Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Калужский филиал МГТУ имени Н. Э. Баумана»

70-летию
Великой Победы
посвящается

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

Материалы
Региональной научно-технической конференции

Том 1

ИЗДАТЕЛЬСТВО МГТУ им. Н. Э. Баумана
Калуга 2015

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
Н34

Руководитель конференции:
С.А. Кусачева (председатель совета по НИР студентов и аспирантов)

Руководители направлений:
А.И. Пономарев (ф-т КМК), *Ю.С. Белов* (ф-т ФНК), *М.Ю. Адкин* (ф-т ЭИУК), *А.Г. Вяткин* (ф-т МТК), *О.А. Артеменко* (ф-т СЭК)

Руководители секций:
Е.Н. Малышев, Г.В. Орлик, В.В. Андреев, А.А. Жинов, Ю.П. Корнюшин, Н.Е. Шубин, А.И. Пономарев, А.К. Рамазанов, А.А. Анкудинов, Б.М. Логинов, В.Г. Косушкин, А.В. Мазин, А.А. Шубин, А.К. Горбунов, А.В. Максимов, В.Н. Пащенко, М.В. Астахов, Е.Н. Сломинская, О.Л. Перерва, Г.И. Ловецкий, А.Ю. Красноглазов, В.М. Алакин

Н34 **Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе:** материалы региональной научно-технической конференции, 21–23 апреля 2015 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 320 с.

ISBN 978-5-7038-4162-4 (т. 1)
ISBN 978-5-7038-4161-7

В сборнике материалов Региональной научно-технической конференции представлены результаты научных исследований, выполненных учеными в течение ряда лет. Систематизированы материалы различных научных школ. Результатами научных исследований являются новые методы, вносящие вклад в развитие теории, а также прикладные задачи, воплощенные в конструкции и материалы.

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72

© Коллектив авторов, 2015
© Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015

ISBN 978-5-7038-4162-4 (т. 1)
ISBN 978-5-7038-4161-7

СЕКЦИЯ 1.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.9.06

А.С. Свитка, И.Д. Соколова

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ШЛИФОВАНИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В статье проведен анализ наиболее распространенных методов шлифования зубчатых колес. Зубошлифование является распространенным методом наиболее точной окончательной обработки рабочих поверхностей предварительно закаленных зубчатых колес. Обеспечение требуемых значений шероховатости поверхности и получение необходимой степени точности изделий в результате обработки является трудной задачей. Для ее решения рассмотрены применяемые в промышленности методы шлифования: непрерывное обкатное червячным шлифовальным кругом и прерывистое профильное двухсторонним коническим кругом. В настоящее время наибольшую популярность приобретает зубошлифование тарельчатыми кругами. Приведены технологические схемы обработки, получаемые значения точности обработки и преимущества применения. В результате проведенного исследования был сделан вывод о том, что область применения рассмотренных методов зависит от требуемой точности обработки, типа производства и выбора оборудования. Произведен подбор отечественных станков, на которых можно производить обработку рассмотренными методами зубошлифования.

Ключевые слова: *Зубошлифование, метод профильного шлифования, метод обката*

Зубошлифование – распространенный метод окончательной обработки рабочих поверхностей предварительно закаленных зубчатых колес, применение его сравнительно ограничено низкой производительностью зубошлифовальных станков. Оно предназначено для устранения деформаций, которые возникают при химико-термической обработке, и обеспечивает 3–6-ю степень точности и шероховатость поверхности Ra = 0,20 – 1,2 мкм.[1] Зубошлифование требует соответствующей правки рабочей части шлифовального круга и сохранения ее точности в течение определенного времени. В свою очередь различают ряд разновидностей зубошлифования.

Для шлифования эвольвентных зубьев цилиндрических колес в промышленности применяют следующие методы – непрерывное обкатное червячным шлифовальным кругом и прерывистое профильное двухсто-

ронним коническим кругом.[2] В настоящее время наибольшую популярность приобретает зубошлифование тарельчатыми кругами.[3]

Прерывистое профильное зубошлифование производят вращающимся шлифовальным кругом при продольном движении подачи круга вдоль оси заготовки (рисунок 1).

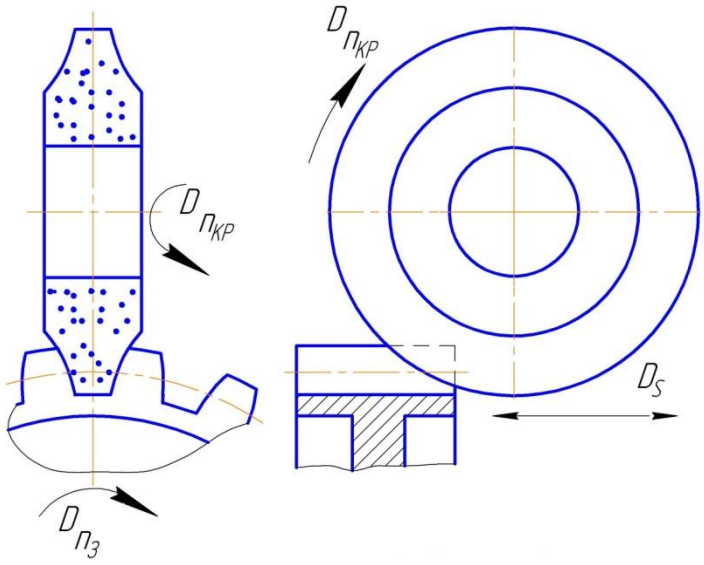


Рис.1. Метод профильного шлифования зубчатых колес

Профиль круга при шлифовании прямозубых колес соответствует впадине зубьев обрабатываемой заготовки, включая модификации профиля, а при шлифовании косозубых колес имеет незначительные отклонения. Обычно каждая впадина зуба шлифуется за несколько рабочих ходов 4, 5, 6. В зависимости от стратегии зубошлифования в конце каждого хода или через определенное число рабочих ходов производят радиальное движение подачи и шлифовальный круг углубляется в заготовку. По завершению обработки каждой впадины шлифовальный круг выходит из зацепления, и заготовка выполняет поворот для обработки следующей впадины. Профильное зубошлифование характеризуется линейным контактом между шлифовальным кругом и заготовкой. Особенности прерывистого профильного шлифования определили преимущественную область применения этого метода для зубчатых колес: 1. В единичном и мелкосерийном производстве, где требуется универсальный инструмент и невысокая производительность. 2. С крупным модулем (более 10 мм), которые не могут обрабатываться на обкатных станках. 3. Со специальными геометрическими параметрами зубьев (малое число зубьев, большой угол профиля, маленькая длина линии зацепления и пр.). 4. С близко расположенными зубчатыми венцами. Обработку производят шлифовальными кругами маленького диаметра, как правило, абразивными режущими элементами из кубического нитрида бора.

К негативным свойствам профильного зубошлифования следует отнести высокую теплонапряженность процесса, то есть возможность образования на поверхности зубьев шлифовальных прижогов в виде пятен, чередующихся полос или отдельных мелких штрихов. Выделяемое при шлифовании тепло может вызывать нежелательные изменения структуры поверхностного слоя и его физического состояния, а также колебание твердости. Шлифовочные прижоги существенно снижают контактную и изгибную выносливость зубьев. В целях снижения опасности возникновения прижогов и получения в поверхностном слое зубьев деформационного упрочнения прерывистое профильное шлифование зубьев следует производить кругами с высокой пористостью (номер структуры 10-20). Наличие между абразивными зернами крупных пор обеспечивает достаточно пространства для отвода микростружек при высокой интенсивности съема материала, а также подвод большого количества СОЖ непосредственно в зону резания через поровое пространство круга.

Для шлифования зубьев колес профильным методом создан отечественный зубошлифовальный станок модели СК800, конкурентоспособный по достигаемым выходным показателям точности зубчатых колес (3 – 5 степеней), по стоимости в два раза ниже зарубежных аналогов. Наиболее эффективно применение станка при изготовлении крупномодульных колес.

При непрерывном обкатном зубошлифовании витки червячного круга, имеющие близкий к реечному профиль, воспроизводят эвольвентный профиль и продольную форму зуба. Для обкатного метода характерен точечный контакт шлифовального круга и заготовки, постоянно меняющий свое положение по высоте и длине зуба. Очень короткое время точечного контакта не вызывает больших термических нагрузок на зуб обрабатываемого колеса, поэтому при шлифовании этим методом возможны высокие скорости резания без опасности возникновения прижогов на поверхности зубьев. Наиболее производительным способом зубошлифования является шлифование методом непрерывной обкатки абразивным червяком (рисунок 2). Шлифование абразивным червяком позволяет получить зубчатые колеса 5–6-й степени точности с шероховатостью обработанной поверхности в пределах Ra = 1,0–0,2 мкм.

Для шлифования зубчатых колес методом обката создан станок модели 5В830, который предназначен для шлифования прямозубых и косозубых цилиндрических колес абразивным червяком. Станок данной модели применяют для серийного и крупносерийного производства. Точность обрабатываемых на данном станке зубчатых колес соответствует нормам точности зубошлифовальных станков класса В.

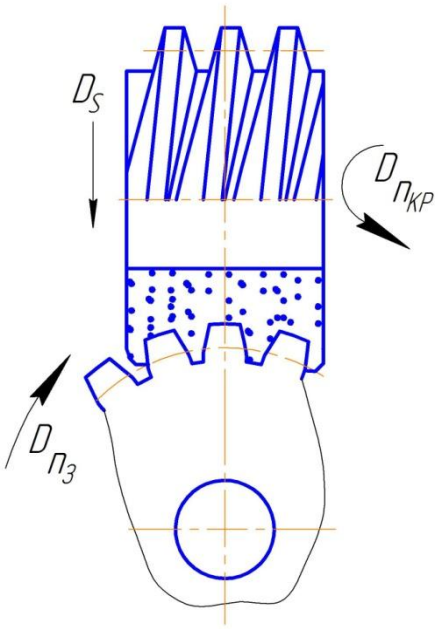


Рис. 2. Шлифование зубчатых колес методом обката

В настоящее время наибольшую популярность имеет зубошлифование тарельчатыми кругами. При шлифовании колес двумя тарельчатыми кругами шлифовальные круги могут занимать различные положения относительно обрабатываемого колеса, а именно, параллельно между собой на расстоянии, равном длине общей нормали обрабатываемого колеса — «0° метод», или под различными углами (как правило15° или 20°). Преимуществом «0° метода» является отсутствие на шлифованных профилях зубьев «сетки» и высокая степень чистоты их поверхности.

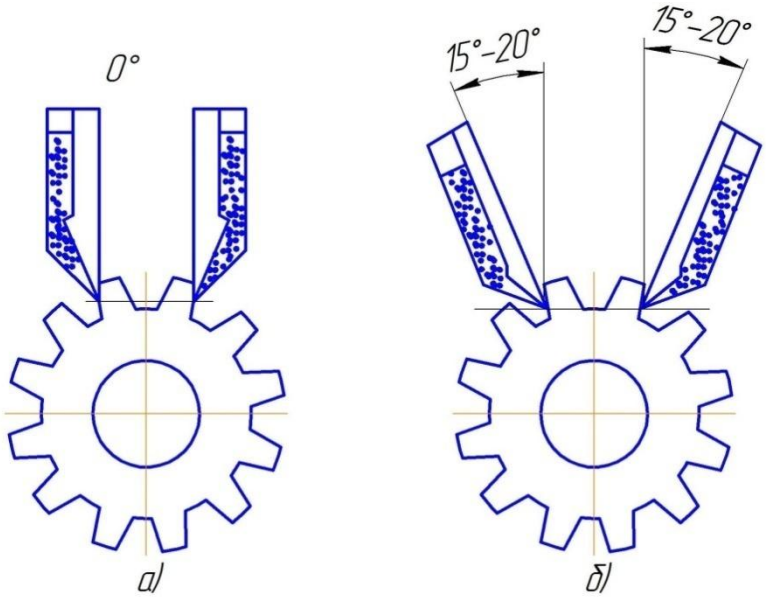


Рис. 3. Установка тарельчатых кругов
а) 0°- метод; б) под различными углами

Зубошлифование двумя тарельчатыми кругами (рисунок 3) позволяет получать зубчатые колеса 3–4-й степени точности и с шероховатостью поверхности Ra = 1,0–0,3 мкм. Шлифовальные круги тарельчатой формы, работая узкой кромкой, имеют малую поверхность контакта с поверхностью шлифуемого зуба, что при сочетании обкатного движения и продольной подачи колеса приводит к быстрой смене мест контакта края круга со шлифованной поверхностью. За счет этого зуб лишь чуть- чуть нагревается и круг почти не «засаливается», что является значительным достоинством.

Обработку зубчатых колес данным методом ведут преимущественно на зарубежных станках модели MAAG.[4] Эти станки позволяют обеспечить высокую степень точности (3 – 4), но имеют низкую производительность и самую высокую теплонапряженность процесса, которая обуславливается тем, что процесс обработки ведется без охлаждения.

Предлагается использовать специальный зубошлифовальный станок модели 5891.[5] Данный станок спроектирован и изготовлен на базе серийного зубошлифовального станка модели 5А851. Основным отличием специального станка от базовой модели является наличие системы охлаждения маслом «Индустриальное-12» и специального устройства электроэрозионной правки, работающее в автоматическом цикле. Для повышения производительности обработки введена новая технология шлифования зубчатых колес. Применены тарельчатые шлифовальные круги из КНБ (кубического нитрида бора) диаметрами 225 и 275 мм на металлических связках формы 12V9. Жесткость стального корпуса круга выше по сравнению с жесткостью алюминиевых корпусов. Материал корпуса позволяет обеспечить передачу электрического тока при правке круга. При шлифовании не происходит «затирания» эвольвентной поверхности зуба зубчатого колеса из-за нанесения алмазоносного слоя круга под углом 5°. Точность обрабатываемых на данном станке зубчатых колес соответствует нормам точности зубошлифовальных станков класса А.

Вывод. Выбор метода зубошлифования зависит от предъявляемых требований к точности зубчатых колес, типа производства и подбора соответствующего оборудования. Профильное шлифование следует применять в единичном и мелкосерийном производстве. Точность, получаемая при применении этого метода, зависит от точности формы профиля шлифовального круга. При изготовлении крупномодульных колес эффективно применять отечественный зубошлифовальный станок модели СК800. Для шлифования зубчатых колес методом обката создан станок модели 5В830, применяемый в серийном и крупносерийном производстве. Точность обрабатываемых на данном станке зубчатых колес соответствует нормам точности зубошлифовальных станков класса В. При необходимости получения высокоточных колес (3–4-я степень точности) требуется применять метод шлифования зубчатых колес двумя тарельчатыми кругами на специ-

альном зубошлифовальном станке модели 5891. Простая кинематика станка исключает почти все возможные источники возникновения погрешностей. Точность обрабатываемых на данном станке зубчатых колес соответствует нормам точности зубошлифовальных станков класса А.

Список литературы

[1]. Механическая обработка зубчатых колес: учебное пособие / В.И. Жиганов, Ю. А. Сахно, В. В. Демидов, Е. Ю. Сахно. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 134 с.

[2]. [Электронный ресурс] Шлифование – зубчатое колесо http://www.ngpedia.ru/id605919p1.html (дата обращения 07.02.2015 г.)

[3]. [Электронный ресурс] Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами http://www.informdom.com/uploads/metal/14_2/Zuboshlifovanie_2014_2_44.pdf (дата обращения 16.02.2015 г.)

[4]. [Электронный ресурс] Повышение качества поверхности при шлифовании зубчатых колес на станках MAAG http://www.informdom.com/metalloobrabotka/2014/4/povyshenie-kachestva-poverhnosti-pri-shlifovanii-zubchatyh-koles-na-stankah-maag.html (дата обращения 07.02.2015 г.)

[5]. [Электронный ресурс] Шлифование зубчатых колес тарельчатыми кругами из СТМ http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2013/OIKIT60/p46-53.pdf (дата обращения 16.02.2015 г.)

Свитка Анастасия Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: svitka1993@yandex.ru.

Соколова Ирина Дмитриевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sokolovairinadm@rambler.ru.

A.S. Svitka, I.D. Sokolova

ANALYSIS OF METHODS OF COGWHEELS GRINDING

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

In article the analysis of the most widespread methods of grinding of cogwheels is carried out. Gear grinding is a widespread method of the most exact final processing of working surfaces of previously tempered cogwheels. Ensuring the demanded values of a roughness of a surface and receiving necessary degree of accuracy of products as a result of processing is a difficult task. For its decision the grinding methods applied in the industry are considered: method of continuous rounding of abrasive worm and faltering profile bilateral conic wheels. Now the greatest popu-

larity is gained by a gear grinding of dish-shaped wheels. Technological schemes of processing, the received values of accuracy of processing and advantage of application are provided. As a result of the conducted research the conclusion that the scope of the considered methods depends on the demanded accuracy of processing, type of production and a choice of the equipment was drawn. Selection of domestic machines on which it is possible to make processing by the considered gear grinding methods is made.

Keywords: *Gear grinding, method of profile grinding, method of rounding*

References

[1]. Machining of cogwheels: manual / V. I. Zhiganov, Yu. A. Sakhno, V. V. Demidov, E. Yu. Sakhno. – Ulyanovsk: UlGTU, 2011. – 134 pages.

[2]. [An electronic resource] Grinding – cogwheel http://www.ngpedia.ru/id605919p1.html (date of access of 07.02.2015)

[3]. [An electronic resource] Grinding of cogwheels dish-shaped wheels http://www.informdom.com/uploads/metal/14_2/Zuboshlifovanie_2014_2_44.pdf (date of access 16.02.2015 г.)

[4]. [An electronic resource] Improvement of quality of a surface when grinding cogwheels on MAAG machines http://www.informdom.com/metalloobrabotka/2014/4/povyshenie-kachestva-poverhnosti-pri-shlifovanii-zubchatyh-koles-na-stankah-maag.html (date of access 07.02.2015 г.)

[5]. [An electronic resource] Grinding of cogwheels dish-shaped wheels from SHM http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/OIKIT/2013/OIKIT60/p46-53.pdf (date of access of 07.02.2015)

Svitka Anastasia Sergeevna – student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: svitka1993@yandex.ru.

Sokolova Irina Dmitrievna – Ph. D., Assoc. Professor of Instrumental equipment and technologies Department of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: sokolovairinadm@rambler.ru.

УДК 669-14

Э.Р. Багаутдинов, И.А. Филиппова

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА РОССИИ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Литейное производство России является основной заготовительной базой машиностроения и его развитие зависит от темпов развития машиностроительного комплекса в целом. Перспективы развития литейного производства определяются спросом и потреблением литых заготовок, их конкурентной способностью среди развитых зарубежных стран, положительной динамикой производства отливок, авторитетом литейных технологий.

В 2012 г. в мире было произведено 98,5 млн. т отливок из черных и цветных сплавов, в том числе в России 4,0 млн. т, что составляет 4,36%.

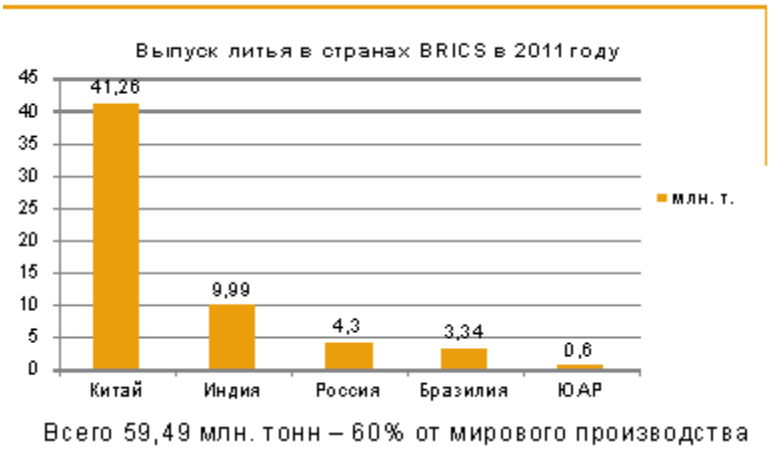


Рис.1 Показатели выпуска литья в странах BRICS в 2011 г.

Лидирующее место в производстве отливок занимает Китай, который сегодня производит около половины мирового выпуска литых заготовок. Россия занимает 6-е место после Китая, США, Индии, Германии и Японии.

Выпуск литья в странах BRICS в 2011 году составил 59,49 млн. тонн, что составляет 60% мирового производства (Рис. 1). Россия среди стран BRICS занимает третье место и производит 8,22 % от выпуска литья этими странами.

Литейное производство в России занимает лидирующее положение среди заготовительных баз машиностроения, таких как сварка и кузница. Высокий коэффициент использования металла (от 75 до 95%), технологическая возможность получения сложных по конфигурации и геометрии литых заго-

товок со сложными внутренними полостями позволит и в дальнейшем сохранить свое ведущее положение среди заготовительных производств. С другой стороны литейное производство является наиболее наукоемким, энергоемким и материалоемким производством. Для производства 1 тонны отливок требуется переплавка 1,2….1,7 т металлических шихтовых материалов, ферросплавов и флюсов, переработка и подготовка 3…5 тонн формовочных песков (при литье в песчано-глинистые формы), 3…4 кг связующих материалов (при литье в формы из ХТС) и красок. В себестоимости литья энергетические затраты и топливо составляют 50…60%, стоимость материалов 30…35%.

Наиболее высокие объемы производства отливок в нашей стране были в 1985 г. и составляли 18,5 млн. тонн. После этого начался резкий спад производства, связанный распадом СССР, нарушением общих принципов кооперации машиностроительной продукции между республиками СССР, приватизацией и ликвидацией предприятий. Только в Москве закрылись около 20 предприятий, на которых производилось более 500 тыс. т литья. Упразднены научно исследовательские институты.

С 2001 по 2008 годы производство отливок стабилизировалось на уровне 7 млн. т. В дальнейшем спад производства отливок связан с экономическим кризисом, сокращением квалифицированных кадров, в первую очередь пенсионеров, закрытием предприятий. В последние годы производство отливок из черных и цветных сплавов стабилизировалось на уровне 4,2 – 4,4 млн. т. В настоящее время развитие производства высококачественных отливок на базе современных технологических процессов в различных отраслях машиностроения осуществляется неравномерно (рис. 2). Высокие объемы производства отливок наблюдаются в транспортном (автомобильном, железнодорожном и коммунальном) машиностроении, тяжелом и энергетическом машиностроении, нефтехимической и газовой промышленности.

Рис. 4. Объемы производства отливок в России по отраслям.

Общее число литейных предприятий в России составляет около 1250, которые производят отливки, оборудование, сопутствующие материалы. Выпуск отливок на одного работающего в 2012 г. составил около 14,3 тонн в год. В литейном производстве машиностроения и металлургии (по экспертной оценке) занято около 340 тыс. человек, в том числе 90% рабочих, 9,8% инженерных и 0,2% научных работников.

Основное количество литейных предприятий в России (78%) составляют небольшие литейные цехи с объемом выпуска до 5000 тонн литья в год. Основными производителями литейного оборудования в России являются ОАО «СИБЛИТМАШ», ОАО «Амурлитмаш», ООО «Литмашприбор», ЗАО «Унирeп-Сервис», ООО «ТОЛЕДО» и ООО «Тебова НУР».

Эти заводы сохранили и расширили свою специализацию, однако они не удовлетворяют полностью потребность литейных цехов и заводов. Ежегодно закупается до 72% зарубежного литейного оборудования, в ближайшие 5-10 лет данная тенденция сохранится.

Поэтому производство отливок для изготовления отечественного оборудования сокращается.

Несмотря на низкий уровень объемов производства отливок в последние годы многие заводы проводят реконструкцию литейного производства на базе новых технологических процессов и материалов, перспективного оборудования. Основной целью реконструкции является расширение объемов производства, повышение качества продукции, отвечающего современным требованиям заказчика, улучшение экологической ситуации и условий труда.

Внедряются в производство новые прогрессивные технологии:

- процессы плавки в индукционных и дуговых электропечах, обеспечивающие стабильность заданного химического состава и температуры нагрева для проведения эффективной внепечной обработки;

- увеличение объемов производства отливок из высокопрочного чугуна с шаровидной и вермикулярной формой графита;

- получение высоких прочностных характеристик металла с применением современных методов обработки расплава (рафинирование, модифицирование, микролегирование, дегазацию) и новых технологических процессов (тиксо- и реолитье, непрерывных способов литья с магнитодинамическими способами перемешивания кристаллизующихся расплавов, совмещая процессы литья и прокатки и др.);

- процессы изготовления опочных и безопочных форм и стержней из ХТС на базе современных связующих материалов и стабилизаторов, вакуум-пленочной формовки, литья по газифицируемым моделям и др.

Для дальнейшего развития литейного производства необходимо налаживать связь науки с производством, развивать отраслевую науку. Для разработки новых схем целесообразно использовать богатый опыт прошлых лет взаимодействия науки с производством в нашей стране. В по-

следние годы началось положительное движение развития литейной науки на литейных кафедрах по инициативе ВУЗов. Созданы научные центры при Московском институте стали и сплавов, Самарском Государственном техническом университете, которые частично оснащены современной литейной техникой и приборами, определяется их специализация.

