\max} \end{cases}, \quad (4)$$

где U_{\max} – максимально допустимое напряжение на обмотке ротора.

В результате моделирования в среде MATLAB САУ с изменяемой структурой получены графики переходных процессов, представленные на рис. 1.

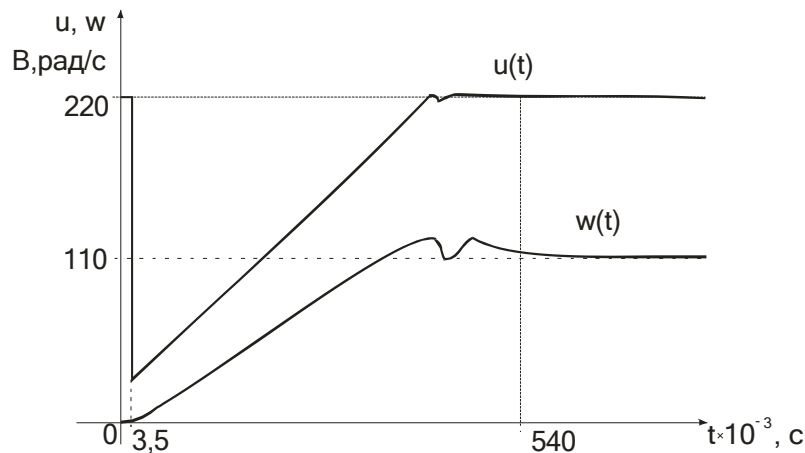


Рис. 1. График переходного процесса разгона электропривода

Модель САУ состоит из трех частей:

ПИД регулятор,

регулятор оптимального управления, синтез которого проводился магистральным методом,

двигатель с нагрузкой.

Simulink модель управления приводом одного звена 3D-принтера показана на рис.2.

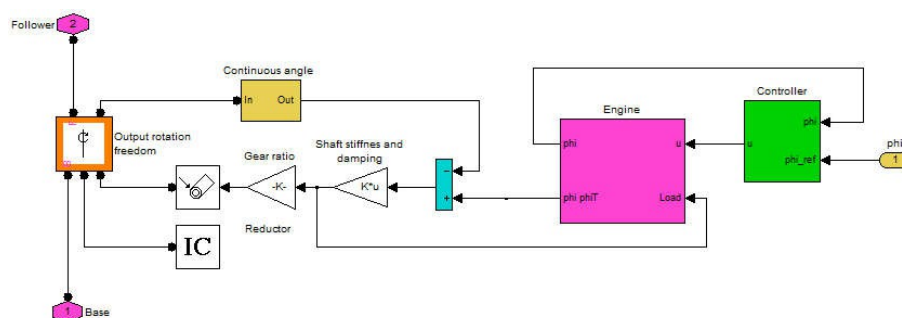


Рис.2. Simulink модель управления приводом одного звена

1. Панасюк В.И., Ковалевский В.Б., Политыко Э.Д. Оптимальное управление в технических системах. – Мн.: Наука и техника, 1990. – 272 с.

2. Гук М.Э, В.С. Юденков " Синтез регулятора с переключаемой структурой управления асинхронным электродвигателем". Тезисы доклада международной научно-технической конференции, приуроченной к 50-летию БГУИР. Минск, БГУИР, 2014

ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ КАРТЫ МЕСТНОСТИ В СИСТЕМЕ ОПТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ БПЛА

Ю.Ф. Яцына¹, А.А. Лобатый², П.И. Савёлов¹

1). РУП «НПЦ Многофункциональных беспилотных комплексов»

2). Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Разработка систем оптической навигации для беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в настоящее время является актуальной задачей. Основным предназначением таких системы является построение цифровой карты местности с одновременным позиционированием летательного аппарата. Как правило, это визуальное восприятие объектов на изображении местности, полученное БЛА. Одно такое изображение обычно содержит большое количество объектов разного масштаба, относящихся к нескольким категориям. Так как фон на изображении в большинстве случаев неоднороден (например небо, лес, луг и т.д.), то это затрудняет идентификацию объектов, определение их контуров и местоположения на изображении.

Данная задача решается при помощи семантической сегментации изображений [1], которая служит основой функционирования оптической системы навигации. Развитие методов семантической сегментации изображений в значительной степени обусловлено ростом вычислительных мощностей мобильных компьютерных систем. Существуют различные методы семантической сегментации объектов аэрофотоснимков и спутниковых изображений, сделанных из надира (вертикального направления), но так как расстояние между камерой и землёй достаточно велико, то в представлении объектов на изображении из надира можно наблюдать только верхнюю часть объектов, что формирует его ограниченное представление и приводит к проблемам в распознавании. Косой же вид (не вертикальный) даёт разнообразное представление объектов с многообразным контекстом сцены, что может быть полезно для решения задачи распознавания объектов [2]. Если БЛА летит ближе к земле, то можно наблюдать большую область с большим количеством деталей, что приводит к существенным изменениям масштаба изображения. Оптимальным решением данной задачи является декодирование изображений, полученных из наклонной перспективы системы видеонаблюдения БЛА. В этом случае фиксируется как вид сверху, так и вид сбоку объекта, что даёт больше информации для его распознавания.

Для корректной идентификации объектов, в этом случае, необходимо выделение на изображении их реперных признаков. Ручная разработка признаков для этой сложной задачи требует большого количества времени и трудозатрат. Одним из путей решения этой проблемы является

использование машинного обучения для обнаружения признаков объектов одновременно с их идентификацией [3]. Для формирования обучающей базы данных, необходимо провести репрезентативную классификацию и маркировку признаков объектов на изображениях. Разработка признаков является основной частью процесса обучения для обеспечения точной идентификации объектов. Это позволяет обеспечить более высокую производительность по сравнению с результатами, полученными при использовании признаков, полностью разработанных вручную. Кроме того, система машинного зрения сможет адаптироваться к новым сценам окружающей местности при минимальном вмешательстве человека.

Разработка исходных данных для формирования репрезентативных изображений, полученных с помощью БЛА, требует тщательного планирования стратегии получения данных, протокола полёта БЛА и выбора класса объектов для маркирования. Весь процесс разрабатывается с учётом оптимальности и эффективности для реализации машинного обучения семантической сегментации БЛА, поэтому целесообразно осуществлять маркировку изображения последовательно, чтобы можно было оценить стабильность и точность идентификации объекта.

Основная трудность при идентификации реальных изображений заключается в том, что многие факторы вариативности влияют на каждую отдельную часть данных. Поэтому для того, чтобы снизить величину дисперсии в наборе данных и избавиться от алгоритмов обучения нейронной сети от дополнительной коррекции необходимо обеспечить систему навигации достоверными данными. Кроме того следует учесть, что маркировка небольших объектов, тип которых трудно определить, делает задачу упрощения алгоритмов обработки информации более трудоёмкой, чем работа в автоматическом режиме.

Таким образом, решением задачи построения карты местности при помощи оптической системы навигации БЛА является реализация совместного применения семантической сегментации и конволюционной нейронной сети.

1. J. F. Galarreta, N. Kerle, M. Gerke UAV-based urban structural damage assessment using object-based image analysis and semantic reasoning // *Natural Hazards and Earth Systems Science*. - 2015, vol. 15, pp. 1087.

2. Lyu, Ye UAVid: A semantic segmentation dataset for UAV imagery/Ye Lyua, George Vosselmana, Gui-Song Xiab, [et al.]// *Photogrammetry and Remote Sensing*. -2020, № 165.- pp. 108–119

3. Ofli., F. Combining humancomputing and machine learning to make sense of big (aerial) data for disaster response / F. Ofli, P. Meier, M. Imran, [et al.] // *Big Data*. - 2016, vol. 4, № 1.- pp. 47–59.

УДК 519.85

МУЛЬТИКОПТЕР КНР HARWAR ZHANFU H16-V12

Гу Пэнхао, Лобатый А.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Мультикоптер представляет собой беспилотный летательный аппарат (БЛА), имеющий от трех до двенадцати электродвигателей с воздушными винтами. Уже сейчас подобные беспилотные летательные аппараты используются в нефтегазовом секторе для контроля целостности нефтедобывающих вышек, в энергетике для контроля целостности линий электропередач. В 2017г на выставке в городе Шэньчжэнь был представлен мультикоптер ZHANFU H16-V12, который производит китайская компания HARWAR, который имеет следующие характеристики.

Габариты рамы: 1530*1750*830мм.

Габариты (ротор — ротор): 1650мм.

Максимальная нагрузка на борту 25кг.

Время нахождения в воздухе: 60 мин.

Максимальная скорость: 65км/ч.

Полетный радиус: 14км.

Рабочая температура: от -40°С до 85°С.

Максимальный потолок полетов: 5834м.



Harwar Tomahawk H-16 V12 имеет большую грузоподъемность и обеспечивает выполнение независимо от времени суток и метеоусловий следующих задач.

Патрулирование и наблюдение больших территорий.

Поиск и обнаружение людей с помощью тепловизора.

Мониторинг дорожной ситуации и анализ мест ДТП.

Координация действий полицейских с воздуха.

1. БЛА для обеспечения правопорядка и общественной безопасности
<https://brlab.ru/scopes/politsiya/>

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПЕЧАТИ ИЗДЕЛИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Гурский Н.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В современной строительной промышленности широко применяются различные средства автоматизации производства, в том числе, механические роботы-манипуляторы, позволяющие решить широкий спектр технологических задач и заменить человеческий труд в тяжелых или опасных условиях.

Объектом исследования данной работы является двухзвенный двухступенной робот-манипулятор, поддерживающий аддитивную технологию производства строительных изделий.

Цель работы: разработка программного обеспечения создания цифровой модели строительного объекта и формирования последовательности команд печати строительного изделия манипулятором, управляемым программируемым промышленным микроконтроллером.

Для достижения поставленной цели в работе рассмотрены решения следующих задач:

- разработка программного обеспечения верхнего уровня для автоматизированного проектирования технологического процесса изготовления строительных изделий с автоматическим формированием команд позиционирования экструдера манипулятора с возможностью предварительной визуализации технологического процесса в симуляторе.

- разработка программного обеспечения нижнего уровня для экструдирования рабочих смесей при производстве строительных изделий способом безпалубочного 3D-бетонирования [1] на базе промышленного микроконтроллера.

Программное обеспечение верхнего уровня реализовано по схеме клиент-серверного приложения. В качестве сервера может быть использован универсальный графический редактор для работы с 2D и 3D графическими моделями, например, AutoCAD. В среде сервера создается проектируемое изделие с помощью принятых в нем геометрических примитивов, производится редактирование отдельных узлов и выполняются другие необходимые действия над графической моделью строительного объекта.

Клиент – это интерфейсное приложение, взаимодействующее с сервером и возвращающее из графической модели требуемую информацию, для формирования цифрового описания образа технологических движений рабочего органа манипулятора при послойном «выращивании» изделия. Клиент также позволяет производить различные

настройки, редактировать схему движения манипулятора и визуализировать процесс создания изделия в трехмерном представлении (рис.1).

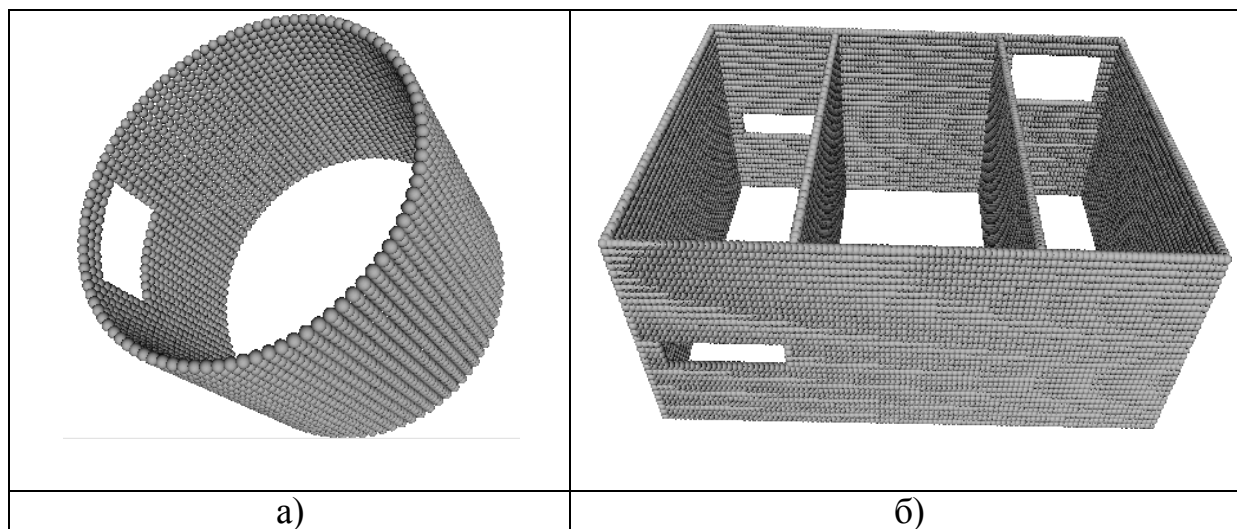


Рис. 1. 3D-объекты строительного назначения, готовые для получения файла G-codes (а – объект простой формы, б - объект сложной формы)

После получения требуемого визуального представления объекта с учетом заданных особенностей (окон и т.д.) и устранения возможных ошибок, может быть сформирован файла управляющих команд в виде G-codes, с помощью которого осуществляется непосредственно печать строительного изделия манипулятором под управлением промышленного контроллера.

Клиент предоставляет параметрический набор простых строительных форм, что, в ряде случаев, позволяет автономно реализовать необходимые действия по созданию файла G-codes без использования услуг сервера.

Программное обеспечение нижнего уровня ориентировано на используемый контроллер и учитывает геометрические и динамические параметры механической конструкции манипулятора.

В работе [2] приведена программа, прошиваемая в контроллер и поддерживающая печать строительного объекта, представленного файлом G-codes, сформированным вышеизложенным программным обеспечением.

1. Трепачко, В.М. Оборудование для принтерного изготовления изделий, конструкций и строительства сооружений способом безпалубочного 3D-бетонирования / В.М. Трепачко, А.М. Авсиевич, Гурский Н.Н., Артющик В.С. // X Форум вузов инженерно-технологического профиля союзного государства. Сборник материалов, г. Минск 6 – 10 декабря 2021 г. – С. 153 – 154.

2. Гурский, Н.Н. Мехатронная система и программная модель 3D принтера строительного назначения / Н.Н. Гурский, В.С. Артющик // Математические методы в технике и технологиях. Сборник трудов международной научной конференции. Том 11. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 63-66.

ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЫ

Напрасников В.В.¹, Полозков Ю.В.¹,
Соловьев А.Н.², Скалиух А.С.³

- 1). Минск, Белорусский национальный технический университет
- 2). Ростов-на-Дону, Донской государственный технический университет
- 3). Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет

При проектировании конструкций буровых платформ существенным требованием является снижение массы в условиях сохранения прочности и жесткости.

Для решения таких задач можно использовать подход, основанный на создании параметрической модели сооружения с целью дальнейших вариантных расчетов и постановки задачи оптимизации в той или иной формулировке.