При Уфимском авиационно-технологическом университете создана современная лаборатория по прототипированию и быстрому проектированию литейной оснастки и изготовления опытных моделей и отливок.

Для успешного развития науки при всех литейных профилирующих кафедрах ВУЗов необходимо создать научные центры (НЦ), определить их специализацию, оснастить современным оборудованием и приборами, определить финансирование. Для координации деятельности НЦ ВУЗов, связи фундаментальных и прикладных наук с производством создать государственный Научно-технический центр (НТЦ) с опытным производством. Такая схема связи фундаментальных и прикладных наук, науки с производством, в ближайшее десятилетие могла бы удовлетворить отрасль литейного производства.

Список литературы:

[1]. И.А. Дибров Состояние и перспективные технологии развития литейного производства России// "Литейщик России", 2013 г., №9, стр. 14-23.

[2]. В.Д. Белов, И.А. Дибров, Н.А. Белов Производство отливок из алюминиевых сплавов в России. Состояние и перспективы развития//"Литейщик России", 2014 г., №2, стр. 13-17.

Багаутдинов Эдуард Ринатович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: eduard.bagautdinov@yandex.ru.

Филиппова Инна Аркадьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: katran-ogmet-04@yandex.ru.

Ю.Ю. Сазонова, П.А. Максимов

АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одной из актуальных задач машиностроительного производства является упрочнение деталей машин. Под упрочнением понимается повышение сопротивляемости материала или заготовки разрушению или остаточной деформации.

Прочность является основополагающим эксплуатационным свойством деталей машин. Металлическим деталям свойственно разрушаться в результате потери статической прочности или сопротивления усталости. Потеря статической прочности появляется, когда значение внешней нагрузки превышает несущую способность конструкции. Потеря сопротивления усталости происходит в результате длительного действия переменных нагрузок, превышающих предел выносливости материала деталей машин[1].

Прочность деталей зависит от шероховатости и волнистости поверхности. Шероховатость - совокупность неровностей с относительно малыми шагами на базовой длине, образующих рельеф поверхности. Чем меньше шероховатость, тем меньше возможность возникновения поверхностных трещин от усталости металла.

Шероховатость несущих поверхностей деталей машин строго регламентирует ГОСТ 2789-73. Для нормирования и количественной оценки шероховатости поверхностей установлено шесть параметров: три высотных(Ra, Rz, Rmax), два шаговых (Sm , S) и параметр относительной опорной длины профиля (tp)[2].

Для уменьшения шероховатости поверхности детали, применяют обработку шлифовальной лентой, но данный метод может применяться только, когда к обрабатываемым поверхностям нет высоких требований точно. Обработку абразивной лентой производят при максимально возможной (для данного станка) частоте вращения шпинделя; однако при этом не должно быть вибраций станка. Чтобы абразивная пыль не попадала в отверстие патрона, его закрывают заглушкой из пенопластасти.

Шлифование позволяет обеспечить шероховатость Ra=1,6-0,2 мкм. В таблице 1 представлено, как зернистость абразивных лент зависит от различной шероховатости обработанных поверхностей.

Для получения меньшей шероховатости, а следовательно и большей прочности издения , целесообразно использовать такой метод, как алмазное выглаживание.

Таблица 1.

Зернистость	Шероховатость
50-25	Ra=12,5 – 6,3 мкм
25-16	Ra=3,2-1,6 мкм
16-8	Ra=0,8 мкм

Алмазное выглаживание отличается сравнительно малой площадью контакта инструмент-деталь, поэтому применяется при обработке нежестких деталей, прочных и закаленных материалов. При алмазном выглаживании обработка поверхностным пластическим деформированием проводится в условиях трения скольжения (с малым коэффициентом трения).Рабочим инструментом служат простые по конструкции державки с наконечниками из естественных и искусственных алмазов в виде полусферы, цилиндра или конуса. Номенклатура деталей, обрабатываемых алмазными выглаживателями, чрезвычайно велика. Данный метод позволяет получить шероховатости Ra до 0,1 мкм[3].

Алмазное выглаживание металла, прежде всего, это чистота поверхности и высокая точность деталей, что определяет долговечность деталей, их износоустойчивость, высокий КПД и надежность. В результате выглаживания достигается точность размера и гладкость поверхности металлического изделия.

Список литературы

[1]. *М.А. Балтер* «Упрочнение деталей машин», Москва, Машиностроение,1978,стр.3

[2]. ГОСТ 2789-73 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. М,2005,с.3

[3]. 3. *Т.Ю. Степанова* «Технологии поверхностного упрочнения деталей машин» Учебное пособие, Иваново ,2009. URL: http://diss.seluk.ru/m-mashinostroenie/30000414-1-tyu-stepanova-tehnologii-poverhnostnogo-uprochneniya-detaley-mashin-uchebnoe-posobie-ivanovo-2009-udk-6218-stepanova-tehnologii-po.php (дата обращения 18.03.2015)

Сазонова Юлия Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sazonowajulya2016@yandex.ru.

Максимов Павел Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: failbt@yandex.ru.

А.Г. Вяткин, В.А. Вяткин

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕНАЛАДКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОБЩУЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одной из проблем современного машиностроения является диверсифицированное производство [1], связанное с изготовлением большой номенклатуры изделий с малым объемом партий, что приводит к необходимости выполнять значительное количество переналадок. Следует отметить, что операции переналадки традиционно занимают много времени, и все производства страдают от крайней неэффективности этих работ. Для решения этой проблемы на большинстве предприятий стремятся увеличить объем партий, а значит уменьшить количество переналадок, чтобы снизить влияние времени переналадки на общую производительность. И это действительно помогает, так как время переналадки будет невелико по сравнению с общим временем обработки партии и мало повлияет на темп работы.

При диверсифицированных, мелких заказах влияние времени переналадки намного больше.

Для определения влияния времени переналадки рассмотрим следующий пример. Допустим, что годовой объем выпуска деталей составляет 1200 штук, время наладки – 4 часа, время выполнения главной операции – 2 минуты. Каждый месяц необходимо изготавливать 100 деталей. Производство можно организовать следующим образом, либо обработать весь годовой объем с одной переналадкой, либо каждый месяц изготавливать 100 штук, что подразумевает необходимость 12 переналадок. В табл.1 дана взаимосвязь времени переналадки и объема партии.

Таблица 1

Время наладки (час)	Объем партии (шт.)	Время основной операции (мин)	Время операции (мин)	Отношение (%)	Отношение (%)	Отношение (%)
4*12=28	100	2	2 + (28*60/100) = 30,8	100		
4*4=16	300	2	2 + (16*60/300) = 5,2	17	100	
4*2=8	600	2	2 +(8*60/600) = 2,8	9	53	100
4	1200	2	2 + (4*60/1200) = 2,2	7	41	78

Из анализа данных, представленных в табл.1, видно, что увеличение партии в 3 раза дает значительное сокращение времени (на 83%), в то же

время видно, что дальнейшее увеличение размера партии в меньшей степени способствует сокращению времени на операцию.

Отсюда следует вывод, чтобы снизить влияние времени переналадки на общую производительность следует увеличивать размер партии.

Однако работа с большими партиями кроме очевидных преимуществ имеет и ряд недостатков [2]. К этим недостаткам относятся:

- хранение запасов требует установки стеллажей, приобретения поддонов и т.д., а это повышает себестоимость,
- требуются трудозатраты на транспортировку, погрузо-разгрузочные и складские операции,
- большие сроки выполнения заказа могут означать задержку новых заказов и срыв сроков поставки,
- при изменении конъюнктуры рынка, запасы следует либо продавать их по заниженной цене, либо просто утилизировать,
- качество хранимых изделий со временем ухудшается, их ценность падает.

Учитывая все преимущества и недостатки, видно, что при производстве крупными партиями обычно снижаются затраты, связанные со временем переналадки, но возрастают затраты, связанные с ростом количества запасов. То есть возникает необходимость определения экономически обоснованной величины партии, когда затраты, связанные с производством, и затраты, связанные с запасами равны. На большинстве предприятий так и поступают, определяют экономически обоснованный размер партии и выпускают изделия в соответствии с этой величиной партии.

Однако в этом предположении отсутствует возможность уменьшения времени переналадки. Если уменьшить время переналадки, то работа крупными партиями теряет смысл, так как время выполнения операции мелкими партиями становится сопоставимым со временем операции при работе крупными партиями, а затраты, связанные с запасами снижаются.

Предположим, что удалось снизить время наладки с 4 часов до 0,5 часа. Тогда данные табл.1 существенно изменятся (табл.2).

Таблица 2

Время наладки (час)	Объем партии (шт.)	Время основной операции (мин)	Время операции (мин)	Отношение (%)	Отношение (%)	Отношение (%)
0,5*12=6	100	2	2 + (6*60/100) = 5,6	100		
0,5*4=2	300	2	2 + (2*60/300) = 2,4	43	100	
0,5*2=1	600	2	2 +(1*60/600) = 2,1	38	88	100
0,5	1200	2	2 + (0,5*60/1200) = 2,03	36	85	97

Из анализа данных в табл.2 видно, что время выполнения операции при размере партии 300 шт. сопоставимо со временем операции для партии 1200 шт. (2,4 мин. и 2,04 мин. соответственно). Сокращение времени составляет лишь 15%. Это означает, что нет необходимости работать крупной партией.

Для иллюстрации влияния времени переналадки на время выполнения операции в зависимости от величины партии представлен график на рис.1, где кривая 1 – для $t_{нал}$=4 час, кривая 2 – для $t_{нал}$=0,5 час.

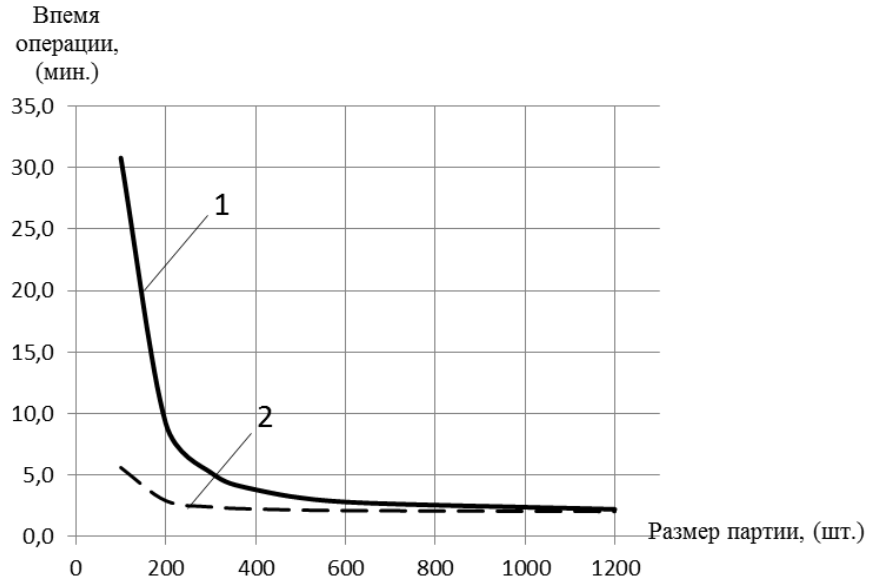


Рис.1 Зависимость времени выполнения операции от размера партии (1– $t_{нал}$=4 час, 2 – $t_{нал}$=0,5 час)

Из анализа графика, представленного на рис.1, можно сделать вывод, что если время переналадки достаточно большое (кривая 1), то целесообразно работать крупными партиями, но следует учитывать возрастание затрат, связанных с запасами. Если уменьшить время наладки (кривая 2), то его влияние на время операции практически не зависит от размера партии, то есть можно работать мелкими партиями, при этом затраты, связанные с запасами значительно снижаются.

Список литературы

[1]. Машина, которая изменила мир / Дж. Вумек, В. Джонс, Д. Рус, ; пер. с англ. С.Э. Борич. – Мн. : «Попурри», 2007. – 384 с. : ил.

[2]. Быстрая переналадка: Революционная технология оптимизации производства \ Сигео Синго ; Пер. с англ. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 344 с.

Вяткин Андрей Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: and-vyatkin@mail.ru.

Вяткин Виктор Андреевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: a-vyatkin@inbox.ru.

УДК 621.9.06

В.Ю. Потемкин, И.Д. Соколова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В статье рассмотрены несколько направлений решения проблемы повышения производительности и качества абразивной обработки. Для этого проведен анализ наиболее возможных путей совершенствования абразивного инструмента. Абразивный инструмент состоит из большого числа беспорядочно расположенных частиц абразивного материала, соединенных между собой связующим материалом. Произвольная форма зерен и их хаотичное расположение в связке вносят существенный недостаток в данный вид обработки. Это приводит к большим колебаниям по форме и размерам образующихся частиц удаляемого материала, и возникает проблема получения поверхностей высокого класса чистоты. Для решения проблемы повышения производительности и качества обработки предлагается создать полноценную систему компьютерного моделирования. Объединив многолетний опыт при создании подобной системы на подобии PLM-систем, можно добиться качественного скачка в применении абразивных операций. Это позволит проводить испытания инструмента и снятия параметров в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: *Абразивный инструмент, хонингование, абразивно-притирочные пасты*

Абразивный инструмент предназначен для механической обработки поверхностей различных материалов. В основном он применяется в таком виде, как шлифовальные круги, бруски, оселки, шлифовальные шкурки. Абразивный инструмент состоит из большого числа беспорядочно расположенных частиц абразивного материала, соединенных между собой связующим материалом.

Произвольная форма зерен и их хаотичное расположение в связке вносят существенный недостаток в данный вид обработки. Случайное расположение зёрен по ширине и по высоте приводит к большим колебаниям по форме и размерам образующихся частиц удаляемого материала: от вида стружки, подобной снятой твердосплавным резцом с заметными плоскостями сдвига до сфероидальных капель металла, расплавившегося вследствие высокой температуры процесса шлифования.

По этой причине возникает проблема получения поверхностей высокого класса чистоты. Например, при хонинговании отверстий гильзы цилиндров двигателей внутреннего сгорания не допускается наличие глубоких рисок – царапин от абразивных зерен. Глубокие царапины являются концентраторами напряжений, возникающих во впадинах и приводящих к ускоренному разрушению поверхностного слоя и гильзы в целом. Поэтому в технологический процесс вводится дополнительная операция – притирка абразивными брусками из микропорошков.

Шероховатость обработанной поверхности при шлифовании может быть представлена в виде результирующего профиля, который получается в результате наложения большого количества элементарных профилей. Имея один элементарный режущий профиль, можно построить модель результирующего профиля, который является реализацией шероховатости обрабатываемой поверхности. [1]

Для улучшения технологических возможностей абразивного инструмента возникает необходимость контроля и подбора абразивных зерен. Рассмотрим данный подход при изготовлении притирочной пасты.

Абразивно-притирочные пасты представляют собой смесь абразивных зерен с наполнителями. [2] Произвольная форма зерен формирует у них хаотичную и неупорядоченную геометрию, что не позволяет достичь максимальной работоспособности изготавливаемых из них паст, т.к. возникает значительная дифференциация в эффективности работы каждого отдельного зерна. Многие зерна, из-за неблагоприятной геометрии либо вообще не участвуют в совокупном процессе микрорезания, либо участвуют в нем минимально. В итоге у паст с произвольной формой зерен не достигается максимальная интенсивность съема металла и снижается качество обрабатываемой поверхности.

Одинаковость и упорядоченность зерен достигается за счет сепарации исходной массы обычного абразива на ряд фракций по признаку формы. Аналогичный результат может быть также получен путем изготовления зерен с заданной формой по технологиям, подобным производству сферо- и формокорундов.

Чтобы выбрать подходящую форму абразивного инструмента на современном этапе развития науки и техники, необходимо прибегать к методам компьютерного моделирования.

Исследование и моделирование шлифовального инструмента и процесса в целом требует применения методов математической статистики, моделирования и огромных вычислительных ресурсов для расчета. Поэтому реальное абразивное зерно, имеющее сложную уникальную геометрическую форму, в процессе его моделирования упрощают и используют такие формы как цилиндр, шар, конус, усеченный конус, куб, эллипсоид, прямоугольный параллелепипед и другие.

С математической точки [3] зрения наибольший коэффициент заполнения пространственной формы зерен имеют модели на базе эллипсоидов, так как они более точно соответствуют эквивалентной (реальной) форме зерен.

Вывод. Для повышения производительности и качества обработки необходимо создать полноценную систему компьютерного моделирования. Объединив многолетний опыт при создании подобной системы на подобии PLM-систем, можно добиться качественного скачка в применении абразивных операций. Это позволит проводить испытания инструмента и снятия параметров в различных условиях эксплуатации.

Список литературы

[1]. Носенко В.А., Федотов Е.В., Морозова Л.К. Методика расчета распределения вершин зерен на рабочей поверхности шлифовального круга по профилограммам шероховатости обработанной поверхности [Электронный ресурс] / В.А. Носенко, Е.В. Федотов, Л.К. Морозова // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 20 (123), т. 10. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-raspredeleniya-vershin-zeren-na-rabochey-poverhnosti-shlifovalnogo-kruga-po-profilogrammam-sherohovatosti#ixzz3UZja3487 (дата обращения 07.02.2015 г.)

[2]. Коротков А.Н., Видин Д.В., Филиппов А.С. Применение абразивно-притирочных паст с контролируемой формой зерен для различных схем притирки деталей [Электронный ресурс] / А.Н.Коротков, Д.В. Видин, А.С. Филиппов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2014. – № 2/102. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-abrazivno-pritirochnyh-past-s-kontroliruemoy-formoy-zeren-dlya-razlichnyh-shem-pritirki-detaley#ixzz3UZk9m1he (дата обращения 07.02.2015 г.)

[3]. Илларионова А.С., Слепченко Е.В. Выбор геометрической формы абразивных зерен при компьютерном моделировании процесса шлифования [Электронный ресурс] / А.С. Илларионова, Е.В. Слепченко //Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8/1. – Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-geometricheskoy-formy-abrazivnyh-zyoren-pri-kompyuternom-modelirovanii-protsessa-shlifovaniya (дата обращения 16.03.2015 г.)

Потемкин Виктор Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vitya.potemkin.92@mail.ru.

Соколова Ирина Дмитриевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sokolovairinadm@rambler.ru.

V.Y. Potemkin, I.D. Sokolova

RESEARCH OF OPPORTUNITIES OF IMPROVEMENT OF THE ABRASIVE TOOL

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

In article some directions of a solution of the problem of increase of productivity and quality of abrasive processing are considered. The analysis of the most possible ways of improvement of the abrasive tool is for this purpose carried out. The abrasive tool consists of a large number of randomly located particles of abrasive material connected among themselves by binding material. Any form of grains and their chaotic arrangement in a sheaf bring an essential shortcoming in this type of processing. It leads to big fluctuations in a form and the sizes of the formed particles of the deleted material, and there is a problem of receiving high-class surfaces of purity. For a solution of the problem of increase of productivity and quality of processing it is offered to create full-fledged system of computer modeling. Having united long-term experience at creation of similar system on similarity of PLM-systems, it is possible to achieve a quantum leap in application of abrasive operations. It will allow to carry out tests of the tool and removal of parameters in various service conditions.

Key words: *Abrasive tool, honing, abrasive притирочные pastes*

References

[1]. Nosenko V.A., Fedotov E.V., Morozova L.K. A method of calculation of distribution of tops of grains on a working surface of a grinding wheel on profilogramma of a roughness of the processed surface [An electronic resource] / V.A. Nosenko, E.V. Fedotov, L.K. Morozova//News of the Volgograd state technical university. – 2013. – No. 20 (123), t. 10. – Access mode:http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-rascheta-raspredeleniya-vershin-zeren-na-rabochey-poverhnosti-shlifovalnogo-kruga-po-profilogrammam-sherohovatosti#ixzz3UZja3487 (date of access 07.02.2015 г.)

[2]. Korotkov A.N., Vidin D.V., Filippov A.S. Application abrasive притирочных pastes with a controlled form of grains for various schemes of grinding in of details [An electronic resource] / A. N. Korotkov, D.V. Vidin, A.S. Filippov//the Bulletin of the Kuzbass state technical university. – 2014. – No. 2/102. – Access mode:http://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-abrazivno-pritirochnyh-past-s-kontroliruemoy-formoy-zeren-dlya-razlichnyh-shem-pritirki-detaley#ixzz3UZk9m1he (date of access 07.02.2015 г.)

[3]. Illarionova A.S., Slepchenko E.V. Vybor of a geometrical form of abrasive grains at computer modeling of process of grinding [An electronic resource] / A.S. Illarionova, E.V. Slepchenko//Modern high technologies. – 2013. – No. 8/1. – Access mode:http://cyberleninka.ru/article/n/vybor-geometricheskoy-formy-abrazivnyh-zyoren-pri-kompyuternom-modelirovanii-protsessa-shlifovaniya (date of access 16.03.2015 г.)

Potemkin Victor Yurievich – student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: vitya.potemkin.92@mail.ru.

Sokolova Irina Dmitrievna – Ph. D., Assoc. Professor of Instrumental equipment and technologies Department of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: sokolovairinadm@rambler.ru.

УДК 53.082

М.В. Мусохранов, Т.В. Попова, С.П. Сорокин

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЁВ В МЕТАЛЛАХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Обеспечение качества при изготовлении детали – одна из основных задач технологии машиностроения.

В процессе обработки деталей резанием происходят значительные изменения строения и физико-механических свойств поверхностных слоев. В частности, происходит образование и перемещение дислокаций, возникновение новых структур, связанное с изменением размеров зерен и их ориентации, изменение напряжения в поверхностном слое детали[1].

При воздействии на металл режущего инструмента изменение структуры поверхностного слоя происходит под влиянием двух противоположных процессов – упрочнения (наклепа), возникающего благодаря воздействию на поверхность усилий резания и разупрочнения (снятия наклепа), возникающего под влиянием температуры резания. Одной из важнейших характеристик поверхностного слоя является его напряжение.

Методы, которыми определяются остаточные напряжения подразделяются на расчетные и экспериментальные. С помощью расчетных методов можно теоретически рассчитать эпюру остаточных напряжений опираясь на данные о механических свойствах материала, форме и размерах детали и условиях силового и термического нагружения. Чтобы рассчитать остаточные напряжения следует аналитически описать напряженность поверхностного слоя детали при нагружении для пластичного и упругого состояний. Эти задачи решаются с использованием теории малых упруго-пластических деформаций.

Существует 3 группы экспериментальных методов определения остаточных напряжений:

- неразрушающие;
- слаборазрушающие;
- разрушающие.

К неразрушающим относят следующие методы: акустический, магнитный, электрический, вихретоковый, радиоволновой, тепловой, оптический, радиационный, ультразвуковой методы, метод АФЧХ (амплитудно-фазо-частотной характеристики). Из неразрушающих методов сравнительно новой разработкой считается метод АФЧХ, основанный на измерении эффективного удельного сопротивления (ЭУС) электроконтактным мето-

дом, который измеряется на аппаратуре СИТОН (скан-идентификатор технологических остаточных напряжений) [2].

Слаборазрушающие методы: метод голографической интерферометрии, который заключается в высвобождении тела от остаточных напряжений сверлением отверстия и определении остаточных напряжений по перемещениям на устройстве ЛИМОН (лазерный интерферонометрический метод определения напряжений) [3].

Разрушающие методы: рентгеновский и механический. Рентгеновский метод применяют для деталей, имеющих малые размеры и сложную форму, потому что для них механические методы применять трудно, а также для исследования тонких слоев (лучи проникают на глубину от 3 до 50 мкм)[4].

Одной из актуальных задач современной технологии машиностроения является установление зависимостей между физико-механическими свойствами поверхностных слоёв металлов с их энергетическим состоянием.

Список литературы

[1]. Мигранов М.Ш., Шустер Л.Ш. Интенсификация процесса металлообработки на основе использования эффекта самоорганизации при трении. Москва, Машиностроение, 2005, 200 с.

[2]. Васильков С.Д. Разработка и исследование метода неразрушающего контроля остаточных напряжений в металлах и сплавах и его метрологическое обеспечение. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2010, 23 с.

[3]. Попов Г.Н., Козинцев А.Л, Пономарев В.М., И.И. Чернышев. Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. Москва, Наука, 1996. 240 с.

[4]. Подзей А.В. Технологические остаточные напряжения. ред. Москва, «Машиностроение», 1973. 216 с.

Мусохранов Марсель Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marls77@ya.ru.

Попова Татьяна Витальевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tanechka54321@mail.ru.

Сорокин Сергей Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorokin994@mail.ru.

УДК 621.9

В.Ю. Потемкин, А.В. Волков

О СХЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ РЕЗАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Процесс резания характеризуется большим количеством первичных и вторичных параметров и всегда протекает нестабильно вследствие изменения припуска и физико-механических свойств обрабатываемого материала, изнашивания инструмента, деформаций в технологической системе и других факторов.