В качестве примера использования такого подхода рассматривается конструкция, представленная на рисунке 1.

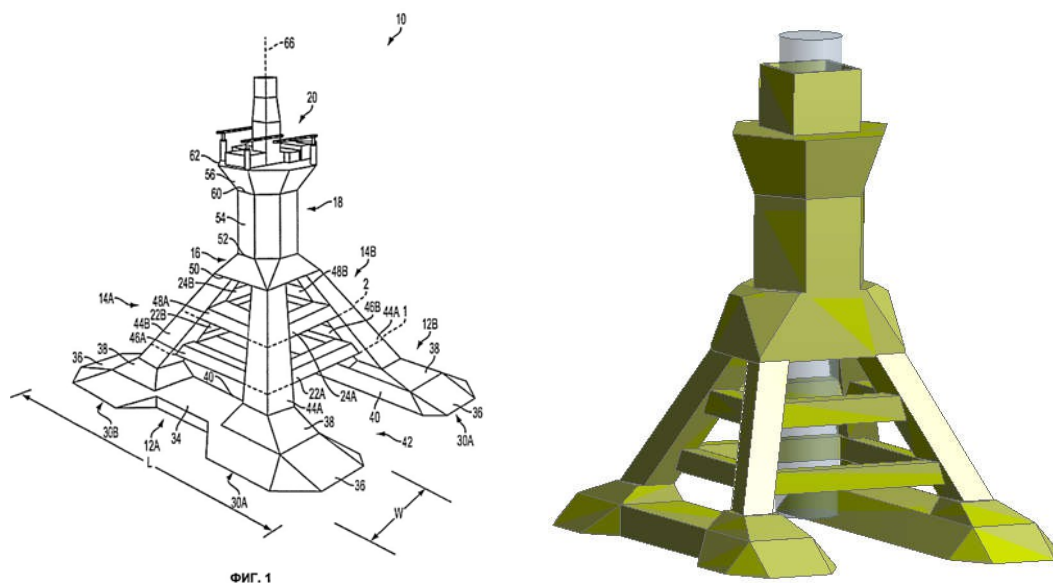


Рисунок 1. Конструкция одного типа буровых платформ

На рисунке 2 показаны суммарные деформации и напряжения по Мизесу при рабочих нагрузках на конструкцию.

В результате оптимизации на основе алгоритма NLPQL (Nonlinear Programming by Quadratic Lagrangian) удастся снизить объем изделия до 27,614 м³, против исходного 28,233 м³ с сохранением допустимой прочности и устойчивости.

На рисунке 3 представлена схема проекта в среде ANSYS WB.

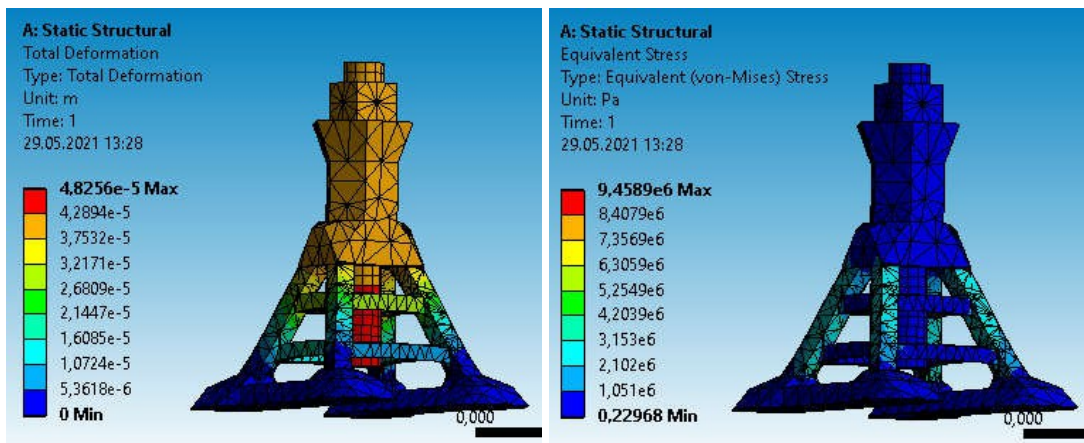


Рисунок 2. Суммарные деформации и напряжения по Мизесу

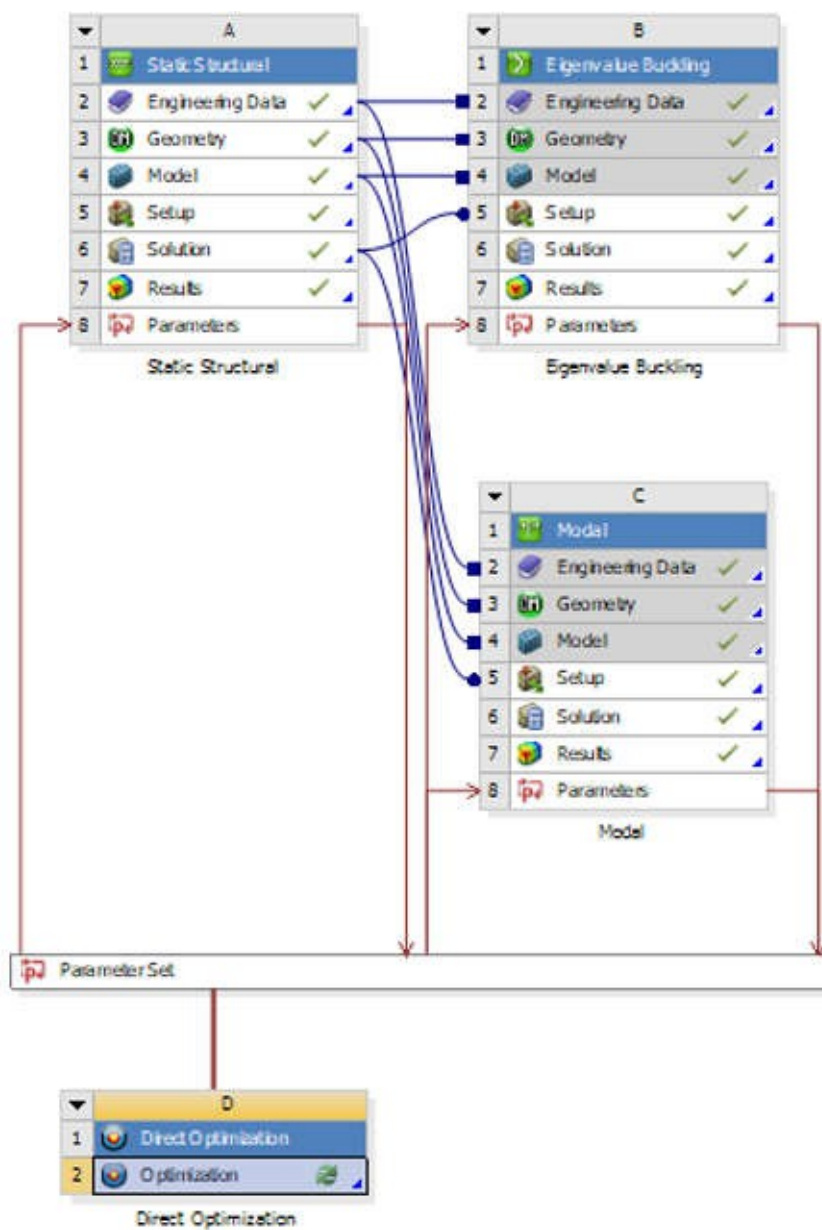


Рисунок 3. Схема проекта в среде ANSYS WB

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОТЕЛЬНОЙ ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА

Лившиц Ю.Е., Задорожная В.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

По уровню автоматизации теплоэнергетика занимает одно из ведущих мест среди отраслей промышленности. Поэтому применяют автоматическое оборудование, которое призвано обеспечить тепловой комфорт в помещениях при минимальных эксплуатационных затратах. Так как развитие этого направления не стоит на месте, то в нем все еще ведутся разработки.