Цель данной работы является изучение современных систем регулирования процессом резания.

Для создания системы управления процессом резания необходимо составить физическую схему процесса [1], структурную схему процесса [2], а потом переходить к системам регулирования.

Впервые в середине шестидесятых годов прошлого века в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре "Инструментальная техника и технологии" под руководством заведующего кафедрой профессора В.Н. Подураева началось широкое использование в исследованиях процесса резания элементов теории автоматического регулирования. В данной теории различают разомкнутые и замкнутые системы. Если изменение выходной величины не вызывает каких-либо изменений входной, система называется *разомкнутой.* Системы, характеризующиеся замкнутым циклом передачи воздействия, называются *замкнутыми.*

Передача воздействия выходного элемента на входной осуществляется с помощью обратной связи. Если в системе действует одна такая связь, система называется *одноконтурной***,** если несколько, — *многоконтурной***.**

Обработка резанием относится к объектам многоконтурного регулирования, поскольку имеет большое число регулируемых параметров, изменение каждого из которых вызывает изменение других. Однако для изучения свойств отдельных элементов, прежде всего процесса резания, систему условно можно считать разомкнутой. В этом случае, разорвав две связи, определяющие взаимодействие данного элемента с другими, можно рассмотреть его свойства отдельно, путем установления зависимости между параметрами на входе и выходе системы

Подураевым В.П. автоматическое регулирование процесса резания рассматривается в виде структурной схемы, где отражен процесс воздействия на вторичные параметры механической обработки (точность, качество поверхности, стойкость инструмента, прочность инструмента и экономичность). Влияние на вторичные показатели осуществляется через первичные

параметры. К ним относится регулятор режимов резания и основная система (СПИД - станок, приспособление, инструмент, деталь). Регулятор может воздействовать как на первичные параметры, так и на параметры процесса резания и вторичные параметры. Основной характеристикой регулирования является функция, определяющая зависимость параметра регулирования (например, силы резания или температуры для механической обработки) от основной величины, характеризующей объект регулирования (например, точность механической обработки) [2].

Реализация данной схемы автоматического регулирования идет через выбор оптимального критерия обработки. Например, для глубокого сверления решающее значение имеет прочность длинного и тонкого стебля инструмента, его защемление удаляющемся по его канавкам стружкой. Конструкция системы регулирования основана на фиксировании определенного допустимого значения крутящего момента. При достижении критического значения крутящего момента, при котором образуется пробка из стружки, система отводит сверло из зоны обработки и удаляет стружку.

Позднее Ящерицин П.И. предлагает структурную схему применительно к станкам с ЧПУ и классификацию систем управления процессом резания [3].

Структурная схема отличается от предложенной Подураевым В.Н. тем, что технологическая система (СПИД) рассматривается как ряд подсистем: механическая, тепловая, электрическая.

Механическую подсистему изучают в кинематике, статике и динамике.

Тепловая подсистема характеризуется взаимосвязью ее деформаций и возникающих в процессе резания температурных полей.

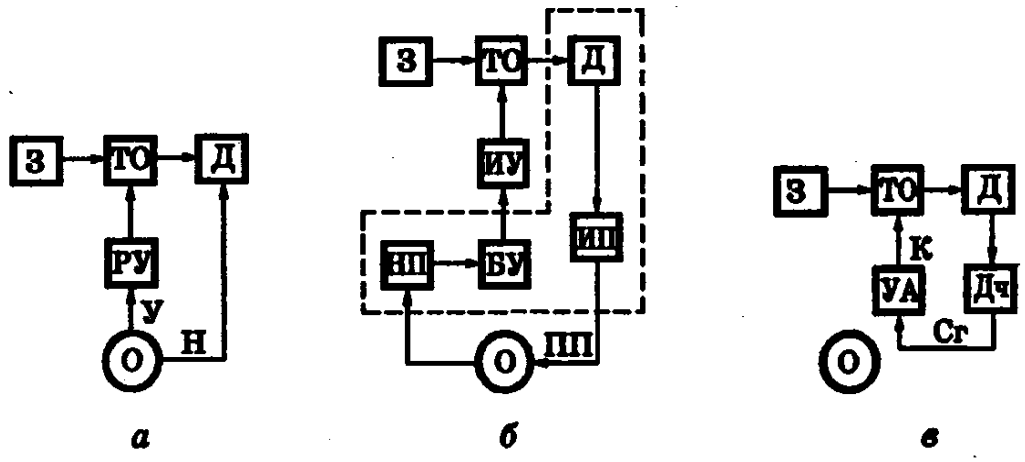


Рис.1. Схемы систем управления процессом резания:
а - информационной; б - автоматизированной; в - автоматической;
З - заготовка; ТО - технологическая операция; Д -деталь; РУ - рукоятка управления; О - оператор: У - управление: Н - наблюдение; ИУ - исполнительное устройство; НП - наладочная программа; БУ - блок управления; ИП - измерительный прибор; ПП - подналадочная подсистема; УА - управляющий автомат; Дч - датчик; К - команды; Сг - сигналы

Электрическая подсистема характеризуется внешней цепью термотоков.

В настоящее время возможно использование различных вариантов управления процессом резания.

В информационной системе управления станочник наблюдает за качеством деталей и состоянием технологической системы, анализирует свои наблюдения, обдумывает целесообразность внесения каких-либо изменений в ход обработки и осуществляет их путем воздействия на органы управления.

В автоматизированной системе управления качество заготовок, состояние системы, параметры процесса и детали контролируются приборами. Оператор в этом случае воздействует на процесс резания и обрабатывающую систему с помощью специальных механизмов и устройств.

В автоматической системе управления воздействие на процесс резания и технологическую систему производится также с помощью специальных устройств, но анализ показаний приборов и принятие решений осуществляет электронная система без участия оператора [3].

По нашему мнению при современном уровне производства и требованиях, предъявляемых к изделию, необходимо использовать автоматическую схему регулирования процесса. Это способствует повышению производительности при сохранении высокого качества продукции. Также мы исключаем погрешности процесса, вызываемые человеческим фактором.

Список литературы

[1]. Федин Е.И., Кузнецов В.П., Ямников А.С. Проектирование схем технологических наладок на операции механической обработки резанием. Тула, ТулГУ, 2003, 116с.

[2]. Подураев В.Н., Камалов В.С. Физико-химические методы обработки. Москва, Машиностроение,1973, 346 с.

[3]. Ящерицин П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. 2-е изд. Минск, Новое знание, 2006, 512с.

Потемкин Виктор Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vitya.potemkin.92@mail.ru.

Волков Александр Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru.

А.Б. Мкртчян

ОБЗОР ТВЕРДЫХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Внешнее трение твердых тел имеет двойственную (молекулярно-механическую или адгезионно-деформационную) природу. Контактирование твердых тел вследствие волнистости и шероховатости их поверхности происходит в отдельных зонах фактического касания. Суммарная плоскость этих зон – площадь касания, в пределах нагрузок невелика, это приводит к возникновению в зонах касания твердых тел значительных напряжений, нередко приводящих к появлению поверхностных пластических деформаций.

Деформирование поверхностных слоев подвижных спряжений, рабочих органов машин и оборудования приводит к их частичному или полному изнашиванию.

Для снижения износа в зонах контакта сопряженных деталей, используются специальные антифрикционные покрытия (углеродные,нитридные, гидросиликатные и др.), которые имеют высокую износостойкость и низкий коэффициент трения.

Для широкого использования в узлах трения, тонкие твердые покрытия (углеродные, нитридные и др.) должны иметь не только высокую износостойкость, но и низкий коэффициент трения. Такое сочетание может быть достигнуто в результате самоорганизации поверхностных слоев материала в начальный период трения.

Нанесение функциональных покрытий – один из самых эффективных методов создания поверхностей трения, удовлетворяющих потребностям современного машиностроения. Упрочнение контактирующих поверхностей достигается нанесением поверхностных слоев твердых материалов, таких как оксидная керамика, карбиды, углерод, нитриды и т. д. Тонкие покрытия из твердых материалов, предназначенные для широкого использования в узлах трения, должны иметь как высокую износостойкость, так и низкий коэффициент трения. Тем не менее, исходные покрытия в период приработки не всегда демонстрируют оптимальные свойства.

Покрытия из алмазоподобного углерода привлекают внимание своей химической инактивностью, высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения, что и позволяет успешно применять их в различных сферах. Анализ изношенных поверхностей алмазоподобных покрытий обеспечивает ценную информацию для того, чтобы оценить механизмы изнашивания, вовлеченные в скользящую систему. Исследованные механизмы износа алмазоподобного покрытия включают формирование графитного слоя на поверхности контакта покрытия, снижение механических свойств (мо-

дуль упругости и твердость) без микроструктурного изменения в структуре связи покрытия из алмазоподобного покрытия [3], перенос материала от пленки к контактирующему с ней материалу или формирование слоя из частиц изнашивания [4].

Покрытия из нитрида титана (TiN) обладают достаточной твердостью, высокие защитные свойства и технологичность которых делают их привлекательным инструментом для повышения износостойкости деталей трения и продления срока службы инструментов для механической обработки. Хотя поведение покрытий из нитрида титана всегда вызывало интерес [1], их механизмы износа в контакте с более мягкими материалами, например сталью, остаются неясными. Так как покрытия из нитрида титана демонстрируют исключительную износостойкость, необходимы очень чувствительные методы поверхностного анализа, чтобы регистрировать незначительные изменения поверхностей трения.

Применение углеродных нанотрубок и фуллеренов для модификации поверхности трения является многообещающим в сфере микромеханических систем. Однако механизм влияния углеродистыхнаноматериалов на трение остается не ясен.

Одним из интересных и перспективных методов является геотрибомодификация - вид обработки трущихся поверхностей деталей машин и механизмов, связанный с введением слоистых гидросиликатов в пятно контакта. В результате геотрибомодификации происходит очистка трущихся поверхностей, формирование на них металлокерамического покрытия, характеризующегося высокой износостойкостью и значительно пониженным коэффициентом трения.

Одним из основных компонентов ГТМ является серпентин — горная порода, образуемая целой группой природных минералов, которые встречаются в различных видах. Все серпентины — минералы, образующие жирные на ощупь массивные агрегаты и имеющие слоистую структуру, отдалённо напоминающую графит. Фракционный состав минеральной составляющей геотрибомодификаторов, как правило, характеризуется размерами частиц порядка 1-40 мкм. Однако в последнее время появились модификаторы и с наноразмерными частицами минералов.

В начальный период работы геотрибомодификаторы действуют в качестве легкого абразива. Частицы ГТМ мягче металла, поэтому негативного влияния на геометрию трущихся деталей не оказывают, осуществляя лишь их очистку от нагара. В процессе работы в пятне контакта возникают локальные перегревы до температур порядка 1000°С. При этих температурах происходит разложение серпентина с выделением воды,силикатов и двуокиси кремния. При работе ГТМ продукты разложения минералов сложным образом взаимодействуют с органическими веществами смазки и связующего, а также с поверхностным слоем металла трущихся деталей и продуктами трения. В результате микрометаллургических (в том числе ка-

талитических) процессов образуется защитное антифрикционное износостойкое покрытие на трущихся поверхностях. Образование защитного металлокерамического покрытия приводит к восстановлению поверхности деталей, а также значительному снижению коэффициента трения. Это, в свою очередь, приводит к снижению температур, возникающих в пятне контакта, и, соответственно, к прекращению дальнейшего процесса роста покрытия. Таким образом, процесс ГТМ является саморегулирующимся и не приводит к неконтролируемому росту покрытия, естественным образом прерываясь при достижении оптимальных параметров трущихся поверхностей в пятне контакта.

Заключение

1. Самоорганизация на поверхности под действием трения состоит в пластической деформации шероховатостей поверхности и формировании пятна контакта.
2. Поверхности твердых покрытий снижают коэффициент трения и позволяют их успешно применять в узлах трения.
3. Существует возможность управлять процессами самоорганизации на поверхности путем подбора структуры покрытия. Это позволит оптимизировать поверхности трения исходя из критериев низкого трения и высокой износостойкости.

Список литературы

[1]. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480с.

[2]. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин. Киев, Машгиз, 1959

[3]. KoskinenJ., SchneiderD., RonkainenH., MukkonenT., VarjusS., BurckP., HolmbergK., ScheibeH. J. // Surf. Coat. Technol. 1998. 108/109. Pp. 385–390.

[4]. Jiang J., Arnell R. D.,

Мкртчян Арман Бениаминович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: armanmkrtchyan95@mail.ru.

В.В. Калмыков, М.В. Мусохранов, К.Н. Юсупова

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЭНЕРГИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Поверхностная энергия представляет собой избыток энергии поверхностного слоя (по сравнению с энергией в объеме), приходящийся на единицу площади разделяющей поверхности[1]. Она сосредоточена на границе раздела фаз и является одной из самых важных свойств материалов, которая оказывает влияние на множество функциональных характеристик изделий, изготовленных из них. Её величина влияет на смачиваемость поверхностей, адгезию к ним смазки, краски, запыливаемость.

Сам феномен поверхностной энергии (Рис.1) обусловлен тем, что состояние частиц (атомов, молекул) на границах фаз отличается от их состояния в объеме из-за нескомпенсированности силового взаимодействия частиц, находящихся на поверхности. Стремление тел к равновесному состоянию с минимумом свободной энергии приводит к появлению поверхностных сил, направленных на уменьшение площади раздела фаз [2]. Свободная поверхностная энергия определяет работу образования зародышей новой фазы и свободную энергию активации процесса фазового превращения.

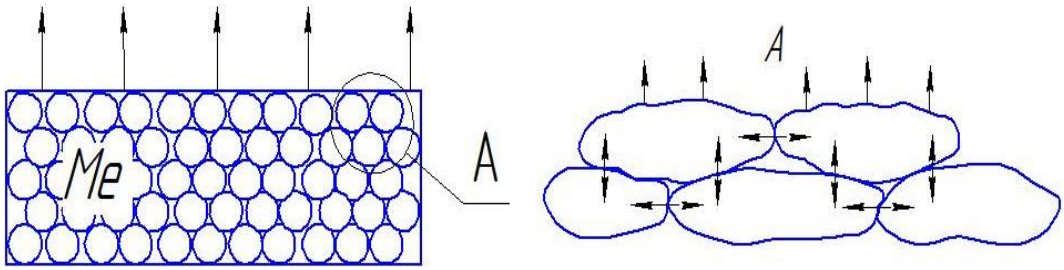


Рис.1 Поверхностная энергия

Поверхностная энергия связана с межмолекулярным взаимодействием, так как состояние частиц (атомов, молекул) на границе раздела фаз отличается от состояния в объеме фаз вследствие нескомпенсированности силовых полей частиц на поверхности раздела. Состояние поверхности и поверхностные силы играют существенную роль в тех случаях, когда поверхность сильно развита (например, в высокодисперсных системах), при получении вещества в виде тонких пленок. когда сфера действия приповерхностных сил соизмерима с толщиной пленок, в капиллярных явлениях. При образовании (увеличении) поверхности раздела фаз затрачивается работа против нескомпенсированных сил межчастичного взаимодействия на поверхности [3].

Существует несколько основных методов измерения поверхностной энергии твердых тел:

1. *Метод нулевой ползучести (метод Таммана-Удина).* В его основе лежит использование явления вязкой ползучести материалов при достаточно высокой температуре под действием приложенной силы. Графическая интерполяция величины этой силы к значению, при котором вязкая ползучесть уравновешивается поверхностным натяжением, позволяет определить поверхностную энергию твердых тел. Получаемые по этому методу значения отличаются от значений поверхностной энергии испытуемых материалов в нормальных физических условиях [3].

2. *Метод Обреимова* предназначен для упругих тел с хрупким разрушением. Поверхностную энергию можно определить лишь в случаях совершенной спайности, например, при обратимом расщеплении листочка слюды путем измерения работы образования поверхности [3].

3. *Метод «нейтральной капли»* является наиболее простым среди известных способов оценки поверхностной энергии твердых тел. Величина поверхностной энергии исследуемого твердого вещества в этом методе определяется по данным о равновесной форме жидкой капли другого вещества. Для этого на твердую фазу исследуемого вещества помещают каплю расплава, например, свинца, выполняющего роль пробного тела. После ее остывания определяется поверхностное натяжение.

Недостатком этого метода является большая погрешность измерений и необходимость разрушения образцов для проведения исследований. Кроме того, этим методом возможно исследование только тех веществ, которые взаимно нерастворимы, например, железо-свинец [4].

4. *Методы определения поверхностной энергии кристаллических хрупких тел*, основанные на идее, заключающейся в том, что работа, затраченная на хрупкое разрушение кристалла, равна поверхностной энергии возникших при этом новых поверхностей.

Однако, значения поверхностной энергии, полученные такими методами, недостоверны, так как некоторая, трудно контролируемая часть затраченной работы выделяется в форме тепла и идет на пластическую деформацию [3].

5. *Метод оценки поверхностной энергии с помощью обкатного ролика*. Он заключаеся в том, что пробное тело в виде ролика, имеющего возможность вращения относительно своей оси и изготовленного из липкого (имеющего высокую адгезию) материала, прижимают к поверхности исследуемого образца, перемещают пробное тело параллельно поверхности исследуемого образца и измеряют сопротивление его движению, по величине которого судят о значении поверхностной энергии.

Физическая сущность данного метода состоит в том, что работа, затрачиваемая на формирование области контакта, меньше работы по его разрушению. При контакте двух тел их общая поверхность границы с газовой фа-

зой уменьшается, при этом уменьшается и суммарная поверхностная энергия, избыток которой выделяется в виде тепла. Разрыв контакта сопровождается увеличением фазовых поверхностей соприкасающихся тел, на что затрачивается работа образования поверхностей, пропорциональная поверхностной энергии. При качении ролика в его передней половине происходит образование общей с исследуемым образцом поверхности и уменьшение их границы с газовой фазой, а сзади - разрыв контакта, восстановление фазовой границы. Поскольку работа на образование поверхности больше, чем на ее уменьшение, то возникает сила сопротивления качению ролика, измерение которой позволяет оценить поверхностную энергию исследуемого тела.

Недостатком данного метода является малая точность, обусловленная тем, что на ролик действует не только сила сопротивления, возникающая в результате образования поверхностей, но и силы трения качения ролика по поверхности и трения в подшипниках его оси. Таким образом, измерения можно проводить только в том случае, когда суммарные силы трения значительно меньше сил адгезии. Это возможно лишь при использовании пробного тела из материала с повышенной адгезией (поверхностной энергией), что значительно ограничивает возможности метода по номенклатуре исследуемых веществ, позволяя проводить измерения только межфазной поверхностной энергии [3].

6. *Метод, основанный на определении работы выхода электрона.* На уровень работы выхода электрона(РВЭ) оказывают влияние структурные превращения в поверхностном слое контактирующих деталей: искажения и разрушения кристаллических решеток, процесс легирования и др. При контактировании деталей (непременное условие функционирования направляющих элементов) происходит перераспределение электронной плотности. Величина работы выхода электрона может рассматриваться как индикатор энергии поверхности твердого тела. Чем больше значение РВЭ, тем больше энергетический потенциал поверхности [5].

Вследствие большой сложности рассматриваемых явлений строгого теоретического обоснования расчетами пока еще нет. Авторы предлагают поверхностную энергию определять по следующему алгоритму:

-определение величины работы выхода электрона эталонного электрода;

-определение контактной разности потенциалов между эталонным и измеряемым образцом;

-определение работы выхода электрона исследуемого образца.

7. *Метод измерения поверхностной энергии при помощи торсионных весов.*

Сущность метода заключается в том, что пробное тело сферической формы, изготовленное из того же материала, что и исследуемый образец, приводят в контакт с поверхностью исследуемого образца. Пробное тело подводят перпендикулярно к поверхности исследуемого образца, прижимают с контролируемым усилием, отводят пробное тело в обратном направле-

нии, одновременно с процессом подвода-отвода измеряют силу взаимодействия и расстояние между исследуемым образцом и пробным телом. О поверхностной энергии исследуемого образца судят по разнице удельных работ, затрачиваемых на подвод и отвод пробного тела к его поверхности.

В качестве устройства применяются торсионные весы, состоящие из коромысла с детектором нулевого положения, связанного с устройством электромагнитного уравновешивания. На рабочую часть коромысла установлено пробное сферическое тело, под которым размещен исследуемый образец, имеющий возможность контролируемого перемещения в вертикальном направлении. Устройство дополнено блоком, обеспечивающим регистрацию зависимости сил взаимодействия между пробным телом и исследуемым образцом от расстояния между ними, соединенным с компьютером, содержащим процессор для определения разницы удельных работ при подводе и отводе пробного тела к поверхности исследуемого образца. В результате достигается высокая точность измерений [2].

Каждый из перечисленных методов имеет свои недостатки и преимущества. Наиболее оптимальным является метод оценки поверхностной энергии при помощи торсионных весов, так как он обеспечивает наибольшую точность измерений.

Список литературы

[1]. Гиббс Д. В., Термодинамика. Статистическая механика - М.:Наука, 1982 – 584 с.

[2]. Мышкин Н.К., Григорьев А.Я., Ковалев А.В., Ковалева И.Н., Кудрицкий В. Г., Зозуля А.П. Способ определения энергии твердых тел и устройство для его определения//FREEPATENT:Библиотека патентов на изобретения: http://www.freepatent.ru/patents/2377535 (дата обращения:10.03.15)

[3]. Поверхностная энергия//CHEMPORT.RU:Химическая энциклопедия: http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_2883.html (дата обращения:10.03.15)

[4]. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смилга В.П. Адгезия твердых тел - М.:Наука, 1973 – 421 с.

[5]. Мусохранов М. В., Антонюк Ф. И., Калмыков В. В. Определение значения поверхностной энергии через работу выхода электрона// Современные проблемы науки и образования: Электронный научный журнал: http://www.science-education.ru/120-16036 (дата обращения:10.03.15)

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

Мусохранов Марсель Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marls77@ya.ru.

Юсупова Ксения Николаевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Lapylya9206@mail.ru.

С.И. Сениченков, И.Н. Зыбин

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕВ ВАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В различных отраслях машиностроения и сельского хозяйства для передачи крутящего момента от валов к шестерням, шкивам и другим деталям находят широкое применение шлицевые соединения. Шлицевые валы имеют значительные удельный вес среди деталей тракторов, автомобилей, сельскохозяйственных машин, технологического оборудования и т.д. Однако срок службы шлицевых валов недостаточно высокий [1], что вызвано следующими причинами.

Основным дефектом шлицевых валов является износ шлицев по ширине (как правило около 90 % шлицевых деталей, поступающих на восстановление [2]).

Шлицы изнашиваются преимущественно по боковой поверхности. Их износ по ширине у деталей автомобилей составляет 0,4…0,6 мм, иногда до 1,0 мм, тракторов – 1…2 мм, иногда до 3…4 мм [3,4]. Среднее значение износа шлицев по ширине достигает 2 мм [2]. Валы, центрируемые по боковой поверхности шлицев, износа по наружному диаметра, как правило, не имеют, при эксплуатации деформируются. Короткие валы обычно имеют деформацию в пределах 0,1…0,3 мм, а деформация длинных валов (например, различных полуосей) достигает 1…1,5 мм [3].

При центрировании валов по наружному диаметру возможен износ шлицев по этому диаметру. Как основной дефект шлицевых валов, центрируемых по наружному диаметру, износ шлицев встречается у 70 % шлицевых валов [2]. Износ по наружному диаметру обычно составляет 0,1…0,2 мм [3,4], но может достигать 0,6…0,7 мм [4].

С учетом вышесказанного, можно заключить, что возникает необходимость в восстановлении шлицев валов. При восстановлении следует учитывать не только износ шлицев по ширине или по наружному диаметру, но и деформацию, возникающую как в результате эксплуатации, так и при восстановлении шлицев.

Основными способами восстановления шлицев являются:

1. Пластическое деформирование (раздача);
2. Контактная сварка;
3. Дуговая наплавка под слоем флюса;
4. Дуговая наплавка в среде защитного газа;
5. Вибродуговая наплавка;
6. Сварка трением.

Среди различных способов восстановления шлицев валов наибольшее применение получили дуговые способы наплавки.

Следует отметить отсутствие достаточных данных об усталостной прочности восстановленных различными способами шлицевых валов, и об износостойкости восстановленных шлицев для большинства вышеуказанных способов восстановления.

Таким образом, при выборе способа восстановления шлицевых валов необходимо учитывать величину износа, возможную деформацию валов при их восстановлении. Так как такие валы, как правило, работают при знакопеременных нагрузках, то важным эксплуатационным показателем восстановленных валов является их усталостная прочность.

Список литературы:

[1]. Воловик Е.Л. Восстановление деталей и ремонт машин. Калуга, Малоярославецкий филиал ГОСНИТИ, 1975, 276 с.

[2]. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. Москва, Колос, 1983, 288 с.

[3]. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. Москва, Колос, 1981, 351 с.

[4]. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., ред. Надежность и ремонт машин. Москва, Колос, 2000, 776 с.

Сениченков Станислав Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Aliev196@mail.ru.

Зыбин Игорь Николаевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor1zybin@yandex.ru.

УДК 621.0

И.В. Кузнецов, Д.А. Баринова, В.В. Калмыков

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУДА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье рассматривается вопрос о положении дел в современном машиностроительном производстве и производительности труда на машиностроительном предприятии. Рассматриваются различные технологические методы повышения производительности труда.

Ключевые слова: *Машиностроение, производительность труда, производство, затраты на производство.*

На сегодняшний день производительность на машиностроительном предприятии является главным и основным источником дохода и реального экономического роста предприятия. В частности, главным показателем производительности на предприятии является производительность труда. Любые изменения производительности труда сказываются на уровне зарплаты, соотношении цен и издержек, потребностях в капиталовложениях, занятости, конкурентоспособности товаров страны на международном рынке. Рентабельность производства прямо пропорционально зависит от производительности труда, поэтому основной целью организации производства на предприятии, в частности машиностроительном, является создание условий для его повышения.

Производительность труда - это показатель эффективности использования ресурсов и трудовой деятельности работников, для производства различных товаров и услуг.[1] Так же производительность можно выразить в следующей зависимости:

$$П = \frac{N}{З}, \qquad (1)$$

где N – количество изготовленных изделий; З – затраты на производство.

На машиностроительном предприятии под количеством изготовленных изделий рассматривается весь объем произведенной и реализованной продукции и услуг, то есть весь выход из системы производства или обслуживания, воспринятый рынком, степень потребности рынка в данном продукте. В странах с развитой рыночной экономикой оценивается произ-

водительность только той продукции, которая реализована, продана, а не просто произведена.

Тогда как под затратами на производство на машиностроительном предприятии, понимают использование всех ресурсов, использованных при выпуске всего объема продукции и услуг: капитала, земли, материалов, энергии, информации и времени.[2]

Одним из главных ресурсов, является время. Норма подготовительно-заключительного времени включает в себя затраты времени на весь процесс изготовления изделия. С ней связаны затраты на ознакомление с работой, получение необходимых материалов, приспособлений и технологической документации, установление инструментов, наладку оборудования и сдачу готовой продукции. Подготовительно – заключительное время затрачивается один раз на всю партию обрабатываемых изделий.[3]

Таким образом при выявлении стольких затрат, необходимо применять технологические методы по повышению производительности.

Главным образом производительность может быть повышена за счет сокращения нормы времени на выполнение одной операции, что достигается уменьшением основного и вспомогательного времени и их совмещением. Основное время можно сократить путем интенсификации режимов резания, увеличение скорости и подачи. Тогда как сокращение вспомогательного времени, можно добиться уменьшением времени на установку и выверку заготовки, увеличением скорости холостых ходов рабочих органов станка, и уменьшением затрат времени на управление оборудованием и контроль.

Подъем производительности труда в существенной мере способствует комплексная автоматизация производства изделий; снижение расходов на материалы, за счет сокращения массы деталей и использованием наиболее дешевых материалов; использование совмещение переходов и совместная обработка заготовок. Как правило, для этого создается высокопроизводительное оборудование в виде многошпиндельных полуавтоматов и автоматов, агрегатных многошпиндельных и многопозиционных станков, автоматических линий, роторных линий.[2]

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что к настоящему времени существует множество методов для повышения такой важной характеристики производства, как производительность труда.

Основными направлениями по повышению производительности труда на машиностроительном предприятии являются совершенствование оборудования и оснастки, механизация основных и вспомогательных операций, автоматизация и интенсификация процессов, применение оборудования и транспортных средств, применение непрерывно-поточных методов организации производства, параллельное вычисление различных основных операций.

Заключение. В данной статье был рассмотрен вопрос повышения производительности труда на машиностроительном предприятии.

Список литературы

[1]. *Суслов А.Г., Дальский А.М.,* Научные основы технологии машиностроения — Москва, 2002 – 189 с.

[2]. *Трусова Л.И., Богданов В.В.,* Организация производства и менеджмент в машиностроении — Ульяновск, УЛГТУ, 2009 – 23 с.

[3]. *Медведева С.А.,* Основы технической подготовки производства — Санкт-Петербург, СПбГУ ИТМО, 2010 – 31 с.

Кузнецов Иван Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: van-cuznetsow@yandex.ru.

Баринова Дарья Андреевна — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: daria.barinova2016@yandex.ru.

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

В.В. Калмыков, А.А. Мазенков

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАДЕЛОВ В ПОТОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В современном машиностроении применяется большое количество различных механизированных поточных линий. По степени непрерывности производственного процессавсе поточные линии можно разделить нанепрерывно-поточные и переменно-поточные.

Непрерывно-поточные линии внедряются в производство при полной синхронности технологического процесса. Под синхронностьюпонимается равенство норм операционного времени, либо их кратность такту поточной линии.

Переменно-поточные линии применяются в тех случаях, когда не удается достичь полной синхронности операций при проектировании технологического процесса. Так как на разных операциях производительность различная, создаются межоперационные оборотные заделы. Такие поточные линии характеризуется укрупненным ритмом, в течение которого на линии обеспечивается установленная выработка при различной нагрузке на оборудование. В данном случае один рабочий может обслуживать два-три недогруженных станка, при условии однотипности выполняемых операций[1].

В общем случае производственный задел - количество заготовок, деталей и сборочных единиц, находящихся в данный момент на разных стадиях производственного процесса.

Производственные заделы включают в себя технологические,межоперационные оборотные, транспортные и страховые заделы[3].

Технологический задел – это суммарное количество деталей, находящихся в процессе обработки или сборки на рабочих местах.При передаче деталей с операции на операцию поштучно[2]:

$$Z_m = C_{пл} \tag{1}$$

где $C_{пл}$ - общее количество рабочих мест на поточной линии; а при передаче деталей партиями[2]:

$$Z_m = C_{пл} \cdot П_{пер} \tag{2}$$

где $П_{пер}$ - размер партии;

Транспортный задел – это детали, находящиеся между рабочими местами. По факту - это детали, размещенные на конвейере, тележках, скатах и других средствах перемещения. При передаче деталей с операции на операцию поштучно:

$$Z_{тр} = C_{пл} - 1 \tag{3}$$

а при передаче деталей партиями[2]:

$$Z_{тр} = (C_{пл} - 1)П_{пер} \tag{4}$$

При транспортировке деталей вручную транспортный задел размещается на тележках-стеллажах, то есть он равен сумме емкостей всех применяемых тележек[5].

Страховой(резервный) задел создается на случай срывов производства. Такие запасы могут храниться возле рабочих мест на стеллажах, площадках для складирования и т.д. Количество таких запасов может устанавливаться (примерно 5% от задания на смену) либо рассчитываться по формуле[3]:

$$Z_{рез} = \frac{\sum_{i=1}^{m} t_{резi}}{r_{пл}} \quad (5)$$

где $t_{резi}$ - время, на которое создается резервный запас на данной операции. При выходе из строя оборудования $t_{резi}$ принимается равной времени его ремонта; $r_{пл}$ - такт поточной линии;

Межоперационные оборотные заделы появляются только на переменно-поточной линии. Эти заделы необходимы для ритмичной работы линии. Также межоперационные оборотные заделы определяют размер площадей для хранения межоперационных запасов. Они динамичны и изменяются с течением рабочего времени. Величина межоперационного оборотного задела зависит от соотношения производительности смежных операций и определяется по формуле[3]:

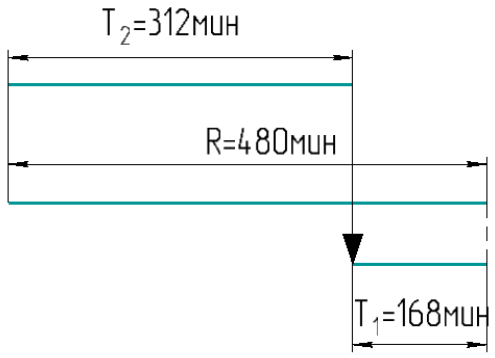
$$Z_{м.о.} = \frac{T_n \cdot C_i}{t_i} - \frac{T_n \cdot C_{i+1}}{t_{i+1}} \quad (6)$$

где T_n -период работы на смежных операциях при неизменном числе единиц работающего оборудования, ч; C_i, C_{i+1} - число единиц оборудования, работающих на смежныхоперациях в течение периода времени T_n; t_i, t_{i+1} - нормы времени на этих смежных операциях, норма-час;

Величина оборотного задела измеряется в натуральном выражении (тонн, штук и т.д.).

Для удобства рекомендуется вести расчет межоперационных оборотных заделов в табличной форме. В качестве примера найдем величину межоперационного задела для двух смежных операций. Исходные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – график работы оборудования

Операция	Штучная норма времени, мин	Количество рабочих мест, шт	Загрузка станка,%	График работы оборудования за одну смену (480 мин)
Сверлильная	1,1	1	35	
Токарная	2,3	2	100 65	

Далее по формуле 6 определяем величину межоперационного задела и заносим полученные данные в таблицу 2.

Таблица 2 – расчет межоперационных заделов

Периоды	Длительность периода	Расчет заделов
T_1	312	$Z'_{1-2} = \frac{312 \cdot 1}{1,1} - \frac{312 \cdot 1}{2,3} = +147$
T_2	168	$Z'_{1-2} = \frac{168 \cdot 0}{1,1} - \frac{168 \cdot 2}{2,3} = -147$

Знак «+» означает, что на данном интервале величина задела увеличивается до найденной величины; знак «-» говорит об уменьшении величины задела.

Движение межоперационных оборотных заделов отображается в виде эпюр (рис.1).

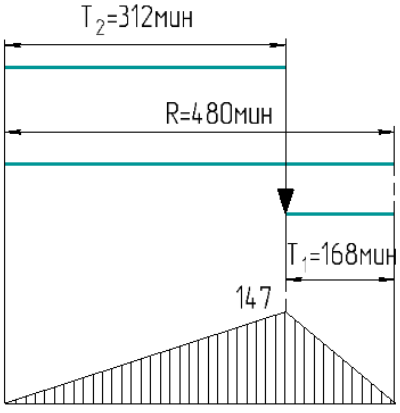


Рис.1

Как видно из рисунка, величина задела на интервале T_1 увеличивается от 0 до 147, а на интервале T_2 уменьшается от 147 до 0.

Общая величина задела на поточной линии определяется по формуле[3]:

$$Z_{общ} = Z_т + Z_{тр} + Z_{рез} + Z_{м.о.}$$

Главным условием ритмичной работы поточной линии является наличие некоторого количества деталей в заделе, так как это дает возможность запустить производство на любой его стадии. При чрезмерном количестве деталей в заделе ухудшается оборачиваемость оборотных средств, требуются дополнительные затраты на хранение, перемещение деталей. Поэтому важно правильно определить величину задела, которая обеспечит ритмичность производства и минимальные затраты.

Список литературы

[1]. Калачева А.П.*Организация работы предприятия.*Москва, ПРИОР, 2000, 431 с.

[2]. Новицкий Н.И. *Организация и планирование производства. Практикум*. Москва, Новое знание, 2004, 266 с.

[3]. Новицкий Н.И. *Организация производства на предприятиях.* Москва, Финансы и статистика, 2002, 391 с.

[4]. Туровцев. О.Г. *Организация производства и управление предприятием. Учебное пособие.* Москва, ИНФРА-М, 2002, 350 с.

[5]. Фатхутдинов Р. А. *Организация производства. Учебник.* Москва, ИНФРА-М, 2001, 669с.

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

Мазенков Андрей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mazenkov123@yandex.ru.

УДК 621.9.048

В.В. Калмыков, М.В. Крюков

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В современном производстве вопросам конкурентоспособности с каждым годом уделяется все большее внимание. На этом фоне ведется постоянное совершенствование технологических процессов и стремление к увеличению эффективности производства. Технологические процессы, связанные с удалением большого количества материала,затратны, а поэтому с течением времени устаревают.

Набирают популярность методы формообразования, основанные на различных физических процессах. Наиболее распространенными среди них является:

- лазерная обработка
- 3D прототипирование
- ультразвуковая обработка
-электроискровая обработка

Электроэрозионная обработка появилась сравнительно недавно, в середине XXстолетия. Она заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии[1]. Под действием разряда возникает ионизация промежутка, через который между электродами начинает протекать электрический ток. Вследствие этого происходит нагрев,расплав,и частичное испарение металла в зоне обработки. Данный метод применяют для прошивки отверстий с использованием стержневого или трубчатого электрода, маркирование на глубину до 1мм, вырезание и шлифование (Ra= 0,8…2.5 мкм). Он обеспечивает точность размеров до 0,005…0,05 мм, высокопроизводительный, не создает внутренних напряжений как при механической обработке [2].

Лазерная обработка. Среди рассматриваемых методов лазерная обработка получила самое широкое распространение. Лазерное оплавление применяется для поверхностного упрочнения или легирования. Лазерная резка стала возможной после разработки мощных и надежных лазеров на алюминий-иттриевом гранате. Особенность лазерной обработки заключается в получении узких безотходных разрезов, большом разнообразии обрабатываемых материалов и малой зоне нагрева. Прямое лазерное спекание процесс постепенного наплавления металлического порошка вдоль контура заготовки с помощью высокотемпературного лазерного луча. Заготовки, изготовленные по этой технологии, обладают высокой прочно-

стью и способны выдерживать большие механические нагрузки.Данная технология может применяться для спекания высококачественной, инструментальной стали, титановых и алюминиевых сплавов. Лазерная гибка металлов – это загибание заготовки с помощью лазерного луча. Суть способа заключается в нагреве металлической пластины с помощью лазерного луча в каком-то ограниченном месте. В результате возникают механические напряжения, под действием которых плоская пластина сгибается. Благодаря этому пластина сохраняет приданную ей новую форму даже после охлаждения [3].

3D прототипирование.3D принтеры - это устройство использующее метод послойного создания физического объекта. Созданная в CAD-системе, трехмерная модель не может дать полного представления о жесткости деталей в сборочной единице. Прототипы дают возможность проанализировать особенность конструкций, а также позволяют своевременно выявить имеющиеся недостатки.Преимущества данной технологии заключается в возможности создания объекта целиком, практически безотходном производстве, возможности создания сложный внутренних структур. Главным недостатком данного метода является его низкая производительность [4].

Ультразвуковая обработка материалов – разновидность механической обработки, основана на разрушении обрабатываемого материала абразивными зернами под ударами инструмента, колеблющегося с ультразвуковой частотой. Данным методом обрабатывают хрупкие твердые материалы: стекло, керамику, ферриты, кремний, алмазы, твердые сплавы, титановые сплавы, вольфрам. Этим методом получают глухие и сквозные отверстия любой формы, в поперечном сечении, канавки, пазы.

Электроискровая обработка заключается в использовании явления электролитической эрозии и переносе металла на наращиваемую поверхность детали при прохождении искровых разрядов между ними. Процесс ведется в жидкой среде для того, чтобы капли металла не наращивались на инструменте. Электроискровая обработка металлов применяется для прошивки отверстий различной формы и размеров, извлечения остатков сломанного инструмента и крепежных деталей из изделий, поверхностного упрочнения и наращивания слоя металла при небольших износах.Электроискровое наращиваниепозволяет наносить покрытия из любых металлов и сплавов независимо от их твердости. Электроискровым наращиванием восстанавливают шейки осей опорных катков, посадочные места под подшипники на валах, стаканы подшипников, шейки под подшипники на осях и другие[5].

Широкое внедрение рассмотренных методов на производстве позволит повысить эффективность и конкурентоспособность выпускаемой продукции.

Список используемой литературы.

[1]. ГОСТ 25331-82 Обработка электроэрозионная. Термины и определение. Москва, Государственный стандарт союза ССР, 1982.

[2]. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов. Л., Машиностроение, 1983.

[3]. Киселев М.Г., Дроздов А.В. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Минск БНТУ, 2009.

[4]. 3D принтеры в машиностроении URL: http://3dprintage.com/3dprint/3d-printery-v-mashinostroenii.html (дата обращения 22.03.2015)

[5]. Коваленко В.С. Электрофизические и электрохимическиеметоды обработки материалов. Вища школа, 1975.

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

Крюков Максим Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kryukovmaksimvikt@gmail.com.

УДК 669.181

Д.Н. Куренков, Е.В. Кондрашова, И.А. Филиппова

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА ИЗ РУД

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Под процессами прямого получения железа понимают такие химические, электрохимические или химико-термические процессы, которые дают возможность получать непосредственно из руды, минуя доменную печь,металлическое железо в виде губки, крицы или жидкого металла. Такие процессы ведутся, не расходуя металлургический кокс, флюсы, электроэнергию (на подготовку сжатого воздуха), а также позволяют получить очень чистый металл.

Методы прямого получения железа известны давно. Опробовано более 70 различных способов, но лишь немногие осуществлены и притом в небольшом промышленном масштабе.

В последние годы интерес к этой проблеме вырос, что связано, помимо замены кокса другим топливом, с развитием способов глубокого обогащения железорудного сырья (ЖРС), обеспечивающих не только высокого содержания железа в концентратах (70…72%), но и почти полное освобождение его от серы и фосфора.

Применение технологий по производству железа прямого восстановления (ЖПВ) в основном в виде металлизированных окатышей (DRI) или горячебрикетиованного железа (HBI) считается в металлургической литературе одним из самых перспективных направлений для эффективного развития мировой металлургии. Это обусловлено тем, что использование DRI или HBI при выплавке стали в электродуговых печах позволяет производить наиболее высококачественный, чистый по вредным примесям металл, пригодный для использования не только в стандартных отраслях промышленности, но и также в областях, где применяются высокие технологии. При этом темпы развития производства ЖПВ серьезно отстают от темпов роста мировой металлургии.

Прямое газовое восстановление железа

В 70-е годы 20-го века начал активно развиваться процесс восстановления железа из руды природным газом, где протекают химические реакции восстановления железа из оксидов газообразными продуктами конверсии природного газа - CO и H_2.Продуктом данного процесса является железо прямого восстановления ЖПВ, сырьевой материал при производстве стали, которое содержит около 1% углерода и около 90% железа.

Технологические изменения, происшедшие в 1990 г. позволили значительно снизить стоимость и энергоемкость процессов прямого восстановления железа, в результате чего произошел новый скачок в производстве продукции ЖПВ, который продолжается до сих пор.

На сегодняшний день в мире широко распространена технология компании Midrex, (Midrex.com) установки которой работают во многих станах мира. Сегодня по технологии Midrex производится около 40 млн. т ЖПВ или 60% от его общего производства. Всего в мире производится около 60 млн. т железа прямого восстановления.

Российский Оскольксий ЭМК, использующий технологию Midrex,за период 1983-1987 гг. построил и запустил четыре модуля с производительностью около 1,7 млн. т в год металлизированных окатышей DRI.

Российский Лебединский ГОК в 1999 г. запустил модуль по горячему производству брикетовпо несколько иной технологии HYL/Energiron мощностью 0,9 млн. т в год. А в 2007 г. запустил еще один модуль по этой же технологии на 1,4 млн. т в год горяче-брикетированного железа (HBI). Всего в России выпускается ЖПВ около 3,4 млн. т в год.

Получение губчатого железа в шахтных печах

При получении губчатого железа добытую руду обогащают и получают окатыши, схема процесса приведена на рис. 1.

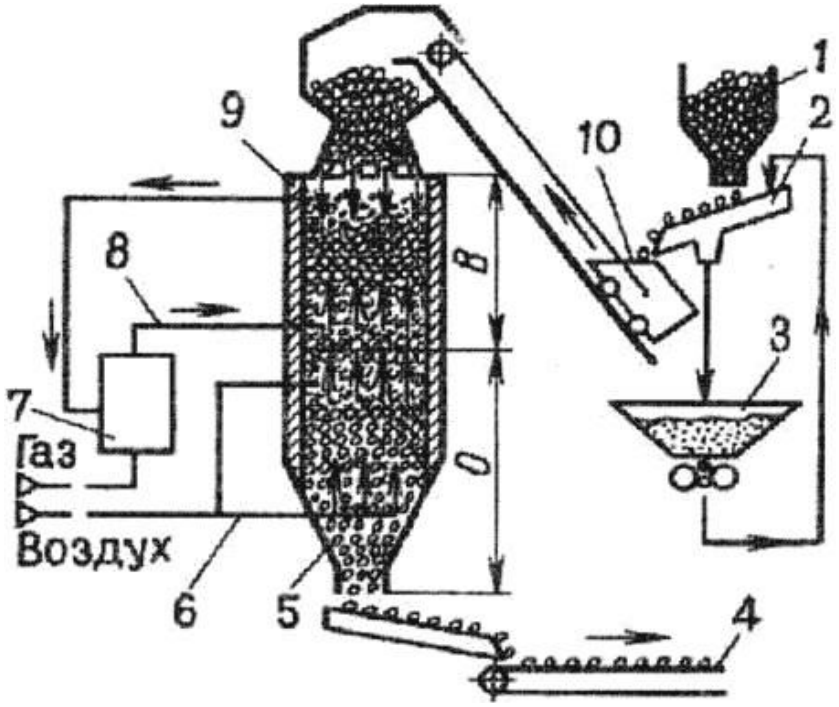


Рис 1. Установка для прямого восстановления железа из руд и получения металлизированных окатышей.

Окатыши из бункера 1 по грохоту 2 поступают в короб 10 шихтозавалочной машины и оттуда в шахтную печь 9, работающую по принципу противотока. Просыпь от окатышей попадает в бункер 3 с брикетировоч-

ным прессом и в виде окатышей вновь поступает на грохот 2. Для восстановления железа из окатышей в печь по трубопроводу 8 подают смесь природного и доменного газов, подвергнутую в установке 7 конверсии, в результате которой смесь разлагается на водород H_2 и оксид углерода CO.В восстановительной зоне печи В создается температура 1000…1100 °С, при которой H_2 и CO восстанавливают железную руду в окатышах до твёрдого губчатого железа. Содержание железа в окатышах достигает 90…95%. Для охлаждения железных окатышей по трубопроводу 6 в зону охлаждения 0 печи подают воздух. Охлаждённые окатыши 5 выдаются на конвейер 4 и поступают на выплавку стали в электропечах.

Восстановление железа в кипящем слое

Мелкозернистую руду или концентрат помещают на решётку, через которую подают водород или другой восстановительный газ под давлением 1,5 МПа. Под давлением водорода частицы руды находятся во взвешенном состоянии, совершая непрерывное движение и образуя «кипящий», «псевдо сжиженный» слой. В кипящем слое обеспечивается хороший контакт газа-восстановителя с частицами оксидов железа. На одну тонну восстановленного порошка расход водорода составляет 600…650 $м^3$.

Получение губчатого железа в капсулах-тиглях

Используют карбидокремниевые капсулы диаметром 500 мм и высотой 1500 мм. Шихта загружается концентрическими слоями. Внутренняя часть капсулы заполнена восстановителем – измельченным твердым топливом и известняком (10…15%) для удаления серы. Второй слой – восстанавливаемая измельченная руда или концентрат, окалина, затем еще один концентрический слой – восстановителя и известняка. Установленные на вагонетки капсулы медленно перемещаются в туннельной печи длиной до 140 м, где происходит нагрев, выдержка при 1200 °С и охлаждение в течение 100 часов.Восстановленное железо получают в виде толстостенных труб, их чистят, дробят и измельчают, получая железный порошок с содержанием железа до 99 %, углерода – 0,1…0,2%.

Все эффективные методы прямого восстановления фактически используют единственный процесс: богатое железорудное сырье (мелкий концентрат или окатыши) восстанавливается специальной газовой смесью до содержания железа 85-90%.

Именно поэтому основное производство железа прямого восстановления главным образом сосредоточено в странах, обладающих большими запасами нефти (попутного газа), природного газа и железной руды, а также ограничены в запасах металлолома. Крупнейшими производителями продукции DRI в мире являются Индия (20 млн. т), Венесуэла (7,7 млн. т), Иран (7,4 млн.т) Мексика (6,3 млн. т). На долю этих стран приходится около 60% всего производства в мире. Россиятакже обладает природным газом, запасами железных руд и значительными преимуществами в развитии DRI.

Выводы

DRI является перспективных продуктом и будет востребован при дефиците металлолома и необходимости производствав особо чистых марках сталей.

Цена DRI будет всегда отставать от цены на чугун потому, что при выплавке стали чугун является дополнительным источником энергии, а DRI содержит неметаллическую фазу и снижает технико-экономические показатели работы печи.

DRI производят страны,где доступен дешевый газ и ЖРС.

Без четкого понимания цен на газ после введения установки DRI нет смысла начинать строительство.

Возможно строительство установки DRI на газе, произведенном из угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Современные методы металлургического производства. Учебное пособие - Москва: РГОТУПС, 2005.- 42 с.

[2]. Основы металлургического производства (черная металлургия) Москва "Металлургия" 1988.

[3]. http://www.iqlib.ru/book/preview.visp?uid=68C517C5-0C35-4B2F-8B4F-1A328A39F51C&action=text&idsLink=3008&resIndex=1&resType=1&searchWithText=True

Куренков Дмитрий Николаевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dkurenkov-kalug@yandex.ru.