В настоящее время, в связи с развитием устройств автоматизации, актуально проектирование автономных котельных без постоянного присутствия обслуживающего персонала. Современные устройства управления, регулирования и контроля позволяют осуществлять более гибкое управление работой котельной. Основная функция человека сводится к эксплуатации оборудования и технических устройств по определенному временному графику и в случаях аварии котельной, что позволяет снизить нагрузку на персонал [1].

Автоматизация котельных выстраивается по двухуровневой схеме управления. К нижнему уровню относятся приборы локальной автоматики на базе программируемых микроконтроллеров, реализующие техническую защиту и блокировку, регулировку и изменение параметров, первичные преобразователи физических величин. Сюда же причисляют и оборудование, предназначенное для преобразования, кодирования и передачи информационных данных о состоянии котельной: температура, давление, расход топлива и т.д.

Верхний уровень может быть представлен в виде графического терминала встроенного в шкаф управления или автоматизированного рабочего места оператора. Здесь отображается вся информация, поступающая от микроконтроллеров нижнего уровня и датчиков системы, и производится ввод оперативных команд.

Вопросу безопасности на предприятии уделяется все больше внимания. Для обеспечения безопасности обслуживающего персонала вводятся датчики, включенные в общую систему котельной. Это могут быть: дымовой извещатель – ИП-212-5-МУ, тепловой извещатель – ИП 114-01-А2М; аппарат вентиляционно-отопительный – КЭВ-39М4W2, и т.д.

Основные функциональные возможности автоматизированной системы в области контроля:

- контроль показаний датчиковой аппаратуры;
- контроль режима работы котла и насосов;
- аварийная остановка котельного оборудования;

защита котельного оборудования при возникновении пожара в котельной, прекращении работы горелки, превышение или падение давления в котловом контуре;

автоматическая отправка SMS-сообщения управляющему котельной при возникновении внештатной ситуации.

Современный рынок широко представлен как отдельными приборами и устройствами, так и комплектами автоматики отечественного и импортного производства для котлов. К средствам автоматизации относят: оборудование управления розжигом и наличия пламени, запускающее и контролирующее процесс горения топлива в топочной камере котлоагрегата;

специализированные сенсоры (тягонапоромеры, датчики температуры, давления, газоанализаторы и т. д.);

исполнительные устройства (электромагнитные клапаны, реле, сервоприводы, частотные преобразователи);

панели управления котлами и общекотельным оборудованием (пульты, сенсорные мнемосхемы);

шкафы коммутации, линии связи и энергообеспечения.

При выборе технических средств управления и контроля наиболее пристальное внимание следует уделить автоматике безопасности, исключающей возникновение нештатных и аварийных ситуаций.

Основные преимущества автоматизированной системы управления котельных установок:

обеспечение безопасности обслуживающего персонала. Нет необходимости, чтобы диспетчер пребывал в помещении, так как он может контролировать процесс при помощи монитора;

сокращение энергозатрат, необходимых для эффективной работы котельной. Достаточно установить необходимый режим и определенные параметры, чтобы котел включался и выключался в назначенное время, если нет надобности в круглосуточной работе оборудования [2];

минимизация рисков возникновения аварийной ситуации. Постоянный контроль за работой котельной и своевременное получение сигнала о сбое в ее функционировании позволяет своевременно обнаружить причины неисправности и предотвратить аварию.

1. Автоматизация котельных установок [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://autogear.ru/article/291/045/avtomatizatsiya-kotelnyih-ustanovok-opisanie-ustroystvo-i-shema/>

2. avitek-i [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: https://avitek-i.ru/articles/avtomatizatsiya_kotelnykh/

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОЙ НАСОСОВ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ИХ СТЕПЕНИ ИЗНОСА

Синицын А.В., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Задачей современной системы автоматизированного управления насосными станциями является поддержание заданного технологического параметра (давления, расхода и др.) при минимизации потребления электроэнергии и эксплуатационных затрат.

Износ – это один из основных аспектов, снижающих эффективность работы насосного оборудования. Причинами износа гидравлической части насосного агрегата могут служить кавитация, а также разрушение рабочих поверхностей абразивными частицами, содержащимися в перекачиваемой жидкости. При одновременном воздействии этих двух факторов общий износ насосов, как правило, увеличивается.

Технико-экономические последствия износа насосов вследствие кавитации и истирания взвешенными частицами проявляются двояко. Во-первых, это ухудшение энергетических характеристик насосов (снижение напора и КПД) и связанное с этим увеличение потребляемой электроэнергии. Если при этом принять во внимание, что стоимость электроэнергии для насосных станций достигает 90% общих эксплуатационных расходов, то становится очевидно, что поддержание высокого КПД оборудования имеет решающее значение для экономичности работы насосных станций. Во-вторых, это значительные затраты труда и материалов на ремонтные работы по устранению последствий износа деталей проточной части насосов. Общие дополнительные затраты средств получаются столь большими, что приобретают самостоятельное технико-экономическое значение [1].

Кавитация возникает в насосном агрегате в случае его работы за пределами правой границы рабочей области его напорно-расходной характеристики. Она сопровождается образованием воздушных пузырьков и их последующим схлопыванием с выделением большого количества энергии.

Разработанный программно-аппаратный комплекс «Акватория» позволяет автоматически оценивать степень износа рабочих колес насосных агрегатов в динамике их работы, а также определять их фактическую рабочую точку и отслеживать ее нахождение в пределах допустимой рабочей области [2].

Данный функционал реализуется при управлении насосными агрегатами с частотным регулированием и базируется на анализе следующих параметров: входного и выходного давления, частоты оборотов двигателя рабочего колеса насоса и потребляемой мощности. Так

при каждом пуске насосного агрегата система производит расчеты с помощью генетического алгоритма и выдает комплексную оценку степени износа по мощностным параметрам насоса и по его напорно-расходной характеристике.

Отслеживая изменение данного параметра с течением времени, система позволяет на ранних стадиях определить ухудшение параметров работы насосного агрегата и угрозу возникновения аварийной ситуации. Для достоверной оценки износа насоса требуется проведение не менее десяти замеров, при этом сам процесс замеров выполняется автоматически при пуске насоса и не влияет на качество поддержания основного технологического параметра.

Вторым важным аспектом использования оценки износа является определение фактических характеристик насосных агрегатов и расчет на их основе расхода насосного агрегата. На основании расчётного расхода и измеренных напора и потребляемой мощности «Аквагоризонт» определяет КПД насосного агрегата и его фактическую рабочую точку, которые далее используются для контроля эффективности работы насоса.

При управлении группой параллельно работающих насосных агрегатов система производит оценку степени их износа и корректирует в соответствии с этим паспортные мощностную и напорно-расходную характеристики насосов в текущие. Далее она моделирует, какая из комбинаций насосных агрегатов является наиболее энергоэффективной для текущих параметров работы насосной станции (напора и расхода) и либо выдает соответствующие рекомендации по управлению станцией, либо автоматически управляет процессом.

По результатам эксплуатации данной системы зафиксировано:

1. Снижение затрат на электроэнергию 5-8% при управлении группой насосов;
2. Снижение наработки насосных агрегатов (за счет того, что в группе всегда работает оптимальное количество насосов);
3. Снижение затрат на ремонт насосного оборудования за счет комплексной оценки степени его износа и контроля параметров его работы.