Кондрашова Елена Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: lapalelik@gmail.com.

Филиппова Инна Аркадьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: katran-ogmet-04@yandex.ru.

Ю.А. Савина, М.В. Мусохранов

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ И ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ ФАКТОРЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В современном машиностроении значительное влияние уделяется качеству изготавливаемых деталей, а именно поверхностному слою. Под поверхностным слоем следует понимать специфическое кристаллическое твердое тело, обладающее анизотропией физико-механических свойств.

Искажение кристаллической решетки, появление вакансий, дислокаций – все это процессы которые протекают в поверхностном слое на микроскопическом уровне, и с появлением этих дефектов поверхностный слой претерпевает соответствующие изменения, т.е. изменяется внутренняя энергия.

Поверхностный слой является сложной системой. Уникальность ее заключается в том, что поверхностному слою присущи свойства как объемного твердого тела (структура, плотность, твердость и т.д.), так и свойства мембраны. Кроме того, поверхностный слой способен накапливать в себе некоторую часть пропускаемой им энергии в виде тепла и микродефектов, что приводит к образованию специфических диссипативных структур.

Все кристаллические тела обладают внутренней и поверхностной энергией. В процессе механического воздействия работа по перемещению частиц металла переходит в потенциальную энергию поверхностной частицы т.е. возникает избыток потенциальной энергии поверхностного слоя. Эта энергия и является поверхностной энергией. Данную поверхностную энергию можно рассмотреть в качестве дополнительного инструмента для обеспечения неподвижного состояния двух контактирующих деталей. Для этого необходимо создание определенного энергетического состояния соприкасающихся деталей. Следовательно, необходимо проконтролировать процесс формирования энергетического состояния поверхностного слоя контактирующих деталей с заранее заданными физико-механическими свойствами.

Таким образом, постоянно меняется энергетическое состояние поверхностного слоя, контактирующих поверхностей деталей. Вместе с энергетическим состоянием также меняется коэффициент трения. Однако, при создании определенных условий изменение коэффициента трения прекращается полностью и образуется процесс «схватывания» поверхностей деталей. Кроме коэффициента трения следует обратить внимание на шероховатьсть, так как микронеровности играют важную роль в «схватывании» поверхностей деталей.

Из выше сказанного следует, что для обеспечения в пространстве определенного (в нашем случае неподвижного) положения деталей друг относительно друга с соблюдением всех точностных показателей необходим высокий коэффициент трения, и его обеспечение может произойти на основе выбора необходимой шероховатости и энергетических показателей поверхностных слоев.

При рассмотрении контактирования пары в заданных условиях, когда наблюдается пластическое деформирование микровыступов, а смазка чаще всего отсутствует, образуются мостики связи между поверхностями и противостоящие микровыступы «свариваются» и образуют монолит (рис.1). Этот эффект является еще одним важным доказательством действия энергетического состояния поверхностных слоев.

Но такой эффект возможен только при нахождении в поверхностных слоях деталей в достаточном количестве энергии, которая, соединяясь с энергией внешнего воздействия при соединении пары, способна создать множество мостиков связи.

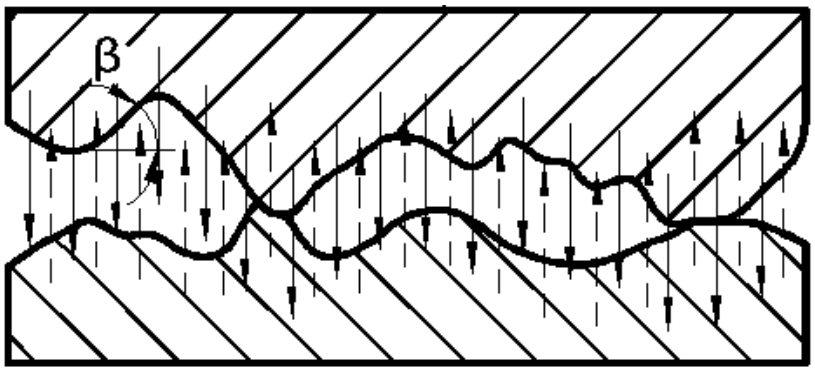


Рис.1. Схема взаимодействия микронеровностей

Из выше сказанного следует, что есть необходимость ввести еще один параметр качества поверхностного слоя наравне с твердостью, точностью и шероховатостью поверхности, с гарантирантией более точного позиционирования сопрягаемых деталей при выборе подходящего метода получения качества поверхности. Для проявления схватывания необходимо, чтобы накопленная энергия в месте контакта выросла больше определенного значения для соответствующего уровня металла, который можно определить как энергетический порог схватывания.

Таким образом, молекулярное взаимодействие поверхностей в процессе трения приводит к их схватыванию. Такое явление свойственно материалам с высоким уровнем энергии. С помощью поверхностной энергии можно регулировать свойства поверхностного слоя, а также и комплексом механических свойств материала.

Список литературы

[1]. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

[2]. *Мигранов М.Ш.*, *ШустерЛ.Ш.* Интенсификация процесса металлообработки на основе использования эффекта самоорганизации при трении. – М.: Машиностроение, 2005. – 200 с.

[3]. *Мусохранов М.В.* Поверхностная энергия как показатель качества поверхностного слоя. Инженерный журнал. 2005. – №12. – 62–64 с.

[4]. *Мусохранов М.В.* Роль поверхностной энергии при формировании деталей в прецизионном машиностроении. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. – № 6. – 9–11 с.

[5]. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение. – 2000. – 320 с.

Савина Юлия Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ulia1158@yandex.ru.

Мусохранов Марсель Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marls77@ya.ru.

А.Е. Жилин, И.А. Филиппова

ПОЛУЧЕНИЕ ЧУГУНА МЕТОДОМ НАУГЛЕРОЖИВАНИЯ ЖЕЛЕЗА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Одним из путей снижения себестоимости чугунного литья является выплавка чугуна на дешевой шихте, в частности, замена дорогостоящих литейных и передельных чугунов стальным ломом. Стальные отходы – в определенном смысле значительно более качественные материалы, свободные от вредных примесей и включений, чем литейные и передельные чугуны. Однако их применение в составе шихты ведет к необходимости проведения науглероживания расплава для получения синтетического чугуна.

Организация выплавки синтетических чугунов является радикальным средством подъема чугунолитейного производства на качественно новую ступень, так как синтетический чугун можно отнести к конструкционным материалам, существенно отличающимся от применяемых ваграночных чугунов не только прочностными свойствами, но природой и технологией получения. Сущность процесса плавки синтетического чугуна состоит в металлургическом обогащении жидкого железа углеродом и кремнием в произвольных пропорциях, а также в применении высокотемпературной обработки, что позволяет получать сплавы с заранее заданными химическим составом и свойствами. Для формирования высоких свойств чугуна в отливках необходимо разрушение несовершенной структуры исходных шихтовых материалов. Применение для выплавки синтетического чугуна индукционных печей позволяет осуществлять глубокую термовременную обработку, рафинирование, модифицирование и легирование жидкого металла. Индукционные печи обладают высокой технологической гибкостью, т. е. позволяют получать чугун любого химического состава, выпускать жидкий металл произвольными порциями, длительно хранить металл без изменения его свойств, использовать шихтовые материалы малого объемного веса, механизировать и автоматизировать процессы выплавки.

Исходным сырьем для получения синтетического чугуна служат стальной лом, листовая обрезь, стружка и другие дешевые низкосортные металлоотходы. В настоящее время коэффициент использования металла в машиностроении составляет 0,7, т. е. 30% металла идет в отходы, большая часть которых имеет малый объемный вес, что затрудняет их дальнейшую переработку. Проблема эффективного использования металлоотходов малого объемного веса наиболее рационально решается при организации выплавки синтетического чугуна. Достоинством такой выплавки является возможность переплавки отходов непосредственно на месте их образова-

ния — в литейных цехах машиностроительных заводов без длительной транспортировки и безвозвратных потерь металла. Доменные чушковые чугуны вообще исключаются из состава шихты, что высвобождает соответствующие мощности металлургического производства. Использование дешевых металлоотходов для выплавки синтетического чугуна обеспечивает снижение его себестоимости на 25— 30% по сравнению с обычными чугунами вторичного переплава.

Синтетические сплавы наиболее целесообразно использовать для производства высококачественных чугунов, особенно с шаровидным графитом, учитывая низкое содержание в них демодифицируюших примесей, для получения отливок ответственного назначения.

Процесс науглероживания расплава при этом приобретает важную роль в многозвенной цепочке получения отливок, и повышение его эффективности является важной задачей. Ранее ее решением занимались такие ученые, как Вертман А.А., Владимиров Л.П., Есин О.А., Жуков А.А., Козлов Л.Я., Рист А., Самарин А.М, Чипмэн Д., Шумихин В.С., и др. Ими отмечается повышение механических и эксплуатационных свойств металла при получении отливок из синтетического чугуна. В то же время наблюдаются и отрицательные явления: повышенная усадка, пониженная жидкотекучесть, склонность к отбелу. В связи с этим требуются дополнительные исследования процесса науглероживания расплава.

Рассмотрим технологический метод повышения эффективности науглероживания за счет применения в составе науглероживающей смеси с графитсодержащими материалами карбонатов щелочноземельных металлов.

Физико-химическая сущность науглероживания состоит в обогащении расплава углеродом путем растворения вещества карбюризатора и диффузионно-конвективного массопереноса в объеме жидкого металла. Этот процесс довольно сложный, так как получение однородной концентрации углерода в расплаве определяется интенсивностью протекания отдельных фаз процесса. Скорость науглероживания зависит от температуры и физического состава расплава, интенсивности массообмена, вида карбюризатора и т.д.

В настоящее время принято считать, что углерод в жидком железе находится в виде ионов C^{4+}, образующих с железом прочную металлическую связь, и микрогруппировок графита – особенно при высоких концентрациях углерода и кремния, который имеет высокое сродство к железу и, образуя группировки

Fe-Si, способствует локализации углерода. Это обстоятельство косвенно подтверждается тем, что с увеличением концентрации кремния в расплаве усвоение углерода из карбюризатора уменьшается при прочих одинаковых условиях.

Исходя из форм существования углерода в чугуне, можно принять, что обогащение расплавом углерода на определенном этапе происходит за счет распределения в объеме металла дисперсных группировок типа графитных.

Расчленение графитных частиц на плоские блоки энергетически оправдано, так как сила поперечных связей значительно меньше, чем в плоскости решетки. Одновременно следует иметь ввиду, что в реальных условиях на поверхности частиц карбюризатора всегда имеются ненасыщенные связи, которые заполняются на воздухе, присоединением кислорода, как это неоднократно отмечалось исследователями. При попадании частиц карбюризатора в высокотемпературный расплав происходит термическая десорбция кислорода. Однако верхний предел избытка энергии поверхностных атомов углерода по сравнению с энергией атомов углерода внутри вещества карбюризатора примерно равен теплоте сублимации, т.е. полное удаление десорбированного кислорода возможно только вместе отделением атомов углерода с поверхности вещества. Таким образом, термическая десорбция кислорода происходит при образовании CO и CO_2, а так как при температурах выше 1000°C устойчивым окислом является CO, то, очевидно идет образование окиси углерода.

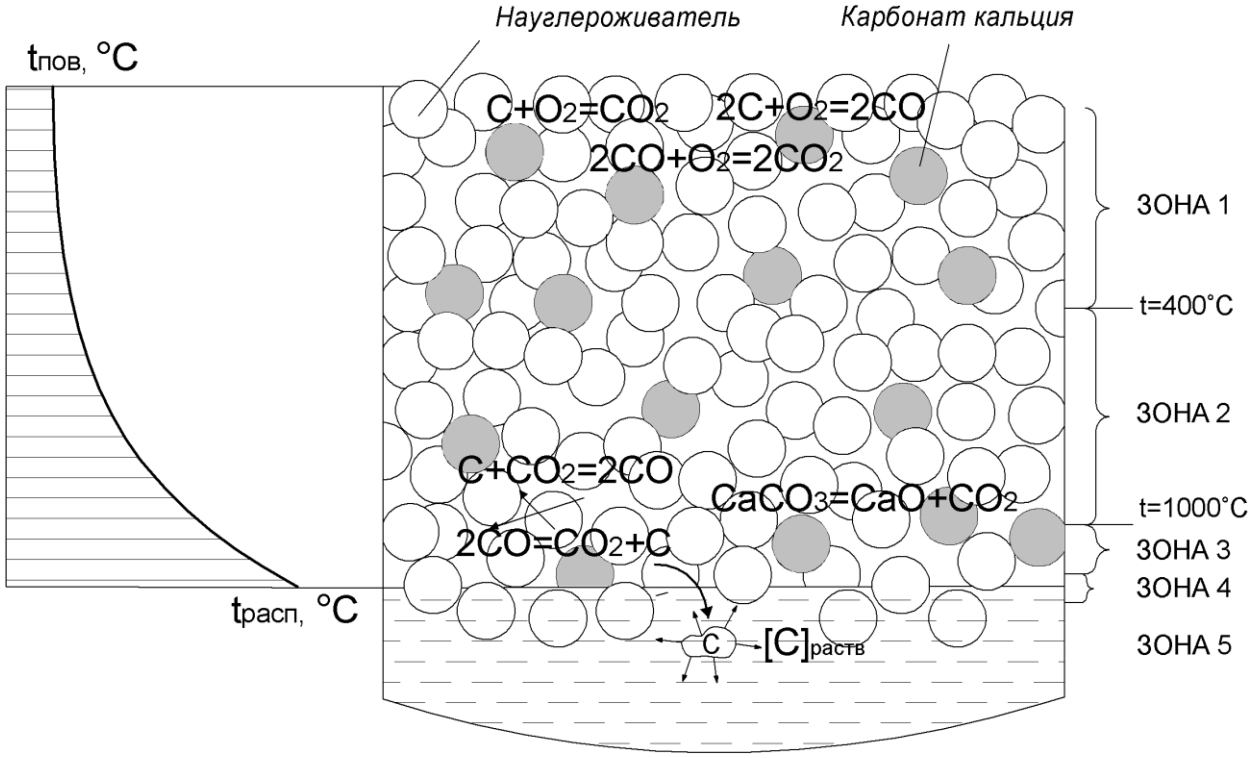


Рис. 1. Теоретическая физико-химическая модель процесса науглероживания:
$t_{пов}$ – температура на поверхности науглероживатель - атмосфера;
$t_{расп}$ – температура на поверхности науглероживатель – расплав.

В зоне 1 (область низких температур) на поверхности науглероживателя, контактирующего с атмосферой, где температура составляет менее 400ºС, равновесный состав газа CO-CO_2 содержит почти 100% CO_2.

Зона 2 (область умеренных температур) – в слое науглероживателя. Температура находится в пределах 400ºС≤t≤1000ºС. В равновесном газе содержатся в соизмеримых концентрациях оба окисла (CO и CO_2).

В зоне 3 (область высоких температур), непосредственно прилегающей к поверхности жидкого металла, температура t>1000ºС. Равновесный газ содержит около 100% CO и возможно протекание реакций только с образованием монооксида углерода.

В зоне 4 на границе металл – науглероживатель происходит насыщение расплава углеродом по двум механизмам: в атомарном виде через газовую фазу и при механическом замешивании частиц науглероживателя в расплав с дальнейшим их растворением.

В зоне 5 происходит диффузионное растворение частиц графита увлеченных в объем ванны потоками металла.

Важную роль в процессе науглероживания играет реакция газификации углерода, которая может протекать в двух направлениях: с образованием оксида углерода в области высоких температур, а на поверхности расплава с образованием диоксида углерода и атомарного углерода.

Процесс образования CO на гранулах науглероживателя описывается реакцией:

$$C_{тв}+CO_2 = 2CO \qquad (1)$$

Кинетический механизм науглероживания через газовую фазу включает этапы:

1. Адсорбция молекул CO на поверхности железа

$$CO_{(г)}+Fe_{(ж)} \rightarrow Fe \bullet CO_{(адс)} \qquad (2)$$

2. Образование активного, легкорастворимого сажистого углерода и CO_2 за счет столкновения молекул CO с сильно деформированными молекулами в адсорбционном слое

$$Fe \bullet CO_{(адс)}+ CO_{(г)} \rightarrow Fe \bullet C_{(адс)}+CO_{2(г)} \qquad (3)$$

Разрозненные атомы углерода, возникшие в адсорбционном слое, непрерывно перемещаются на поверхности и переходят в расплав.

Образовавшийся диоксид углерода снова вступает в реакцию с науглероживателем с образованием монооксида углерода.

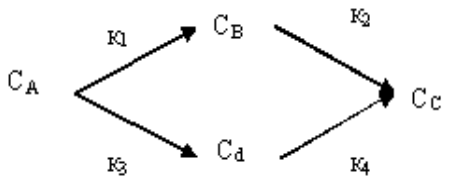


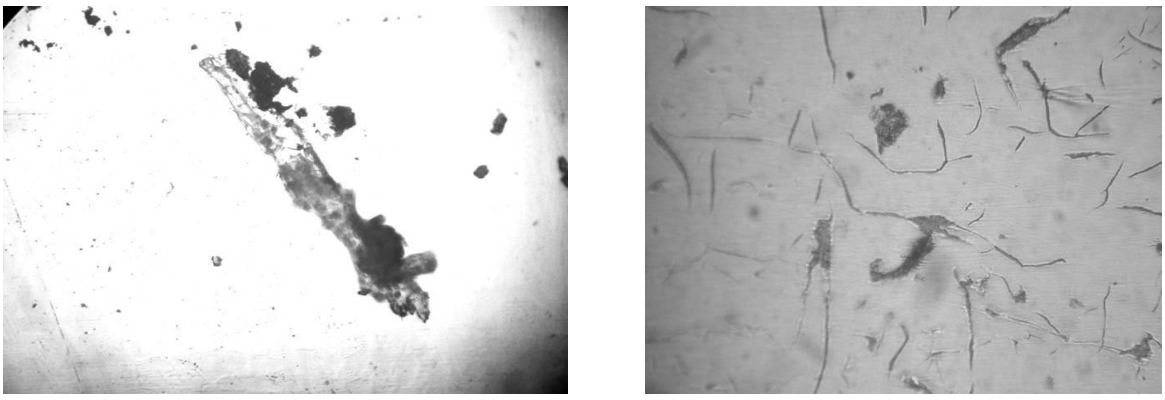
Рис. 2. Кинетическая схема процесса науглероживания.

Для снижения спели, вызванной недорастворившимися включениями графита, применили карбонат кальция в виде мраморной крошки. Карбонат кальция вводился путем механического перемешивания с углеродсодержащими материалами в отношении 90% - науглероживатель, 10% - мраморная крошка. Порядок загрузки компонентов оставался неизменным.

Наиболее чувствительной к включениям углерода механической характеристикой оказалось относительное удлинение, которое увеличилось на 51% при общем снижении твердости на 17%. Увеличение относительного удлинения связано с тем, что в структуре чугуна, обработанного карбонатами, меньше грубых включений графита. Снижение твердости обеспечивает возможность последующей механической обработки.

Ввод карбонатов резко увеличил количество связанного графита, особенно хорошо это видно после операции загрузки и проплавлении стальной составляющей с науглероживателем. Дальнейшее снижение растворимости углерода можно объяснить понижением температуры в тигле печи в связи с загрузкой передельных чугунов и возврата, а также вводом углерода в свободном состоянии с этими шихтовыми материалами.

Сравнения микроструктур образцов, отобранных по ходу базовых плавок, с образцами, отобранными от плавок по новой технологии (рис. 3), показали, что применение карбонатов в смеси с науглероживателем привело к резкому сокращению количества крупных недорастворившихся включений графита.



а б

Рис. 3. Микроструктура нетравленых образцов промышленных плавок перед модифицированием (х350)
а – базовая технология;
б – новая технология с применением смеси науглероживателя с $CaCO_3$.

Разработанная технология легко вписывается в любой действующий технологический процесс плавки чугуна в индукционных печах, не требует капиталовложений и серьезных организационных мероприятий, дает существенный экономический эффект.

Список литературы:

[1]. РТМ "Технология плавки и внепечной обработки серого, ковкого и высокопрочного чугуна" Изд. ВНИИТЕРМ, Москва 1986 г. Разработчик ВНИИЛИТМАШ .

[2]. Плавка синтетического чугуна в индукционных печах и ее технология на Каунасском литейном заводе "Центролит", издательство "Минтис", Вильнюс. 1974 г.Под редакцией д.т.н., профессора Гиршевича Н.Г.

[3]. Высококачественные чугуны для отливок. Издательство Машиностроение, 1982 г. Под редакцией д.т.н. Александрова Н.Н.

[4]. Проблемы технологии плавки синтетического чугуна. д.т.н., профессор Коган Л.Б., журнал "Литейное производство №3 1979 г. ст.24

[5]. Синтетический чугун. Шумихин В.С., Лузан П.П., Жельнис М.В., Наукова думка Киев 1972.

Жилин Александр Евгеньевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: merchant.deal@mail.ru.

Филиппова Инна Аркадьевна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии обработки материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: katran-ogmet-04@yandex.ru.

УДК 621.0

И.В. Кузнецов, Д.А. Баринова, В.В. Калмыков

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье рассматривается вопрос о применении лазерной обработки материалов в машиностроении. Приводится описание принципа работы лазерной установки, достоинства и недостатки лазерных систем.

Ключевые слова: *Машиностроение, лазер, лазерная обработка, обработка металлов.*

Лазерные системы являются одним из наиболее значимых достижений современного научно-технического общества. Лазеры находят разнообразное применение в технологии обработки различных материалов, используются в научных исследованиях, медицине, военной технике.

Обработка металлов лазером - самый технологичный и выгодный способ обработки практически любого типа металла. В отличие от других технологий обработки, лазерная обработка практически не наносит ущерба металлу, так что в большинстве случаев он не требует дальнейшей обработки.

По сравнению, с механической резкой, обработка металлов лазером позволяет значительно сэкономить на материале. Специальные программы в составе программного обеспечения лазерного станка помогают инженеру определить наиболее экономичный способ изготовления продукции их заготовок.[1]

Ниже (Рис.1) приведена общая структурная схема лазерной технологической установки.[2]

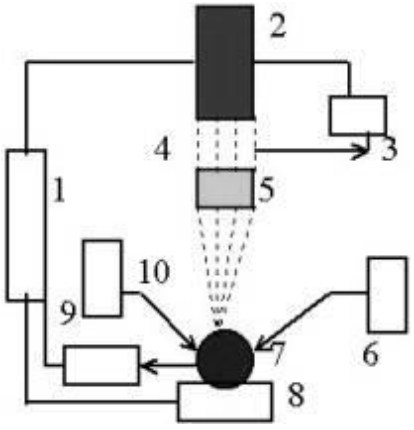


Рис.1

Основные элементы системы (см. Рис.1): 1 - программное устройство; 2 - лазер; 3 - датчик параметров излучения; 4 – лазерное излучение; 5 - оптическая система; 6 - источник вспомогательной энергии; 7 - обрабатываемая деталь; 8 - устройство для закрепления и перемещения обрабатываемой детали; 9 - датчик параметров технологического процесса; 10 - устройство подачи технологической среды.

Источником энергии во всех установках является лазер 2 с оптической системой 5. Перемещением образца (устройство 8), параметрами лазера (датчик 3), остротой фокусировки и отслеживанием состояния поверхности обработки (датчик 9) управляют с помощью программного устройства 1. Иногда для обработки возникает необходимость в дополнительной энергии (механической, электромагнитной, световой, ионной, электрической, тепловой и др.) или в создании определенной технологической среды (газовой или жидкостной, защитной или реактивной). Для этого предусмотрены соответствующие узлы 6 и 10. Одним из важнейших и сложных узлов в лазерном оборудовании является оптическая система.

С помощью систем лазерной обработки можно создавать очень сложные объемные конструкции. Технология лазерной резки металла дает минимальное количество отходов из всех других прогрессивных способов обработки металла. Также лазерная обработка позволяет обрабатывать самые хрупкие металлы, их сплавы и другие материалы и изготавливать детали без краевых дефектов с точностью до пятидесяти микрон. Технологии лазерной резки доступно мелкосерийное и даже штучное изготовление с минимальными временными и материальными затратами, так как процесс настройки комплекса на любую деталь шаблонизирован на уровне технологии и аппаратуры, а значит прост и быстр.

К недостаткам промышленных лазеров относится невозможность резать металл толщиной более двадцать миллиметров.

Заключение. В данной статье было рассмотрено применение лазерной обработки металлов на машиностроительном предприятии. Был изучен принцип работы лазерного устройства, выяснены достоинства и недостатки лазерных систем.

Список литературы

[1]. *Беленький В.Я., Язовских В.М..,* Электронно-лучевая, лазерная и ионно-лучевая обработка материалов, — Пермь, 2000 – 78 с.