1. Карелин В. Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции: Учеб. для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986. — 320 с.
2. *technikon* [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа: <https://aquatoria.technikon.by/>

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Лившиц Ю.Е., Белоусов Д.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Переход на рыночные механизмы функционирования электроэнергетики обусловил кардинальное изменение отношения к организации учета электроэнергии. Электроэнергия стала дорогим товаром. В связи с чем возрос интерес к автоматизированным системам контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) как со стороны энергоснабжающих организаций, так и со стороны потребителей.

Объектом автоматизации является унитарное коммунальное предприятие (УКП) «Тепловая энергетика», относящееся к УКП «Коммунальник». В данную АСКУЭ входят все точки учета электрической энергии, которые участвуют в коммерческих расчетах за электрическую энергию. В рабочем режиме АСКУЭ данной организации осуществляет сбор значений активной и реактивной мощности обоих направлений не реже чем один раз за 24 часа.

В системе АСКУЭ УКП «Тепловая энергетика» можно выделить следующие территориально разнесенные, взаимодействующие между собой по каналам связи подобъекты:

- кабинет главного энергетика расположенный на территории УКП «Тепловая энергетика»;
- здание центральной котельной УКП «Тепловая энергетика»;
- трансформаторная подстанция-348;
- водозабор г. Горки;
- очистные сооружения г. Горки;
- котельная;
- информационная система АСКУЭ верхнего уровня в РУП «Могилевэнерго».

В основу системы АСКУЭ УКП «Тепловая энергетика» положена иерархическая структура, включающая в себя несколько уровней сбора и обработки информации.

На первом уровне осуществляются сбор информации, ее предварительная обработка, хранение и передача на следующий уровень информационной системы. Источниками информации служат электронные многотарифные счетчики электрической энергии «Гран-электро СС-301» и «Меркурий 230», а так же существующие счетчики электрической энергии «СЭТ4.ТМ2.04», которые включены в Госреестр средств измерения РБ и в отраслевой рекомендуемый перечень средств коммерческого учета электроэнергии для целей применения в составе АСКУЭ [1].

На втором уровне информация по каналам связи (линии передачи данных RS-485, радиоканал связи на частоте 433МГц, GSM каналы связи с удаленными точками учета) от счетчиков электрической энергии собирается, обрабатывается и архивируется в устройстве сбора и передачи данных УСПД- «СЭМ-3G» [1].

Третий уровень – локальная информационная система объекта, верхний уровень системы АСКУЭ. Она включает в себя: АРМ оператора АСКУЭ УКП «Тепловая энергетика», сервер лаборатории АСКУЭ инженерного центра, а также АРМы отдела сбыта «Могилевских электрических сетей».

Сервер АСКУЭ инженерного центра по каналу связи, по технологии GPRS, осуществляет чтение информации с УСПД и производит расчет энергопотребления по заданным группам с записью в СУБД [1].

На АРМах в отделе сбыта «Могилевских электрических сетей», под управлением операционной системы Windows, установлено клиентское ПО «Energy Control». Оно через УСПД РУП «Могилевэнерго» обращается к серверу АСКУЭ инженерного центра и формирует в удобном графическом виде информацию об энергопотреблении УКП «Тепловая энергетика». Это позволяет оператору производить контроль процессов потребления электроэнергии и распечатку документов об энергопотреблении.

В АСКУЭ сбор сведений по потребленной электроэнергии происходит в автоматическом режиме, благодаря установке цифровых устройств, подключенных к общей сети. Такое проектное решение позволяет осуществить:

- коммерческий учет электрической энергии;

- передачу информации в отдел сбыта филиала РУП «Могилевэнерго» «Могилевские электрические сети»;

- контроль баланса электроэнергии по предприятию и по расчетным точкам;

- соблюдение заданного режима потребления электроэнергии (контроль перегрузки, соблюдение графика потребления и пр.);

- формирование статистической отчетности по всем требуемым формам и накопления ретроспективных данных в разрезе контрольных и отчетных периодов;

- повышение технического уровня производства и улучшение условий труда.

АСКУЭ делает порядок расчетов на энергоресурсы прозрачным, как для поставщика, так и для потребителя. Экономический эффект от АСКУЭ по всем технико-экономическим обоснованиям и заключениям экспертов – 10-15% [1].

1. Осика Л.К. Коммерческий и технический учет электрической энергии на оптовом и розничном рынках: Теория и практические рекомендации. – СПб.: Политехника, 2006. – 360 с.

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМ ЗАХВАТОМ РОБОТА-АВАТАРА С ОБРАТНОЙ СИЛОВОЙ И ТАКТИЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ

Лившиц Ю.Е., Хурс С.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь.

Роботы-аватары — это роботы телеприсутствия, обладающие возможностью не только получать информацию посредством различных сенсоров, но и двигаться по желанию оператора, а также использовать антропоморфные манипуляторы и другие устройства, которыми может оснащаться робот-аватар. При работе оператора с антропоморфным захватом основные функции управления роботом возлагаются на человека. Манипулятор служит для передачи основных движений руки оператора удаленно и передачи обратной связи с датчиков манипулятора на устройства управления с обратной связью. Устройство управления с обратной связью должно отслеживать движения оператора для управления движением манипулятора, а также передавать силовую и тактильную обратную связь, чтобы оператор ощущал физические свойства объекта (форму и упругость объекта), захватываемого манипулятором. Одним из таких устройств является инновационное устройство управления с обратной силовой и тактильной связью Teslaglove, разработанное в компании VR Electronics Ltd [1].

Teslaglove это устройство управления с возможностью отслеживания движения оператора, передачи сигналов тактильной и силовой обратной связи.

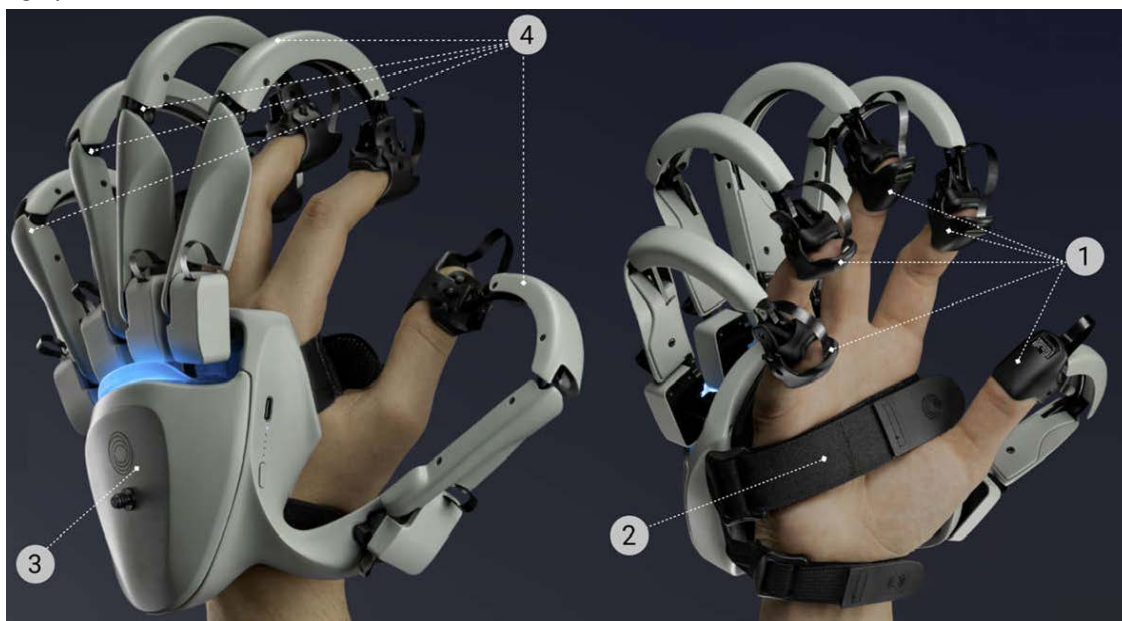


Рисунок 1 - Устройство управления с обратной силовой и тактильной связью Teslaglove

На рисунке 1 изображено устройство Teslaglove в двух проекциях которое закреплено на руке оператора, где 1 – регулируемые наконечники с интегрированными электродами (9 электродов на каждом пальце) для передачи тактильных ощущений оператору, 2 – регулируемые крепежные ремни для закрепления устройства на кисти оператора, 3 – управляющий блок устройства со встроенной батареей питания и модулем беспроводной передачи данных, 4 – система рычагов подсоединенных к сервоприводам для создания силовой обратной связи и встроенными магнитными энкодерами для отслеживания движений пальцев оператора.