[2]. *Дальский А.М., Барсукова Т.М., Бухаркин Л.Н.,* Технология конструкционных материалов — Москва, Машиностроение, 2004 – 89 с.

Кузнецов Иван Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: van-cuznetsow@yandex.ru.

Баринова Дарья Андреевна — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: daria.barinova2016@yandex.ru.

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

Д. М. Беспалов, Е. Н. Малышев

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ВАЛОВ

Приводится описание метода обработки длинных валов, позволяющего добиться увеличения производительности и качества обработанной поверхности. Приводится схема метода, принцип работы и необходимые расчетные формулы.

Ключевые слова:*вал, обкатник, ролик, ППД, деформирование, резание*

Одним из основных видов продукции в машиностроении являются валы, в связи с чем задача разработки и внедренияновых методов, а также инструментов и оснастки для обработки валовне теряет своей актуальности.

В частности, одной из наиболее трудоемких операций при обработке длинных валов (имеющих отношение длины к диаметру более 10–12) является их финишная обработка.Трудности при такой обработке связаны свибрациями, малой жесткостью заготовки, сложностью достижения заданного качества, точности и производительности, а также с отсутствием необходимого оборудования.

С целью повышения жесткости длинных цилиндрических заготовок для повышения производительности и качества обработки, как правило, применяются различные подводимые опоры (например, люнеты). При этом схема установки люнетов, их конструкция, характер закрепления и выбор технологических баз оказывают решающее влияние на производительность обработки и точность диаметральных размеров вала.

Был произведен анализ различных схем обработки, который показал, что с точки зрения выбора конструкции и мест установки люнетов, а также их настройки, наиболее трудоемкаобработка валов в центрах. Выбор наружной поверхности вала в качестве технологической базы позволяет повысить производительность и точность обработки. Аналогом базирования валов по наружной поверхности является обработка на бесцентрово-шлифовальных станках.

Указанный метод обладает следующими недостатками: быстрое засаливание абразивных кругов (особенно при обработке незакаленных сталей); шаржирование обрабатываемой поверхности; ограниченная длина заготовки, обусловленная биением ее свободных концов, выходящих за пределы зоны шлифования; малая глубина резания.

Вместе с тем,существует прогрессивный и экономичный метод финишной обработки, сочетающий в себе и резание, и поверхностное пластическое деформирование (ППД) роликами. При помощи данного методаможно получить высокое качество поверхностного слоя и минимальную шероховатость обработанной поверхности, которая сравнима с достигаемой при хонинговании и суперфинишировании шероховатостью. Сущ-

ность предлагаемого метода [1], реализованного для валов диаметром 14–30 мм и длиной 500–4000 мм, сводится к следующему (рис. 1).

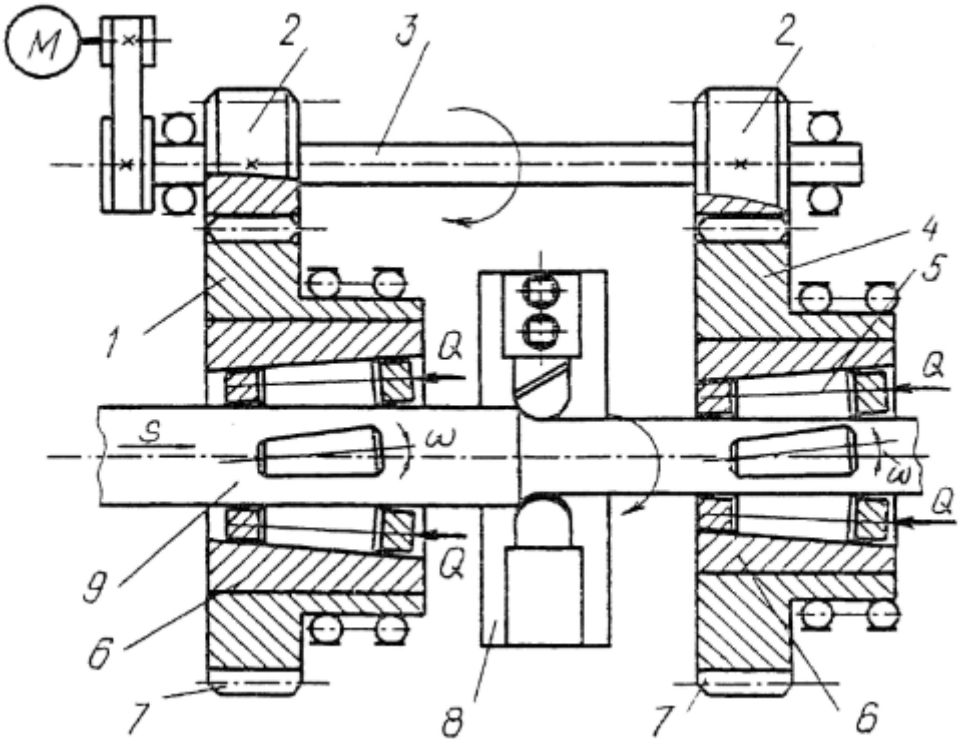


Рис. 1. Схема комбинированной обработки длинного вала

Между двумя обкатниками *1* и *4*, установленными соосно, расположена резцовая головка *8*. Обкатники приводятся во вращение посредством зубчатых венцов *7*, которые зацепляются с зубчатыми колесами *2*, установленными на приводном валу *3*. Деформирующие ролики *5*, установленные в обкатниках, вращаются в результате фрикционного взаимодействия с опорными конусами *6*.

Обрабатываемая заготовка *9* вращается под действием роликов, нагруженных в осевом направлении постоянным усилием *Q*. Подача жезаготовкив продольном направлении происходит посредством самозатягиванияиз-за установки роликов под углом ω оси.

Перед началом обработки (при включенном приводе вала *3*) заготовка правым концом подводится к роликам обкатника *1*, захватывается их коническими фасками и под воздействием усилия самозатягивания перемещается вправо. Затем она входит в контакт с резцами головки *8* (при этом происходит снятие припуска), после чего обкатник *4* окончательно обрабатывает все методом ППД.

Обкатник *1*предназначен только для создания крутящего момента и самозатягивания заготовки, а обкатник *4* – для окончательной упрочняюще-чистовой обработки. При указанной схеме осуществляется обработка валов напроход, что создает предпосылки для автоматизации процесса. Для обеспечения надежного совмещенного процесса (резания и ППД) кру-

тящий момент, создаваемый роликами обкатников, должен превышать крутящий момент, возникающий при резании.

Для обеспечения процесса ППД максимальное напряжение в области контакта должно превышать предел текучести. Тангенциальное усилие $P_{дz}$ деформирования, создающее крутящий момент, которое преодолеваеттангенциальную составляющую P_z силы резания, определяется по формуле:

$$P_{дz} = P_{ду} \cdot f \cdot z, \quad (1)$$

где $P_{ду}$– радиальная составляющая усилия деформирования, создаваемая одним роликом; f– коэффициент трения в контакте роликов с заготовкой; z– число роликов в обкатнике.

Тангенциальная составляющая силы резания:

$$P_z = 10C_P \cdot s^y \cdot t^x \cdot v^m \cdot K, \quad (2)$$

где C_p, y, x, t, K– коэффициенты, выбираемые по справочнику [2]; s– подача заготовки, мм/об;t–глубина резания, мм; v– скорость резания (обкатывания), мм/мин; P_z– в Н.

Решая совместно уравнения (1) и (2), получимзначения максимально возможных глубины резания и подачи для заданных условий обработки:

$$t = \left(\frac{P_{ду} \cdot f \cdot z \cdot \eta}{10C_P \cdot s^y \cdot v^m \cdot z_p \cdot K} \right)^{1/x}; \quad (3)$$

$$s = \left(\frac{P_{ду} \cdot f \cdot z \cdot \eta}{10C_P \cdot t^x \cdot v^m \cdot z_p \cdot K} \right)^{1/y}, \quad (4)$$

где η<1– коэффициент запаса, обеспечивающийстабильность процесса обработки; z_p– число резцов в резцовой головке.

Графики, соответствующие выражениям (3) и (4),приведены на рис. 2.

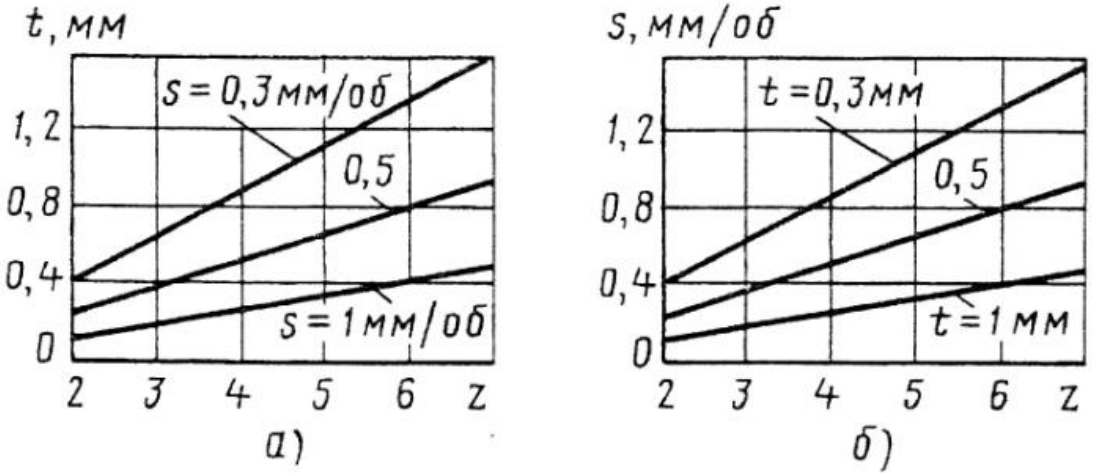


Рис. 2. Зависимости глубины резания t(а) и подачи s (б) от числа zроликов в обкатнике (z_p = 2; η = 0,8)

Для того чтобы добиться повышения производительности и приведения к нулю равнодействующей сил резания в плоскости, перпендикуляр-

ной к оси заготовки, необходимо установить равномерно по окружности заготовки несколько резцов. При этом настройку на размер можно осуществлять как от наружной поверхности заготовки, так и от фиксированной оси вращения.Вопервомслучае глубина резания постоянная благодаря тому, что резцы подвижны в радиальном направлении и натружены постоянным усилием, равным радиальной составляющей силы резания, вычисленной для заданных условий обработки.А вот во второмслучае глубина резания переменная вследствие биения и некруглости заготовки, а также погрешности настройки резцов на заданный размер.

Обкатники должны автоматически поднастраиваться на нужный размер, поскольку поставляемые заготовки имеют большой допуск на диаметр и некруглость.Такая поднастройка достигается благодаря постоянному усилию деформирования в результате нагружения роликов в осевом направлении заданной силой *Q*. При изменении действительного диаметра заготовки в пределах допуска ролики под действием усилия деформирования смещаются в осевом направлении (в ту или иную сторону в зависимости от знака изменения диаметра), а, следовательно, и в радиальном направлении вследствиеконусности опорного конуса.

При совместной работе двух обкатников необходимо, чтобы они обеспечивали одинаковую частоту вращения заготовки. Однако во второй обкатник поступает часть заготовки меньшего диаметра, чем исходный (по причине снятия припуска). Вследствие этого создается разность частот вращения.

При вращении опорного конуса с частотой $n_к$частота вращения заготовки будет равна:

$$n_з = \frac{n_к \cdot r_к}{r_з}, \tag{5}$$

где $r_к$ и $r_з$ – радиусы конуса и заготовки в сечении, проходящем через точку наибольшего внедрения ролика в заготовку.

При уменьшении радиуса заготовки на величину припуска*t* ролики во втором обкатнике смещаются в радиальном направлении относительно конуса на такую же величину. При этом создаваемая вторым обкатникомчастота вращения заготовки изменяется на величину:

$$\Delta n_з = \left(\frac{r_к}{r_з} - \frac{r_к - t}{r_з - t} \right). \tag{6}$$

Если принять $\Delta n_з = 0$, то равенство (6) выполняется только при $t = 0$.

Чтобы добиться равенства частот вращения, создаваемых обоими обкатниками, следует либо снабдить их отдельными приводами, которые обеспечивали бы равную частоту вращения (что требует применения адаптивного управления процессом обработки и вызывает определенные сложностипри его реализации), либо соответствующим образом изменить в одном из обкатников диаметры опорного конуса и роликов.

Поскольку глубина резания и диаметр детали заданы, то в уравнении (6) с учетом требования $\Delta n_з = 0$ соответствующий радиус сечения опорного

конуса второго обкатника следует изменить на $\Delta r_к$. Тогда из уравнения (6) находим:

$$\Delta r_к = r_к - \frac{r_к}{r_з}\left(r_з - t\right). \qquad (7)$$

Так как между заготовкой и опорным конусом расположены деформирующие ролики, то для любых размеров заготовки и роликов должно выполняться следующее условие:

$$r_к = 2r_р + r_з. \qquad (8)$$

Решая совместно уравнения (7) и (8), найдем новое значение радиуса $r'_р$ роликов, установленных во втором обкатнике, которое обеспечивало бы постоянство частот вращения (т. е. $\Delta n_з = 0$):

$$r'_р = r_р + \frac{t\left(r_к + r_з\right)}{2r_з}. \qquad (9)$$

Пусть на обработку поступила очередная заготовка с действительным радиусом $r_з = r_п + \delta$, где $r_п$– радиус предыдущей заготовки; δ– приращение радиуса, вызванное случайными факторами. Тогда в первом обкатнике ролики сместятся в радиальном направлении на величину δ. Но поскольку резцы головки настраивают на глубину резания от наружной поверхности заготовки, то ролики во втором обкатнике сместятся в радиальном направлении на такую же величину. Следовательно, при изменении размеров заготовок в партии в пределах допуска оба обкатника будут обеспечивать одинаковую частоту вращения заготовки.

Вывод: затратив небольшие усилия на расчеты и специальное устройство для осуществления обработки указанным в статье методом, можно получить высокопроизводительную схему обработки длинных валов. Такая схема позволяет получать достаточно высокое качество поверхностного слоя и низкую шероховатость; возможна автоматизация данного процесса, что благоприятно сказывается на его производительности.

Список литературы

[1]. Патент 2247016 РФ, МПК В 23 Р 23/04. Способ комбинированной режуще-деформирующей обработки и устройство для его осуществления.

[2]. Справочник технолога-машиностроителя. – В 2 т. / Под ред. Дальского А. М., Косиловой А. Г., Мещерякова Р. К., Суслова А. Г. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 1. – 912 с.

[3]. Журавлев А. И., Никифоров Н. И., Отений Я. Н. Комбинированная обработка длинных валов // СТИН. – 2006. – №6. – с. 36 – 38.

Беспалов Дмитрий Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bespalovjr@gmail.com.

Малышев Евгений Николаевич – канд. техн. наук, заведующий кафедрой "Технологии машиностроения" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.

И. Ю. Беляев, В. В. Калмыков

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СТАНКОВ ЧПУ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Ключевые слова:*системы автоматизированного проектирования, системы автоматизации программирования, станки с ЧПУ, подготовка управляющих программ, языки программирования.*

Применение ЭВМ для автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ требует разработки специального программно-математического обеспечения, реализующего комплекс алгоритмов для решения геометрических задач подготовки управляющих программ и проблемно-ориентированный язык для записи и ввода в ЭВМ исходной информации. Это программно-математическое обеспечение принято называть системой автоматизации программирования для станков с ЧПУ.

Развитие и широкое распространение в промышленности средств вычислительной техники, применение ЭВМ для управления участками станков и создания автоматизированных рабочих мест – все это создает предпосылки для полного перехода на автоматизированную подготовку управляющих программ для станков с числовым программным управлением.При этом неизбежно слияние систем автоматизации программирования изготовления изделий с системами автоматизации их проектирования, что связанно с решением насущного вопроса производства – комплексной автоматизации проектирования и производства.[1]

Языки программирования –этоязыки представления описаний объекта проектирования и их преобразования.Языки программирования используют для представления описания способа решения задач в форме конечной последовательности действий для исполнения компьютером.Машинным называют язык программирования, предназначенный для представления программ в форме, позволяющей выполнять их техническими средствами.Важность выбора языков при разработке систем автоматизированного проектирования технологических процессовочень высока. Все языковые проблемы не могут быть решены введением одного единого языка проектирования, как правило, мало известный проектировщику и создающего для него сложности при использовании системы. Данные обстоятельства привели к необходимости специальных языков, превращающие систему в собеседника. В результате были созданы проблемно-ориентированные языки. Проблемно-ориентированные языки по своей сути – это комплекс лингвистических и программных средств. К ним предъявляют следующие требования:

- наличие набора средств для решения задач;

- расширение функциональных возможностей и переход к более высокому уровню их организации;
- возможность использования аббревиатур терминальных символов и символов-синонимов;
- наличие средств для выявления синтаксических ошибок;
- возможность работы с использованием принципа «умолчания», когда система выбирает дальнейший путь решения по типовой схеме, если пользователь не указывает иной путь.

Возможности проблемно-ориентированных языков имеют исключительно важное значение при автоматизированном проектировании. Они не только непосредственно влияют на производительность и уровень автоматизации проектирования. Интерфейс в значительной степени зависит от возможности проблемно-ориентированных языков. Их становление и развитие, составили основу лингвистического обеспечения систем автоматизированного проектирования технологических процессов, исторически связанно с решением проблемы автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.Управляющая программа является упорядоченным набором команд, при помощи которых определяется перемещение исполнительных органов станка и различные вспомогательные функции[1].

Управляющая программа для системы с ЧПУ – это совокупностьэлементарных команд исполнительным механизмам системы, записанных вкодированном виде и в технологической последовательности обработки детали. Причём, вид элементарных команд всегда зависит от типа собственно системы ЧПУ станка и кодового языка или языка программирования, принятого для данной системы. Первоначально управляющая программа составляется в рукописном виде (желательно на специальном бланке). Затем при необходимости производится её запись на программоноситель и контроль с последующей распечаткой программы.Подготовка управляющей программы в неавтоматизированном режиме включает в себя проектирование операции, выполняемой на станкесЧПУ[2].

Все управляемые компьютером машины способны точно контролировать движения в различных направлениях. Каждое из этих направлений движения называется осью. В зависимости от типа машины обычно от двух до пяти осей [3].

Большое число действий, очень высокая трудоемкость и стоимость подготовки управляющих программ сделали актуальной проблему автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Данная проблема была решена системами автоматизированного программирования.

Основу любой системы автоматизации программированиясоставляет проблемно-ориентированные языки, описание номинальных геометрических параметров заготовки в состоянии, соответствующем завершению ее обработки на станке с ЧПУ, параметры применяемого инструмента, режимы обработки, желательное направление относительного движения инструментаи

заготовки. На основе данных, введенных в программу, написанную на проблемно-ориентированных языках, системы автоматизации программирования обеспечит выполнение необходимых промежуточных расчетов траектории относительного движения инструмента и заготовки, автоматическое кодирование геометрической и технологической информации, перенос управляющей программы на программоноситель. Пользователь получает практически готовую для отладки управляющую программу достаточно высокого качества. Кроме того, он при необходимости имеет возможность вмешаться в процесс подготовки, который может протекать как в пакетном, так и диалоговом режимах. Средства визуализации траектории относительного движения инструмента и заготовки позволяют оптимизировать ее параметры[4].

Современной, отечественной CAM-системой является SprutCAM. SprutCAM – система генерации управляющих программ для обработки деталей на фрезерных, токарных, токарно-фрезерных, электроэрозионных станках, обрабатывающих центрах с ЧПУ и промышленных роботах. Функциональное наполнение системы содержит стратегии от 2.5-й индексной до 5-ти осевой непрерывной обработки. SprutCAM обеспечивает возможность разработки управляющих программ для любых типов токарного и токарно-фрезерного оборудования, в том числе с противошпинделем. Поддерживаются схемы станков с любым расположением и количеством инструментальных систем. Менеджер синхронизации обработки позволяет получать УП для синхронной обработки несколькими исполнительными органами станка и несколькими промышленными роботами.[5]

SprutCAM интегрирован с такими конструкторскими системами как: AlibreDesign; AutoCAD,MechanichalDesktop; FreeCAD;Inventor; КОМПАС-3D; PowerShape; RhinoCeros; SolidEdge; SolidWorks[5].

Список литературы

[1]. Ловыгин А.А., Васильев А.В., Крицков С.Ю. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система. М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с., ил.

[2]. И.И. Колтунов, А.С. Лобанов. Разработка управляющих программ для систем ЧПУ: учебное пособие. М.: МГТУ «МАМИ», 2011. 81 с.

[3]. A. Overby. *CNC machining handbook.* McGraw-Hill Book Company, 2011.

[4]. Кондаков А. И. САПР технологических процессов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. И. Кондаков. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 272 с.

[5]. [Электронный ресурс] О компании СПРУТ-Технология http://www.sprut.ru/company/about

Беляев Игорь Юрьевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: justhiigor@yandex.ru.

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преп КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru.

УДК 621.0

Ю.Ю. Сазонова, Д.А. Баринова, И.В. Кузнецов

ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАНКОВ С ЧПУ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье рассматривается вопрос о применении станков с ЧПУ на производстве. Рассказывается о том, что такое станок с ЧПУ, принцип его работы. Рассматриваются основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: *машиностроение, ЧПУ, производство, станок, механическая обработка.*

Введение. Одним из актуальных направлений в технологии машиностроения является автоматизация процессов механической обработки. Автоматизация — одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций.

Автоматизацию механической обработки и сборки в различных областях машиностроения с мелкосерийным и серийным характером производства осуществляют на основе растущего использования станков с числовым программным управлением.

Объект исследования. Под числовым программным управлением (ЧПУ) понимают управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные приведены в числовой форме.[1]

Преимущества станков с ЧПУ. Главным превосходством станков с ЧПУ, по сравнению со станками с ручным управлением, считается повышенная точность обработки. На точность станков с ЧПУ влияет ряд факторов: точность станка, точность системы управления, погрешности установки заготовки и др. Точность станка в ненагруженном состоянии называют геометрической. В зависимости от точности характеристики станки с ЧПУ подразделяют в порядке возрастания точности на четыре класса: Н (нормальный), П (повышенной точности), В (высокой точности) и А (особо высокой точности). Станки классов В и А изготавливают в специально конструктивном исполнении с высокой точностью ответственных деталей и узлов.[3]

Повышение точности обработки достигается высокой точностью изготовления и жесткостью станка, превышающей жесткость обычного стан-

ка того же назначения, для чего производят сокращение длины его кинематических цепей: применяют автономные приводы, по возможности сокращают число механических передач. Приводы станков с ЧПУ должны также обеспечивать высокое быстродействие. Повышению точности способствует и устранение зазоров в передаточных механизмах приводов подач, снижение потерь на трение в направляющих и других механизмах, повышение виброустойчивости, снижение тепловых деформаций, применение в станках датчиков обратной связи. Для уменьшения тепловых деформаций необходимо обеспечить равномерный температурный режим в механизмах станка, чему, например, способствует предварительный разогрев станка и его гидросистемы. Температурную погрешность станка можно также уменьшить, вводя коррекцию в привод подач от сигналов датчиков температур.

Операторы могут максимизировать использование сырья, материалов и минимизировать отходы, что позволит компании увеличить прибыль за счет оптимального использования сырьевых материалов.

Станки с ЧПУ позволяют автоматизировать практически все процессы, поэтому у операторов нет нужды взаимодействовать с опасным оборудованием.

Станки с ЧПУ способствуют сокращению потребности в квалифицированных рабочих.

Недостатки станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ являются дорогостоящими по сравнению со станками с ручным управлением, поэтому их использование выгодно лишь в долгосрочной перспективе. Внедрение станков с ЧПУ в производство приводит к сокращению числа рабочих мест.

Заключение. Таким образом, применение станков с ЧПУ представляет собой новый качественный этап, как в автоматизации механического производства, так и в машиностроении в целом.

Список литературы

[1]. *Гжиров Р.И., Серебреницкий П.П.,* Программирование обработки на станках с ЧПУ— Ленинград «Машиностроение», 1990 – 465 с.

[2]. *Ловыгин А.А.Васильев А.В.,* Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM система — «Эльф ИПР», 2006 – 23 с.

Сазонова Юлия Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sazonowajulya2016@yandex.ru.

Баринова Дарья Андреевна — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: daria.barinova2016@yandex.ru.

Кузнецов Иван Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: van-cuznetsow@yandex.ru.

Б.Н. Агеев

УПРАВЛЕНИЕ ТОЧНОСТЬЮ НАЧАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВОК

В современной промышленности повышение производительности механической обработки возможно при уменьшении вспомогательного времени с помощью применения прогрессивной технологической оснастки. Погрешности базирования и силового замыкания, которые возникают на этапе установки заготовок, могут быть значительно сокращены за счёт использования систем адаптивного управления. Во время обработки заготовок корпусных деталей обычно используют базирование по плоскости и двум базовым отверстиям. Для этого применяют установочные пальцы: цилиндрический 1 и срезанный 2 в направлении перпендикулярном к линии центров базовых отверстий.