Система отслеживания движения руки оператора предназначена для определения направления вращения кисти и определения перемещения фаланг пальцев оператора.

Система обратной силовой связи предназначена для передачи ощущения объёмности и твёрдости объектов. Может оказывать сопротивление движениям кисти оператора, создавая впечатление, что он взаимодействует с твёрдым предметом. Силовая обратная связь реализована в виде системы рычагов, подсоединенных к сервоприводам (на рисунке 1 выноска 4). Система позволяет управлять сгибанием и разгибанием фаланг пальцев, а также перемещать фалангу на заданный угол.

Устройство Teslaglove использует технологию поверхностной электростимуляции для передачи тактильной обратной связи оператору [2]. Принцип данной технологии основан на стимуляции нервных окончаний, лежащих в эпидермисе человека. За счет протекания переменного тока по пути электрод – эпидермис – электрод происходит активация рецепторов, расположенных в эпидермисе, что в итоге приводит к симуляции тактильных ощущений у пользователя. Разные параметры сигнала стимуляции вызывают разные типы тактильных ощущений, таких как легкое прикосновение, давление, различные виды вибраций.

Устройство Teslaglove возможно интегрировать в робототехнические комплексы. Компания VR Electronics Ltd предоставляет набор библиотек для разработчика [3] для интеграции устройства в сторонние решения.

1. Официальный сайт компании VR Electronics в Европе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://teslasuit.io/>

2. Information Transmission Across the Skin: High-Resolution Tactile Sensory Aids for the Deaf and the Blind / Frank A. Saunders [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.3109/00207458309148642>

3. Официальный сайт для разработчиков VR Electronics [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://developer.teslasuit.io/documentation>

ОПЫТ ГАРМОНИЗАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ ISO 683 НА КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

Хина Б.Б., Покровский А.И., Толкачева О.А.

Физико-технический институт
Национальной Академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

В ФТИ НАН Беларуси выполняется работа по гармонизации международных стандартов ISO на конструкционные стали: углеродистые нелегированные, низколегированные и цементуемые, а также на подшипниковые стали. Гармонизация стандарта – это приведение его содержания в соответствие с другим стандартом для обеспечения взаимозаменяемости продукции, понимания результатов испытаний и информации. Важность такой деятельности связано с тем, что в настоящее время в западноевропейских странах гармонизовано с международными 80% национальных стандартов, в Российской Федерации – до 20% стандартов ISO и около 60% стандартов Международного электротехнического комитета, в Республике Казахстан – около 95% стандартов ISO в области металлов и металлообработки.

Деятельность по гармонизации международных стандартов включает множество этапов и согласований и определяется ГОСТ 1.2-2015 и Постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 12 июля 2017 г. № 59. Головными организациями являются Госстандарт и Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации (БелГИСС).

За основу нами были приняты англоязычные редакции международных стандартов ISO 683-1:2016, ISO 683-2:2016 и ISO 683-3:2019, официальные тексты которых были получены от БелГИСС.

С данной работой могут справиться не профессиональные переводчики с гуманитарным образованием, даже имеющие опыт технических переводов, а только специалисты в области металлургии или металловедения, свободно владеющие профессиональным английским языком и имеющие опыт собственных публикаций в рейтинговых международных журналах в данной области техники, которые практикуют жесткое рецензирование статей – а оно выполняется как по научному содержанию статьи, так и по качеству языка. Это связано с тем, что, во-первых, стандарты ISO изобилует профессиональным сленгом, который обычно отсутствует в словарях, а во-вторых, во многих случаях имеется смещение понятий между русскоязычным и англоязычным материаловедением: например, классификация сталей, названия и назначения видов термической обработки, типы испытаний, обозначения механических свойств и др.

К настоящему времени нами разработаны три гармонизированных стандарта: СТБ ISO 683-1-2020 «Стали термообрабатываемые, легированные и автоматные. Часть 1. Нелегированные стали для закалки и отпуска», СТБ ISO 683-2-2020 «Стали термообрабатываемые, легированные и автоматные. Часть 2. Легированные стали для закалки и отпуска» и СТБ ISO 683-3-2020 «Стали термообрабатываемые, легированные и автоматные. Ч.3. Цементуемые стали». Они утверждены и введены в действие постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 6 февраля 2020 г. № 6.

По требованию головного заказчика (ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК») и многих машиностроительных предприятий-потребителей металлургической продукции, а также по согласованию с БелГИСС в каждый из указанных СТБ включены разработанные нами приложения типа ДА (справочные), в которых выполнено сравнение химических составов и механических свойств сталей по ISO с аналогичными сталями (или близкими по составу) по ГОСТам, действующим в настоящее время на территории Республики Беларусь. Эти сравнения опубликованы нами в виде отдельных журнальных статей [1, 2], на основании которых инженерно-технические работники машиностроительных предприятий могут ознакомиться со сходством и различием указанных марок сталей и осознанно делать выбор сталей по международным стандартам для изготовления конкретной продукции, или же заменять ГОСТовские стали на соответствующие стали по гармонизированным стандартам СТБ ISO.

Следует особо отметить, что для промышленных предприятий использование указанных гармонизированных стандартов выгодно: во-первых, это легализует производство и использование сталей по международным стандартам ISO в Республике Беларусь, во-вторых, расширяет выбор марок сталей для машиностроения, и в-третьих, способствует как увеличению экспорта продукции в страны Евросоюза и бывшего СССР (Россия, Казахстан), где уже действуют стандарты ISO, так и повышению ее конкурентоспособности.

1. Хина Б.Б., Покровский А.И, Толкачева О.А. Гармонизация в Беларуси стандарта ISO на конструкционные углеродистые нелегированные стали: различия в определении состава и механических свойств // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2021, № 2. – С. 46-58.

2. Хина Б.Б., Покровский А.И, Толкачева О.А. Гармонизация в Беларуси международного стандарта ISO 683-2 на конструкционные легированные стали: различия в определении химического состава // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2021, № 4. – С. 44-51.

ПРОГРАММА ОБМЕНА ПЛК MITSUBISHI С ЛАЗЕРНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ DIMETIX DAN 10-150

Стромский С.А., Лившиц Ю.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

При проведении автоматизации практически всегда возникают задачи передачи данных с измерительных устройств на программируемые логические контроллеры (ПЛК), с ПЛК на исполнительные устройства (например, преобразователи частоты), в SCADA и так далее. Связь с относительно простыми устройствами (датчиками, приборами АСКУЭ) практически всегда реализуется с использованием интерфейса RS-485. Организация передачи данных в таких сетях может осуществляться как с помощью распространенных протоколов (MODBUS-RTU, Profibus, DCON), так и с помощью собственного протокола (разработанного производителем устройства) на основе ASCII кодов или непосредственной передаче двоичных данных. Собственные протоколы чаще всего применяются в случаях, когда функционал распространенных протоколов является избыточным или наоборот, отсутствует необходимый функционал.