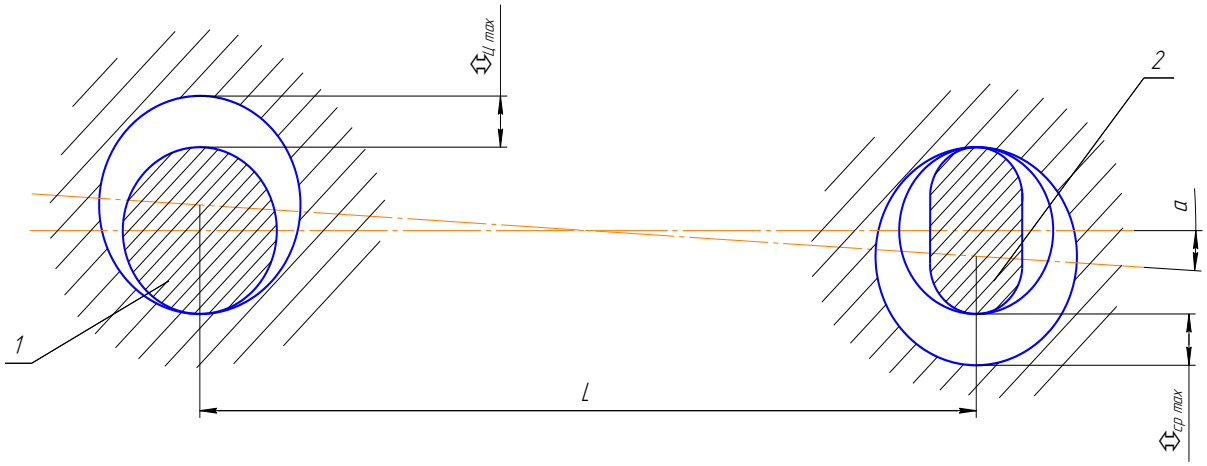


Рис 1. Схема зазоров в сопряжении «установочный палец-базовое отверстие»

При установке данным способом возникает погрешность, которая обусловлена наличием зазоров в сопряжении «палец базовое отверстие».

Из-за наличия погрешности установки появляются погрешности обработки, которые особенно заметны при выполнении, финишной операций. Погрешности обработки смещение осей растачиваемых отверстий, отклонение относительно положения осей отверстий и плоских поверхностей возникают из-за поворотов заготовок за счет зазоров в сопряжениях. В пределах этих зазоров заготовки при установке занимают случайные положения. Возможный угол поворота заготовки

$$tg\ a = (\Delta_{ц\,max} + \Delta_{ср\,max})/L$$

где $\Delta_{ц\,max}$ наибольший радиальный зазор между цилиндрическим пальцем 1 и базовым отверстием; $\Delta_{ср\,max}$ наибольший радиальный зазор между срезанным пальцем 2 и поверхностью отверстия; L - расстояние между центрами базовых отверстий [1].

Чтобы повысить точность установки заготовок, уменьшить влияние износа установочных элементов на точность обработки применяют три типа установочных пальцев.

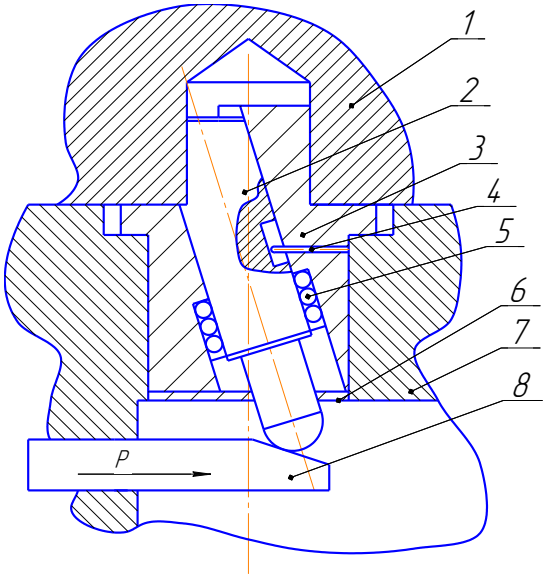


Рис 2. Установочный палец с выдвижным фиксатором

Установочные пальцы первого типа состоят из корпуса 3, который запрессован в приспособлении 7, цилиндрического штыря 2, находящегося в наклонном отверстии. Штырь поджат пружиной 5 и предохраняется от выпадения посредством крышки 6. От поворота вокруг собственной оси он фиксируется штифтом 4, который служит также ограничителем его хода. Верхняя часть корпуса первого установочного пальца имеет цилиндрическую форму, второго ромбического. Диаметральные размеры этих пальцев выполняются с учётом стандартного зазора в сопряжении «базирующее отверстие в детали 1 - палец». Нижний сферический конец штыря контактирует со штоком 8, который установлен в приспособлении. Конец штока выполнен в виде клина.

Чтобы установить заготовку, её базирующие отверстия одевают на пальцы.

Штоки находятся в левом положении, штыри – в нижнем. Под воздействием усилия Р штоки перемещают штыри вверх, фиксируя заготовку. Зазор в спряжении всегда выбирается в одном направлении. Штыри возвращаются в исходное положение под действием пружин. В качестве привода используются ручные или механизированные устройства.

Установочные пальцы второго типа выполнены в виде упругих элементов. Один из установочных пальцев представляет собой трёхлепестковую сферическую упругую цангу, второй - сферическую ромбическую двух-лепестковую цангу. Пальцы состоят из корпуса 3. По центру корпуса выполнено отверстие с коническим углублением, в котором расположена сферическая головка регулировочного винта 4. Во избежание

попадания стружки и грязи внутрь отверстия использована резиновая прокладка 2. Пальцы запрессовывают в корпус приспособления 5, установочные пальцы изготавливают из стали 65Г с диаметральным размером сферы, на 0,1 мм превышающим диаметральный размер базирующего отверстия [2]. При установке заготовки 1 лепестки цанг разжимаются, плотно касаясь поверхности базирующих отверстий, обеспечивая точную установку заготовки. В случае износа пальцев в процессе эксплуатации с помощью сдвига осуществляют регулировку размера диаметра сферы цанги.

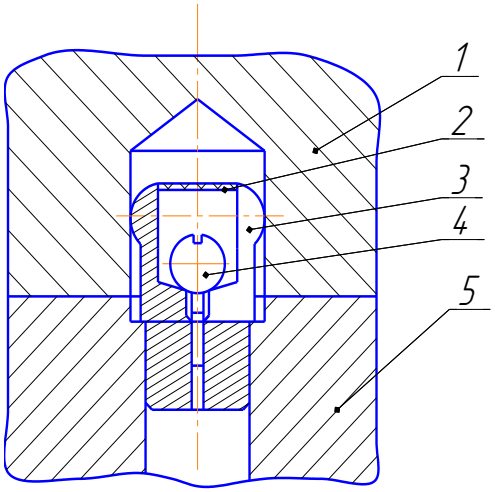


Рис 3. Регулируемый установочный палец

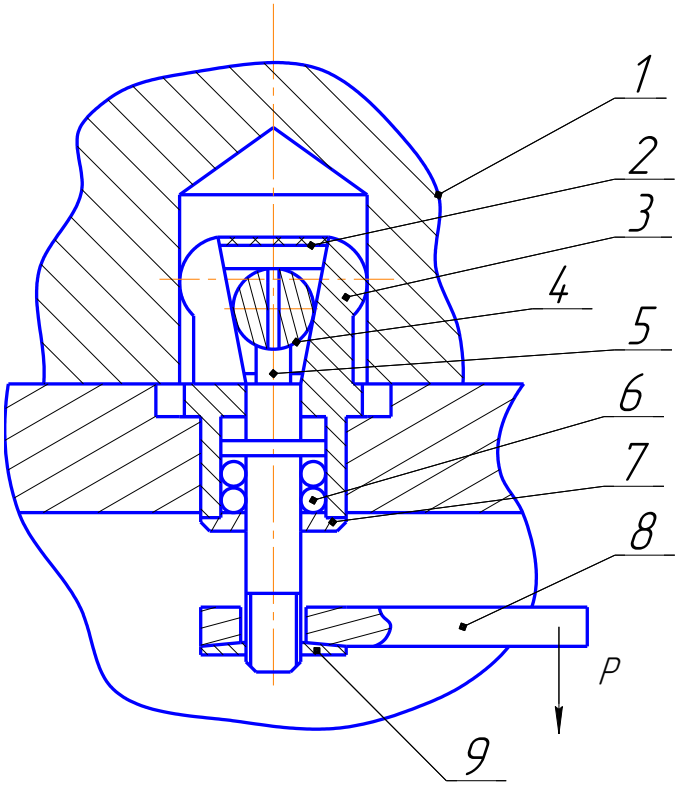


Рис 4. Сферический цанговый палец

Конструкции установочных пальцев третьего типа также представляют собой сферические упругие цанги. Эти установочные пальцы состоят из корпуса 3, по центру которого выполнено комбинированное отверстие, с установленным в нём штоком 5, поджатым пружиной б, которая фиксируя крышкой 7. На конце штока закреплена сфера 4, контактируя с коническим отверстием внутри цанги. Отверстие закрыто резиновой прокладкой 2. На конце штока расположена сферическая шайба 9. Такими шайбами закреплена качающаяся планка 8, соединяющая штоки обоих пальцев и связанная с приводом, создающим усилие Р [2]. Заготовку устанавливают на пальцы; планка, опускаясь вниз, перемещает в этом же направлении штоки пальцев. Вследствие этого сферы расклинивают цанги установочных пальцев, обеспечивая надежное и точное центрирование заготовки. Износ установочных пальцев компенсируется автоматически.

Наиболее технологичным вариантом управления точностью начальной установки заготовок корпусных деталей является использование самоустанавливающихся пальцев

Список литературы:

[1]. Блюменштейн В.Ю., Клепцов А.А. «Проектирование технологической оснастки». М., «Лань», 2014.

[2]. Брюханов В.Н., Косов М.Г. «Теория автоматического управления». М., «Высшая школа», 2003.

[3]. Данилевский В. В. «Технология машиностроения». М., «Высшая школа», 1977.

Агеев Борис Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ageevboris58@gmail.com.

УДК 621.791.059 + 621.794.61 + 669.295.5

Т.А. Пороваева, В.К. Шаталов

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ОКСИДИРОВАННЫМИ ПРИСАДОЧНЫМИ ПРУТКАМИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В технологии машиностроения как одной из наиболее развивающихся областей технических наук разрабатываются способы технологического обеспечения и повышения качества изделий машиностроения с наименьшей себестоимостью выпуска. Качество поверхностного слоя детали оказывает непосредственное влияние на такие свойства детали как прочность, износостойкость, коррозионная стойкость и др. Высокая активность титана обусловливает его склонность к задирам, малые нагрузки схватывания и, как следствие, низкие антифрикционные свойства. Это делает невозможным применение титана и его сплавов в узлах трения машиностроительных конструкций без поверхностно упрочненной обработки [1]. Одним из способов упрочнения поверхностного слоя является оксидирование. Различают несколько методов оксидирования: химическое, термическое, анодное (электрохимическое), плазменное (микродуговое и др.). **Термическое оксидирование** проводят в нагревательных печах, при этом процесс образования оксидной пленки на металле происходит при повышенных температурах в кислородсодержащих средах. **Микродуговое оксидирование (МДО)** позволяет получить многофункциональные оксидные слои с высокими защитными, коррозионными, теплостойкими, изоляционными, декоративными свойствами. В процессе нанесения покрытия возникают микроразряды, которые оказывают плазмохимическое и термическое воздействие на изделие и электролит. Для улучшения свойств контактных поверхностей пар трения и соединения поверхностей деталей, изготовленных из титановых сплавов, используются наплавки, которые являются присадочными прутками из сварочной проволоки [2].

Для решения конкретных задач повышения эксплуатационных характеристик деталей был проведен эксперимент, где необходимо установить степень влияния МДО на качество поверхностного слоя наплавок. Наплавка выполнялась ручным способом с неплавящимся вольфрамовым электродом присадочными прутками, диаметром 4 мм и длиной 400 мм. Материал пластины - 5В, титановый деформируемый сплав, используемый для производства сортового проката, изготовления слитков и полуфабрикатов, для изготовления деталей специальной техники, деталей авиастроения и приборостроения. Перед наплавкой сварочные прутки ВТ6св были под-

вергнуты МДО в фосфатно-алюминатном электролите $NaAl_2O_3$ (15 г/л) + Na_3PO_4 (15 г/л). Напряжение между электродами 300 В. Многочисленные локальные разряды приводят к возникновению на поверхности титанового сплава оксидного слоя, скорость роста которого быстро убывает со временем. В воздухе всегда содержатся пары воды. Взаимодействие титана с парами воды описывается реакцией:

$$Ti + H2O \rightarrow TiO2 + H2 + [H]Ti,$$

где [H]Ti — водород, адсорбированный титаном.

Таким образом, при взаимодействии титана с парами воды на поверхности металла образуется оксид и водород, который частично образуя молекулы, уходит в атмосферу, а остальная его часть уходит в титан. Часть ионов титана уходит в электролит, проходя через поры без образования окисла, наблюдается растворение металла, в то время как вдоль стенок пор нагрев увеличивает подвижность ионов Ti^{4+}, которые рекомбинируют на поверхности с ионами ОН электролита и образуют оксид титана, обеспечивая таким образом рост слоя [3]. Оксидный слой формируется следующим образом: приблизительно на 70 % вглубь основного металла, а 30 % покрытия на поверхности изделия.

Для определения совокупности эксплуатационных свойств полученных наплавок были проведены испытания образцов на сжатие. Наплавку №1 производили на пластину из титанового сплава 5В прутками с предварительной обработкой МДО. Наплавку №2 - на пластину из сплава 5В прутками с предварительным термическим и микродуговым оксидированием. Результаты испытания представлены на рис. 1.

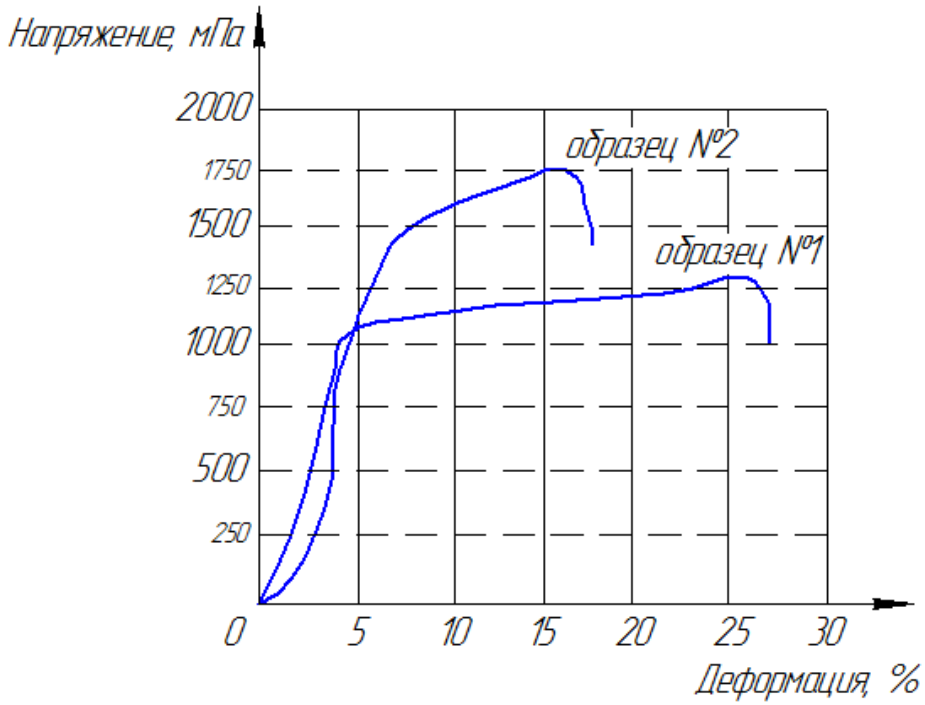


Рис. 1 Диаграммы сжатия образцов

В ходе анализа результатов механических испытаний был установлено, что при использовании МДО (образец №1) прочность материала увеличивается до 1300 мПа, а при использовании термического оксидирования совместно с МДО (образец №2) прочность повышается до 1750 мПа, но при этом наблюдается снижение пластичности в 1,5 - 1,75 раза. Это связано с тем, что увеличивается процентное соотношение кислорода в присадочных прутках при их термическом оксидировании, но следует заметить, что МДО обеспечивает более высокую производительность и низкую себестоимость по сравнению с термическим оксидированием. Технологии производства изделий из высокопрочных титановых сплавов со специальной микроструктурой и свойствами поверхностного слоя после МДО позволяют в дальнейшем использовать их в экстремальных условиях эксплуатации.

Список литературы

[1]. Горынин И.В., Ушков С.С., Хатунцев А.Н., Лошакова Н.И. *Титановые сплавы для морской техники*. СПб.: Политехника, 2007, 387 с.

[2]. Фатиев И.С., Шаталов В.К., Михайлов В.И., Васин С.А., Грошев А.Л. Свойства антифрикционных наплавок на титановые сплавы оксидированными присадочными прутками. *Наукоемкие технологии*, 2013, № 7, с. 35–42.

[3]. Шаталов В.К., Лысенко А.Л. *Закономерности роста оксидных пленок при микродуговом оксидировании титановых сплавов*. В.К. Шаталов В.К., ред. Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010, 99 с.

Пороваева Татьяна Александровна — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Glancet@yandex.ru.

Шаталов Валерий Константинович — д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Технологии обработки материалов» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vkshatalov@yandex.ru.

А.Н. Прохоров, Е.Н. Малышев

ШЛИФОВАНИЕ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматривается технология шлифования с параметрической осцилляцией. Рассматривается конструкция применяемого инструмента. Данный способ шлифования является высокопроизводительным и позволяет достичь высокого качества поверхности.

Ключевые слова: *Шлифование, параметрическая осцилляция, шлифовальный круг, абразивный диск.*

В современном машиностроении повышение качества продукции связано в первую очередь с процессами чистовой, упрочняюще-чистовой и отделочной обработки, в том числе шлифовальных, хонинговальных, полировальных и других операций. В некоторых отраслях объем такой обработки достигает до 70% и постоянно растет. Доля финишных операций, выполняющихся абразивным инструментом, составляет около 80%.

Процессы алмазно-абразивной обработки достаточно производительны и позволяют достичь высокого качества поверхности, но им присущи серьезные недостатки, прежде всего высокие контактные температуры, вызывающие появление прижогов, растягивающих напряжений и микротрещин в поверхностном слое деталей.

Существует ряд способов повышения производительности и точности шлифования путем направленного изменения условий взаимодействия элементов технологической системы, например, обработка прерывистыми шлифовальными кругами (ШК), имеющими на рабочей поверхности ряд чередующихся выступов и впадин [1]. При обработке такими ШК температура в зоне резания и вероятность появления прижогов заметно снижается.

Прерывистые ШК имеют в своей конструкции несколько абразивных дисков (АД), установленных под острым углом α к оси вращения ШК (рис.1).

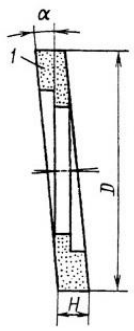


Рис.1. Вариант конструкции абразивного диска

При такой установке АД зона резания и тепловое поле смещаются по обрабатываемой поверхности не только в радиальном, но и в осевом направлении, образуя «бегущий» контакт ШК с заготовкой, называемый параметрической осцилляцией (ПО) [1]. Амплитуда A_0 осевой осцилляции (рис. 2) зоны резания зависит от значения утла α.

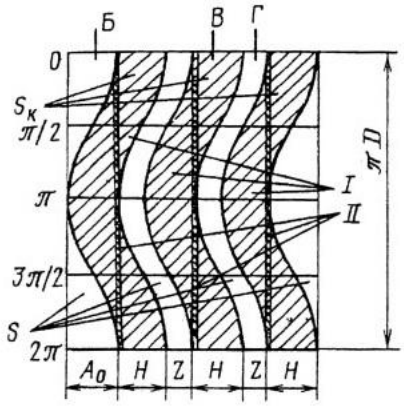


Рис.2. Развертка следа абразивного диска на обработанной поверхности (I — зона прерывистого шлифования; *II* — зона сплошного шлифования)

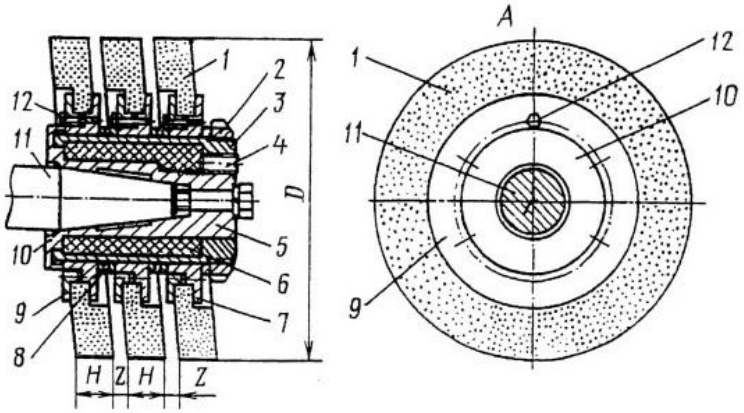


Рис.3. Конструкция сборного продольно-прерывистого ШК

Шлифование с ПО [2] осуществляют сборным ШК [3], конструкция которого представлена на рис. 3. Данный ШК состоит из единичных АД 1, закрепленных на общей оправке с зазором Z, который задается набором проставочных колец 8. При помощи гайки 2 АД предварительно крепят в осевом направлении. Число АД в ШК зависит от конкретных условий обработки. АД устанавливают на шпинделе 11 с помощью разжимной оправки 10, состоящей из корпуса 5, гильзы 3, резьбовой пробки 4 и гидропластмассы 6, играющей роль наполнителя.

Тонкостенная гильза 3 точно центрирует и равномерно закрепляет АД, которые предварительно устанавливают на фланцах 7 и закрепляют кольцами 9 с помощью шести болтов 12. Собранные ШК правят, а затем налаживают шлифовальный станок.

Согласно способу обработки с ПО и при неподвижном вдоль оси ШК может происходить прерывание процесса резания в ряде поперечных сечений обрабатываемой заготовки (например, в сечениях Б, В, Г (рис.2)). Это прерывание обусловлено также наклоном АД к оси вращения ШК и осевым зазором *Z* между ними.

Опыт эксплуатации прерывистых ШК [4] показал, что оптимальное соотношение между шириной впадин Z и выступов H составляет 1:2. Изменяя данное соотношение, можно регулировать температуру в зоне шлифования. Однако при этом следует учитывать износостойкость и режущую способность ШК. Отношение площади S детали, не контактирующей с ШК в течение одного оборота последнего, к площади SK контакта АД с обрабатываемой поверхностью, т. е. площади резания (заштрихованные участки на рис. 2), можно принять за коэффициент K_T, характеризующий степень снижения температуры в зоне шлифования:

$$K_T = \frac{S}{S_K} \tag{1}$$

Площади S и S_K определяют по формулам:

$$S \approx A_0 \cdot \pi \cdot D + Z \cdot (N-1) \cdot \pi \cdot D \tag{2}$$

$$S_K \approx \pi \cdot D \cdot H \cdot N \tag{3}$$

где D - диаметр ШК; N — число АД в сборном ШК.

Подставив соответствующие значения S и S_K в формулу (1), и преобразовав ее, получим:

$$K_T = \frac{A_0 + Z \cdot (N-1)}{H \cdot N} \tag{4}$$

Коэффициент K_T при режимах обработки, выбранных по существующим рекомендациям, нормативам и опыту эксплуатации ШК с ПО, принимает значения 0,2; 0,3; 0,5 и 0,75 для снижения температуры на 10; 20; 30 и 40 % соответственно.

Так как обработку производят с определенными интервалами, то температура в зоне шлифования для конкретного поперечного сечения заготовки снижается. Если предварительно рассчитать интервалы времени, то можно предсказать степень снижения температуры в зоне шлифования и избежать появления дефектов обработанной поверхности. Также данная конструкция ШК обеспечивает открытый доступ СОЖ в зону резания.

Итак, в зависимости от твердости материала заготовки, требуемой шероховатости обработанной поверхности и других конкретных условий можно регулировать теплонапряженность процесса обработки путем выбора геометрических параметров ШК (D, N, Z, α и H) и амплитуды A_0 осцилляции.

Способ шлифования с ПО может найти применение на любых металлообрабатывающих предприятиях, занимающихся шлифованием трудно-

обрабатываемых материалов, и позволяет повысить производительность обработки в 1,5 – 3 раза за счет оптимизации теплонапряженности процесса при обработке различных материалов и качество процесса за счет осцилляции зоны резания и прогнозирования снижения температуры в зоне контакта.

Список литературы

[1]. Афанасьев Б.И., Степанов Ю.С., Поляков А.И. Технология и инструмент для шлифования с параметрической осцилляцией// СТИН. – 2005. – № 12. – с. 28–31.