Таким измерительным прибором выступает лазерный дальномер DIMETIX DAN 10-150. Связь с ним возможна по протоколу на основе ASCII кодов. Так как для проведения измерения прибору необходима внешняя команда, и наиболее быстрым способом подачи такой команды является использование собственного протокола.

Для проведения измерения в сети RS-485 запрещено запускать непрерывное измерение расстояние, поэтому применяется команда единичного измерения «sNg», где N-адрес дальномера. В случае успешного измерения дальномер отправит «gNg+aaaaaaa», где aaaaaaa-измеренное расстояние в десятых долях миллиметра. В случае возникновения ошибки дальномер отправит «gN@Ezzz», где E-символ обозначающий ошибку, а zzz-код ошибки [1].

Программа написана на языке structured text (ST), так как код на этом языке существенно компактнее, что упрощает его отображение. Перед написанием кода программы необходимо настроить интерфейс ПЛК. Для этого необходимо установить протокол «Non-procedural» – протокол, в котором отправляемое сообщение формируется в коде программы. Далее необходимо задать скорость связи, длину данных, наличие бита четности, наличие заголовка и терминатора, а также наличие символов конца строки. Все эти параметры настраиваются для дальномера. При этом скорость в 9600 бод выбрана в связи с тем, что на такой скорости дальность и надежность связи оптимальные, а также не требуется согласование линии

связи (установка терминальных резисторов). Все настройки интерфейса представлены на рисунке 1 [2].

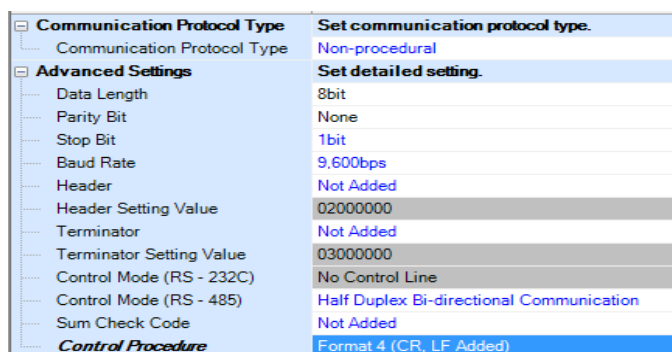


Рисунок 1 – Настройки интерфейса связи ПЛК

Написанная программа представлена на рисунке 2 и работает следующим образом. При запуске ПЛК обнуляется переменная «Connected» указывающая на наличие соединения с дальномером. При этом ПЛК будет выдавать сообщение «s1c» – команду на стоп/сброс дальномера. В случае успешного приема и сброса дальномер ответит сообщением «g1?», при этом соединение считается установленным. Далее ПЛК начинает циклично отправлять команду на измерение расстояния «s1g». В случае возникновения какой-либо ошибки дальномер передает сообщение с её кодом. Эта программа проверяет все принятые сообщения на наличие сообщений об ошибке и при появлении такого сообщения записывает код ошибки в переменную «ErrorCode». При успешном проведении измерения и приеме сообщения программа выделяет из принятого сообщения измеренное расстояние и записывает его в переменную «Value».

```

1  RST(SM402,Connected);
2  STRINGMOV(NOT(Connected),'s1c',OutString);
3  STRINGMOV(Connected,'s1g',OutString);
4  SET(SM403,SM8561);
5  RS2(TRUE,OutString,K3,K12,K1,InString);
6  STRINGMOV(SM8562,InString,DataString);
7  RST(SM8562,SM8562);
8  IF (NOT(Connected) AND (DataString='g1?')) THEN
9    SET(TRUE,Connected);
10 END_IF;
11 IF ((Connected) AND (LEFT(DataString,K4)='g1@E')) THEN
12   ErrorCode:=STRING_TO_INT(RIGHT(DataString,K3));
13 END_IF;
14 IF ((Connected) AND (LEFT(DataString,K4)='g1g+')) THEN
15   Value:=STRING_TO_INT(RIGHT(InString,K8));
16 END_IF;

```

Рисунок 2 – Программа обмена ПЛК с дальномером

1. Инструкция для лазерных дальномеров Dimetix [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dc1wrklikowzi.cloudfront.net/wp-content/uploads/2022/02/TechnicalReferenceManual_DSeries_V112.pdf.

2. Инструкция программирования ПЛК Mitsubishi iQ-F [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.allied-automation.com/wp-content/uploads/2015/05/MITSUBISHI_manual_plc_fx5_programming.pdf.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Савёлов П.И., Невгень М.П, Краевский Ю.Г.

РУП «НПЦ многофункциональных беспилотных комплексов»

Минск, Республика Беларусь

Современное проектирование новых беспилотных летательных аппаратов является модельно-ориентированным, т.е. конструирование и выработка технических решений проводится на основании разработанных твердотельных моделей деталей, узлов и аппарата в целом.

Принятие новых конструктивных решений и сокращение времени проектирования требует оперативного прототипирования на основе разработанных электронных геометрических моделей деталей и узлов, а также проведение испытаний опытных изделий, в предполагаемых условиях эксплуатации. Это становится возможным при использовании аддитивных технологий. [1]

В настоящее время, самым распространённым является метод FDM (Fused Deposition Modeling – моделирование методом наплавления). Основным достоинством данного метода является производство деталей независимо от сложности их конструкции, которые практически невозможно изготовить другими известными технологическими способами. Внедрение в процесс разработки и изготовления деталей и узлов беспилотных летательных аппаратов метода FDM позволит сделать возможной вариативную разработку новых изделий, реализовать высокую воспроизводимость, точность и скорость изготовления деталей, разрабатывать объекты с топологической оптимизацией формы. В качестве материалов деталей возможно применение новых термопластичных полимеров и композиционных материалов на их основе.

Опытные образцы разработанных деталей производились нами при помощи 3D-принтера Picaso3D Designer XL PRO. Изготовление деталей выполняли из Полиамида-6, наполненного угольными нитями при температуре сопла 315 °С. Толщина слоя печати составляла 0,2 мм.

Исследование изготовленных деталей, при помощи микроскопа МБС-9 показали, что поверхность их неоднородна (рис. 1). Это обусловлено не только технологией изготовления, но и тем, что волокна армирующего наполнителя не связаны полимером полностью. По-видимому, этим объясняется необходимость сушки исходного филамента перед изготовлением деталей. Проведённые нами исследования показали, что влагосодержание филамента составляет не менее 10 - 12 мас. %. Наличие такого количества влаги недопустимо при FDM-печати, т.к. образующийся, при прохождении филамента через экструдер, водяной пар формирует в теле детали большое количество дефектов. Термическая

обработка филамента при температуре 100 °C в течении 6 часов устраняет технологические дефекты.

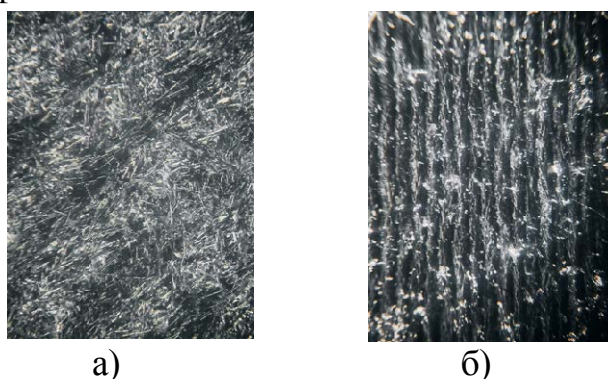


Рис.1 – Поверхность детали

а) x100 кратное увеличение б) x9 кратное увеличение

Исследование гидрофильности поверхности изготовленных деталей проводилась нами нанесением капли дистиллированной воды объёмом 2 мл (рис. 2 а) на поверхность детали и визуальной оценкой величины краевого угла смачивания. Установлена высокая степень смачиваемости поверхности детали водой (краевой угол смачивания не более 20°), а полная впитываемость капли воды составила 300 секунд. Импрегнирование поверхности органосилоксаном показало, что поверхность приобретает гидрофобные свойства (рис. 2 б). Величина краевого угла смачивания не менее 120°

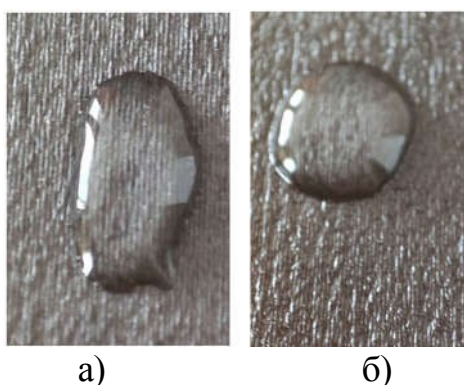


Рис.2 – Визуальная оценка смачивания поверхности
а) исходная б) импрегнированная

Таким образом, проведённые исследования показали, что применение полимерных композитов, армированных различными волокнами, увеличивает гигроскопичность деталей. Соответственно, в зависимости от условий эксплуатации и имеющихся технологий, необходимо использовать различные способы импрегнирования поверхностей деталей. Один из способов, приведенных в данной работе, импрегнирования поверхности органосилоксаном, был опробован и показал свою эффективность.

1. Bikas H., Stavropoulos P., Chryssolouris G. Additive manufacturing methods and modeling approaches: a critical review // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2016. Vol. 83. P. 389–405. DOI: 10.1007/s00170-015-7576-2

АВТОПИЛОТ МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Шишковец И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

В зависимости от сложности системы, вида ее математической модели и поставленных задач разработаны различные методы синтеза регуляторов: для линейных и нелинейных систем, стационарных и нестационарных, многомерных, робастных, стохастических систем и т.д.

В наиболее распространенных простейших регуляторах непрерывного действия управляющее воздействие $u(t)$ линейно зависит от сигнала ошибки $\varphi(t)$, его интеграла и первой производной. Системы нечеткого вывода позволяют решать задачи автоматического управления, классификации данных, распознавания образов, принятия решений, машинного обучения и многие другие. Базовая архитектура или модель классической теории управления основывается на представлении объекта и процесса управления в форме некоторых систем.

Функциональная схема системы автоматического управления на базе нечеткой логики (системы управления с нечетким регулятором или системы фаззи-управления) приведена на рисунке 1.

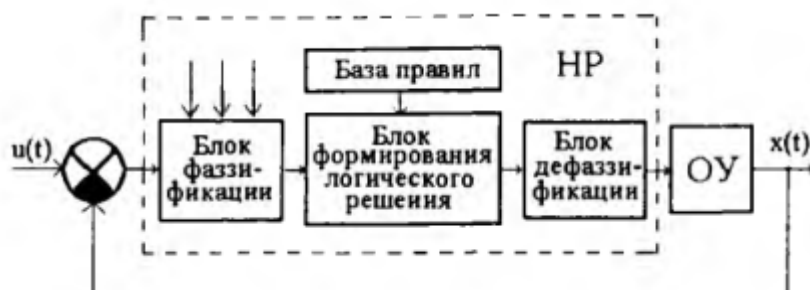


Рисунок 1 – Система управления с нечетким регулятором

Установленными на борту мобильного робота датчиками измеряется угол ориентации МР (траектория), который сравнивается с заданными значениями, определяемыми программой движения МР. [1]

Передаточная функция такой системы управления может быть представлена в виде последовательного соединения усилительного и колебательного звеньев вида

$$W(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2T\zeta s + 1}.$$

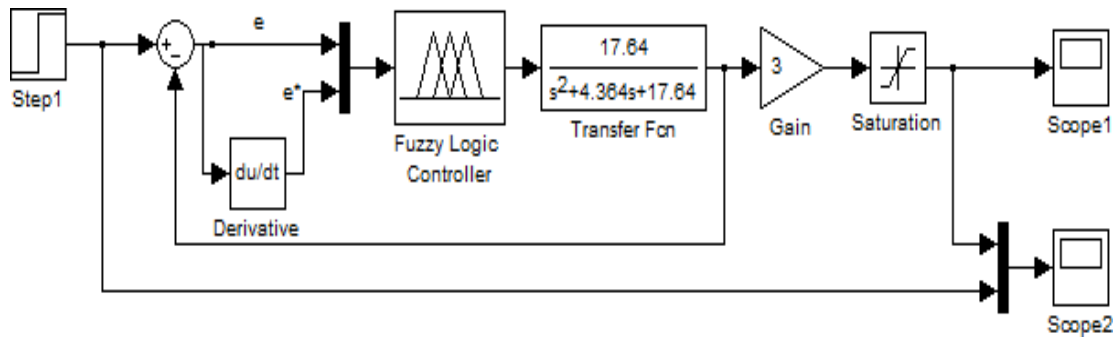


Рисунок 2 – Simulink-схема системы управления с контроллером нечеткой логики

На рисунке 3 приведены зависимости выходной переменной от входных переменных для треугольной и гауссовой ФП соответственно. Такие зависимости называются поверхностями отклика (Surface).

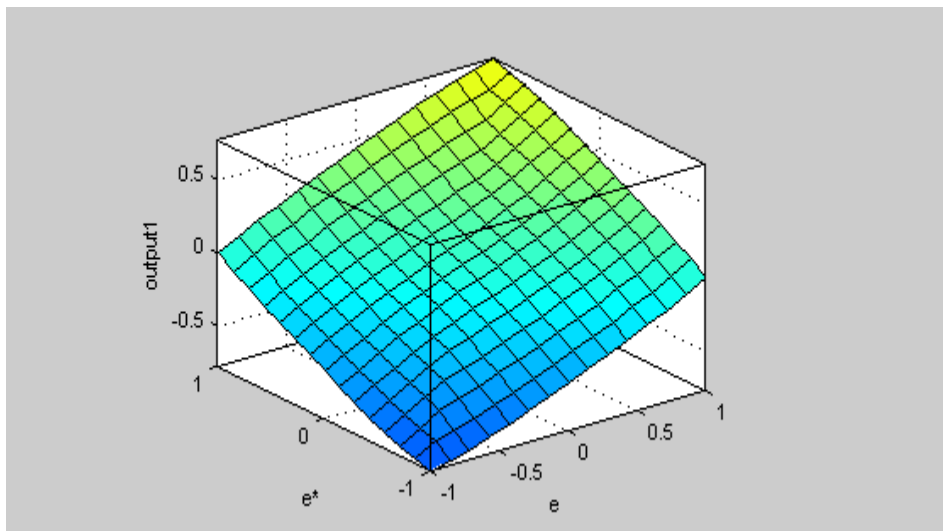


Рисунок 3 – Поверхность отклика для треугольной ФП

Таким образом, применение нечетких регуляторов в автопилотах мобильных роботов позволяет обеспечить управление объектами, которые не поддаются, или поддаются с большими трудностями формализованному описанию и позволяют получить высокое качество управления в переходных и установившихся режимах.

Результаты математического моделирования работы автопилота МР с нечетким регулятором показали, что требуемые динамические свойства МР обеспечиваются при относительно простой реализации регулятора. Вид функций принадлежности определяется особенностями обработки сигналов в конкретной Simulink-схеме.

1. Справочник по теории автоматического управления / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.