[2]. Пат. 2189301 РФ, МПК В 24 В 1/00, 7/00, 5/00, В 24D 5/00. Способ продольно-прерывистого шлифования.

[3]. Пат. 2188752 РФ, МПК В 24D 5/00. Сборный продольно-прерывистый шлифовальный круг.

[4]. Якимов А.В. Оптимизация процессов шлифования. – М.: Машиностроение, 1975. – 176 с.

Прохоров Алексей Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: P-r-o-l-e-X@yandex.ru.

Малышев Евгений Николаевич – канд. техн. наук, заведующий кафедрой "Технологии машиностроения" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru.

А.А. Ивашев, И.Ю. Беляев, М.В. Мусохранов

ЯВЛЕНИЕ СХВАТЫВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ КОНТАКТИРОВАНИЯ ДВУХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Ключевые слова:*схватывание, поверхностный слой, пластическое деформирование, трение скольжения.*

Комплексные исследования деталей авиационных двигателей (поршневых и реактивных), самолётов, автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин, металлорежущих станков, строительных и дорожных машин, машин пищевой, лёгкой горной и металлургической промышленности после их эксплуатации позволили установить, что процессы схватывания металлов возникают на поверхностях трения сопряженных деталей машин при сухом или полусухом трении скольжения, при отличных друг от друга условиях работы и приводят к износу.

Схватывание — явление прочного соединения металлов в результате взаимного трения или совместного деформирования при температуре ниже температуры рекристаллизации. При этом образуются прочные металлические связи в зонах непосредственного контакта поверхностей. В местах схватывания исчезает граница между соприкасающимися телами, происходит сращивание одно- и разноименных металлов [1].

На явлении схватывания при совместном пластическом деформировании металлов базируются технологические процессы холодной сварки металлов и получение биметаллов методом холодной прокатки. Схватывание между инструментом и обрабатываемым металлом наблюдается при обработке давлением, а при резании оно проявляется в виде наростообразования на резце[2].

В одном случае процесс схватывания развивается при малых скоростях скольжения и больших нормальных нагрузках в условиях незначительного фрикционного нагрева, когда средняя (объемная) температура в поверхностных слоях не превышает 100-150˚С. Это схватывание – схватывание Iрода.Оно развивается в результате интенсивной пластической деформации поверхностных слоев металла, приводящей к разрушению оксидных пленок и формированию контакта между чистыми поверхностями. В результате схватывания I рода происходят глубинное вырывание и перенос менее прочного металла на более прочный [3].

Схватывание II рода возникает при больших скоростях скольжения (1 м/с) и нагрузках, когда поверхностные слои интенсивно нагреваются до 400-1000˚С, что способствует термическому разупрочнению поверхностных слоев металлов. При этом в поверхностных слоях протекают диффу-

зионные процессы, приводящие к изменению химического состава и структуры контактирующих материалов. Схватывание II рода характеризуется интенсивным переносом материала с одной поверхности на другую [3].

При трении, схватывание является вредным сопутствующим процессом.

В обычных условиях, если приложить нагрузку к двум соприкасающимся металлическим образцам, чтобы обеспечить между ними достаточную площадь контакта (на расстояниях порядка межатомных), то в результате взаимодействия атомов произойдет схватывание поверхностей, представляющее собой спонтанный процесс, протекающий с выделением энергии [4].

Схватывание между металлами, покрытыми пленками окислов или другими химическими соединениями (сульфидами, хлоридами) и адсорбированными пленками без специальной полной очистки поверхностейбудет возможно при наличии условий для удаления пленок на достаточном числе участков и при сближении поверхностей на этих участках на межатомное расстояние [4].Такие условия могут быть в результате пластической деформации при действии одной только нормальной нагрузки в зависимости от соотношения механических свойств пленки и металла. Если сопротивление пленки деформированию значительно больше, чем сопротивление металла (твердость пленки выше твердости металла), то при достаточной нагрузке металл пластически деформируется. Пленка при этом не растекается, а разрывается на отдельные части, связанные с металлом, почти не изменяя общую площадь. Происходит выход основного металла в промежутки между частями пленки и совершается схватывание на чистых вновь образованных поверхностях металла. Если твердость пленки меньше твердости металла, то пленка деформируется вместе с металлом, не разрушаясь, схватывания не возникает.

Так как в процессе пластического деформирования материал упрочняется и твердость его повышается, то для условий схватывания важно, чтобы твердость пленки была выше не только начальной твердости металла, но и твердости при той степени пластической деформации, которая необходима для выхода металла к непосредственному контакту чистых поверхностей.

Из сказанного следует, что один и тот же металл, в зависимости от свойств пленок на его поверхности, может обладать способностью к схватыванию или такую способность не проявлять.

Схватывание между металлическими поверхностями при некоторых режимах трения без смазочного материала возникает сравнительно легко. Пластическое деформирование на площадках фактического контакта и внедрение одной поверхности металла в другую создают условия для сдирания окисных и адсорбированных пленок масел, жиров, газов и влаги и

образования узлов схватывания, где под узлом схватывания понимаютместное соединение поверхностей, образующееся при трении в результате схватывания.

Процесс возникновения и разрушения узлов схватывания видоизменяется в зависимости от конструкции деталей, их материалов и режимов трения.

Схватывание материалов проявляется в самых разнообразных формах. Начинается оно с субмикроскопических повреждений, переходя постепенно к локализованному разрушению поверхностного слоя, различимому невооруженным глазом, и к глубинному вырыванию; затем разрушение может приобрести лавинный характер[4].

Для предотвращения *явления схватывания* необходимо применять смазочные вещества с повышенной смазывающей способностью, материалы пар трения не должны иметь пластической деформации при трении, следует также проводить выбор материалов пар трения, не склонных к схватыванию[5].

Список литературы

[1]. Металловедение и термическая обработка стали: Справ.изд. - 3-е изд., перераб. и доп. В 3-х т. Т. 1. Методы испытаний и исследования / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М.: Металлургия, 1983. 352 с.

[2]. Решетов Д.Н. Детали машин / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.

[3]. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. Б. Н. Арзамасов, И. И. Сидорин, Г. Ф. Косолапов и др.; Под общ.ред. Б. Н. Арзамасова.— 2-е изд., испр. и доп.— М.: Машиностроение, 1986. — 384 с.

[4]. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безысносность): Учебник. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МСХА, 2001. - 616 с.: ил. 280.

[5]. Виноградов Ю. М. Износостойкие материалы в химическом машиностроении. - Л.: Машиностроение, 1977. - 256 с.

Ивашев Артем Александрович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ivashev92@gmail.com.

Беляев Игорь Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: justhiigor@yandex.ru.

Мусохранов Марсель Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marls77@ya.ru.

СЕКЦИЯ 2.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. С. Парамонов, Н. Н. Максимов

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ ВОЛЬФРАМОВЫХ ВСТАВОК, ВЕЛИЧИНЫ СВАРОЧНОГО ТОКА И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЕГО ПРОТЕКАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана разработана технология контактной точечной сварки волновых обмоток торцевых асинхронных двигателей, изготавливаемых методом штамповки из листовой меди толщиной 0,25÷0,5мм.

По данной технологии контактную точечную сварку площадок осуществляют электродами с вольфрамовыми вставками, совмещая кромки деталей с образующими вставок. При этом формируется сварная точка, сочетающая литую зону на кромках с соединением в твёрдой фазе по остальной площади контакта деталь – деталь.

Электротепловые расчеты показали, что при данном способе сварки, основными источником нагрева зоны сварки являются вольфрамовые вставки, играющие роль нагретого инструмента. Эти же расчеты позволяют оценить к каким изменениям электротепловой обстановки в зоне сварки может привести применение импульса сварочного тока той или иной величины и длительности при различных геометрических соотношениях размеров вольфрамовых вставок.

Для формирования сварного соединения в реальных условиях сварки с оптимальными объемами жидкой фазы и твердого не расплавившегося металла в условном цилиндре под электродами, необходимо провести коррекцию величины сварочного тока $I_{СВ}$ и длительности его протекания $t_{СВ}$ для различных геометрических соотношений вольфрамовых вставок.

Определяющая роль вольфрамовых вставок, как источников тепла в зоне соединения, требует несколько иных, чем при классическом способе, подходов при выборе параметров процесса сварки. На этапе разработки технологии особое внимание следует обратить на выбор геометрических размеров вольфрамовых вставок относительно толщины деталей.

В данной работе рассматривается геометрическое отношение диаметра вставок d_W и длины вылета l_W к толщине деталей δ (d_W/δ и l_W/δ), а также геометрическое соотношение, вытекающее из первых двух: вылета или длины вставки l_W с диаметром d_W (l_W/ d_W).

Было установлено, что увеличение геометрического соотношения диаметра вставки d_W с толщиной детали δ (d_W/δ) при прочих равных условиях условиях способствует росту объёма жидкой фазы в зоне соединения, а, следовательно, прочности соединений. Облегчаются условия визуального контроля по величине оплавления кромок. [1]

Однако при превышении критических величин соотношение будет значительно увеличиваться деформация деталей под электродами (встав-

ками) в связи с резким уменьшением объёма твёрдого, не расплавившегося металла в условном цилиндре под электродами.

При малых соотношениях d_W/δ могут возникнуть трудности с получением общей зоны сплавления на кромках деталей и требуемой прочностью.

В ходе экспериментов геометрические соотношения изменяли в следующих пределах:

-соотношения диаметра вольфрамовых вставок d_W с толщиной деталей δ брали равными 6,8 и 10 (d_W/δ = 6; 8; 10);

-соотношение длины вставки l_W с толщиной детали δ, равным l_W/δ = 4; 8; 12; 16), что соответствовало соотношениям длины вставки l_W с её диаметром d_W, равным 0.5; 1; 1.5; 2; (l_W/δ = 0,5; 1; 1,5; 2).

При различных сочетаниях геометрических соотношений (табл.1.) сваривали партии образцов по 25 штук из твердой меди М1. Размеры образцов соответствовали принятым в данной работе стандартным значениям: толщина $\delta = 5 \cdot 10^{-2}$ м, ширина и длина $4 \cdot 10^{-3}$ м и $5 \cdot 10^{-2}$ м соответственно. Перед сваркой образцы травили в растворе азотной кислоты с сушкой на воздухе.

Таблица 1.

Геометрические соотношения вставок			Истинные размеры вставок	
d_W/δ	l_W/δ	l_W/d_W	$l_W \cdot 10^{-3}$м	$d_W \cdot 10^{-3}$м
6	3	0,5	1,5	3
	6	1	3	
	9	1,5	4,5	
	12	2	6	
8	4	0,5	2	4
	8	1	4	
	12	1,5	6	
	16	2	8	
10	5	0,5	2,5	5
	10	1	5	
	15	1,5	7,5	
	20	2	10	

Качество сварных соединений оценивалось по значению прочности соединений при статическом растяжении отбортованного образца, наличию оплавления на кромках деталей или его отсутствию и прожогу, величине деформации в зоне соединения ξ %(глубине отпечатка от электрода), сопротивлению соединения постоянному току R_T.

Устойчивость процесса сварки при различных соотношениях определяли по процентному содержанию качественных соединений (с оплавлением на кромках) в партии, а также по ширине диапазона возможных отклонений основных технологических параметров (J_{CB}; t_{CB}) от оптимальных значений без существенного снижения качества соединений.

В данном случае качественными считались соединения с оплавлением на кромках. За нижнюю границу диапазона допускаемых отклонений параметров режима принимались такие его значения, за пределами кото-

рых оплавление отсутствовало. Верхняя граница характеризовалась сквозной деформацией (или прожогом).

Оптимальные значения величины сварочного тока J_{CB} и времени его протекания. t_{CB} изменялись для каждого геометрического отношения в переделах, обеспечивающих устойчивость процесса формирования оплавления на кромках.

Для осуществления плавного регулирования сварочного тока между отдельными ступенями на тиристоры контактной машины МГ-803 подавалось напряжение через цепь, включающую в себя промежуточный трансформатор и автотрансформатор. [2]

Результаты экспериментов представлены на рис. 1 а, б.

Анализ данных показывает, что в отличие от классического способа контактной сварки сталей в медных электродах, в случае с контактной сварки тонколистовой меди электродами с вольфрамовыми вставками, изменение величины сварочного тока J_{CB} (допускаемый диапазон изменения величины сварочного тока J_{CB} или его плотности J_{CB} при одном из рассматриваемых геометрических соотношений, допускается в очень узких пределах 100-200А, плотность тока в пределах 5-30 А/м^2 (рис.1).

Оптимальная величина плотности тока J_{CB} для всех рассматриваемых соотношений d_W/δ составляет порядка 140-170 А/м^2. С увеличением этого соотношения допускаемый диапазон изменения плотности тока сужаются, и наоборот.

При увеличении геометрического соотношения l_W/d_W допускаемый диапазон изменения плотности тока J_{CB} несколько увеличивается. Следовательно, можно говорить о том, что устойчивость процесса формирования соединения с литой зоной возрастает с увеличением длины вставки l_W.

Однако, при использовании больших геометрических соотношений d_W/δ=10 и l_W/ d_W =2 устойчивость процесса опять несколько снижается (рис. 1 в). Данное обстоятельство можно пояснить увеличением массы вольфрамовых вставок и возрастанием роли процессов тепловой инерции.

Попытки получить качественные соединения при соотношении d_W/δ равным 4 и 12 не дали положительных результатов. При d_W/δ=4 прочность сварной точки не удовлетворяла техническим требованиям, предъявляемым при вырубке технологических перемычек (сварочные точки разрушались). При соотношении d_W/δ=12наблюдалась низкая стабильность качества (количество соединений с прожогом или отсутствием оплавления более 50%).

Результаты оценки влияния времени сварки t_{CB} на качество соединений подтверждает эффект понижения устойчивости процесса формирования соединения при больших геометрических соотношениях вольфрамовых вставок. Кроме того, из графиков, представленных на рис.1*г* видно, что зависимости прочности соединений от временных значений. Данное обстоятельство выявляет возможность более плавного регулирования качества с помощью этого параметра, по сравнению с варьированием величины сварочного тока.

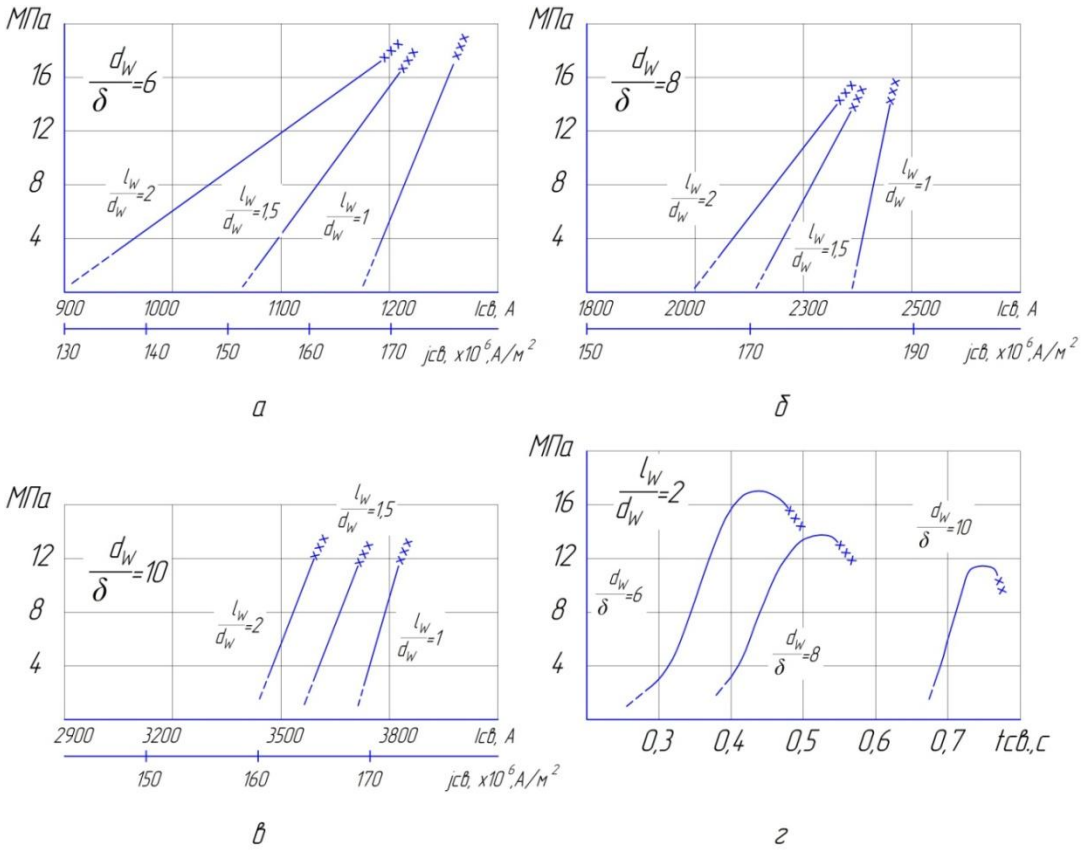


Рис.1 Зависимость прочности соединений от величины сварочного тока при различных геометрических соотношениях вольфрамовых вставок: а) $t_{СВ}$ = 0,32с, $P_{СВ}$ = 17Мпа; б) $t_{СВ}$ = 0,38с, $P_{СВ}$ = 24Мпа; в) $t_{СВ}$ = 0,8с, $P_{СВ}$ = 32Мпа; г) $I_{СВ}$ = 3500А; ------ – отсутствие сплавления; XXX – прожег.

Анализ представленных экспериментальных данных, проведенный с учётом требований, предъявляемых к соединению, возможности осуществления контроля (в том числе визуального), а также геометрических размеров контактных площадок на внутреннем и наружном контуре обмотки, позволил определить оптимальные значения величины сварочного тока $I_{СВ}$, времени его протекания $t_{СВ}$ и геометрических соотношений вольфрамовых вставок d_W/δ и l_W/ d_W.

Список литературы

[1]. Орлов Б. Д., Марченко А. Л. Формирование литой зоны при точечной электросварке алюминиевых сплавов // Надёжность сварных соединений и конструкций: Сб. статей кафедр «Сварочное производство» в учебных заведениях Москвы. Москва, 1967. – С. 186-197.

[2]. Таев И. С. Электрические аппараты. Общая теория. Москва, Энергия, 1997, 272 с.

Парамонов Сергей Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: paramonov231992@gmail.com.

Максимов Николай Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры "Технологии сварки" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru.

С.И. Сениченков, И.Н. Зыбин

ДУГОВЫЕ СПОСОБЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ШЛИЦЕВ ВАЛОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Анализ существующих процессов восстановления шлицевых валов показывает, что подавляющее большинство из них основано на дуговых способах наплавки изношенных шлицев (под флюсом, в среде защитных газов, вибродуговой) [1].

Шлицевые валы, имеющие шлицы в средней части вала наплавляют от середины к концу вала [2].

Наплавку выполняют по винтовой линии и продольными валиками вдоль боковых поверхностей шлицев.

Наплавку по винтовой линии обычно применяют при восстановлении мелких шлицев. Однако такую наплавку можно применять и для валов с крупными шлицами, но в этом случае их предварительно обрабатывают (обтачивают или обдирают крупнозернистым кругом), уменьшая высоту шлицев до 6…8 мм [1]. При наплавке шлицевых валов с глубокими впадинами целесообразно предварительно проточить шлицы примерно на половину их высоты [2].

Наплавляют шлицевый вал по винтовой линии с таким расчетом, чтобы каждый последующий шов перекрывал предыдущий на одну треть [2].

Общим недостатком всех способов наплавки по винтовой линии является увеличение расхода электродного материала и электроэнергии в 2…3 раза, соответственно повышение трудоемкости наплавочных работ и последующей механической обработки. Существенно возрастают также деформации деталей и, кроме того, вследствие большого нагрева нарушается термическая обработка практически всех участков детали [1,3].

Значительно более экономична продольная наплавка боковых поверхностей шлицев [3]. По данным [4] восстановление шлицевых поверхностей на ремонтных предприятиях производится в основном продольной наплавкой боковых поверхностей. Наплавку ведут с таким расчетом, чтобы слой выступал над поверхностью шлица на 1,2…2 мм. Это позволяет в дальнейшем обеспечить номинальный размер вала по центрирующему диаметру [1].

При продольной наплавке шлицев шириной до 5…6 мм впадину полностью заплавляют, а у крупных шлицев (шириной более 5…6 мм) наплавляют только изношенную сторону шлица [1,3]. Крупные шлицы можно наплавлять и вдоль неизношенной стороны. При последующей обработке изношенную сторону шлица зачищают до выведения следов износа, и нагрузка в этом случае при эксплуатации детали воспринимается не наплавленной стороной шлица [5]. Чтобы уменьшить деформацию вала про-

дольную наплавку выполняют поочередно с диаметрально противоположных сторон [1,3].

В работе [4] сделан вывод, что продольную наплавку можно применять лишь для валов, центрирование шлицев которых осуществляется по боковым поверхностям шлицев, так как такая наплавка обеспечивает припуск на последующую механическую обработку только по ширине шлица. Для валов, центрируемых по наружному диаметру, например, таких как вал муфты сцепления двигателя СМД-14, при разработке технологического процесса восстановления необходимо предусматривать припуск на последующую механическую обработку по наружному диаметру с учетом деформации валов, поступающих на восстановление.

К основным недостаткам дуговых способов восстановления можно отнести длительность процесса наплавки, большой расход наплавочных материалов при полной заплавке впадин, сложность механической обработки при односторонней наплавке боковой поверхности шлицев и возможные деформации валов [8]. Однако, несмотря на недостатки, дуговые способы восстановления шлицев валов нашли наибольшее применение при восстановлении, характеризуясь более широкими технологическими возможностями по сравнению с другими способами восстановления (например, такими как, восстановление способом пластического деформирования (раздачей), сваркой взрывом и т.д.). В частности, дуговые способы восстановления позволяют получать толщину наносимого слоя металла в широких пределах в зависимости от величины износа.

Список литературы:

[1]. Воловик Е.Л. Справочник по восстановлению деталей. Москва, Колос, 1981, 351 с.

[2]. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Восстановление деталей сельскохозяйственных машин. Москва, Колос, 1983, 288 с.

[3]. Курчаткин В.В., Тельнов Н.Ф., ред. Надежность и ремонт машин. Москва, Колос, 2000, 776 с.

[4]. Воловик Е.Л. Восстановление деталей и ремонт машин. Калуга, Малоярославецкий филиал ГОСНИТИ, 1975, 276 с.

[5]. Бабусенко С.М. Ремонт тракторов и автомобилей. Москва, Агропромиздат, 1987, 357 с.

Сениченков Станислав Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Aliev196@mail.ru.

Зыбин Игорь Николаевич — канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: igor1zybin@yandex.ru.

А.В. Вовченко, К.Ю. Труханов, А.В. Царьков

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАПЛАВЛЯЕМОГО ВАЛИКА В РАЗЛИЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Коррозия является распространенным дефектом, встречающимся при эксплуатации магистральных газопроводов. Для ремонта несквозных коррозионных дефектов применяется сварка (наплавка). Ремонт состоит из следующих этапов:

- вышлифовка зоны с дефектом;
- предварительный подогрев;
- сварка (наплавка) выборки;
- механическая обработка.

Вышлифовка зоны с дефектом может выполняется с помощью ручных инструментов (шлифмашинка) или механизированных средств (фрезерная установка). Вышлифовка выполняется таким образом, чтобы обеспечивать полное удаление дефектов, но при этом глубина выборки не должна превышать глубину поверхностных дефектов более чем на 1 мм. В продольном сечении выборка должна имеет чашеобразную форму, длинна выборки должно превышать фактическую длину дефектной зоны протяжённого дефектного участка не менее чем на 30 мм в каждую сторону. А в поперечном сечении U-образную форму с симметричной разделкой кромок при расположении дефекта в верхней и нижней четвертях трубы и несимметричной разделкой - в боковых четвертях трубы (рисунок 1).

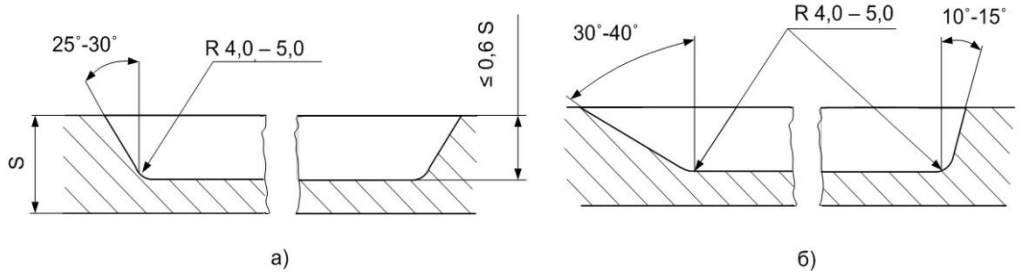


Рис. 1.

Предварительный подогрев может осуществляться с помощью газопламенных нагревательных устройств. Температура подогрева определяется классом трубы, ее толщиной и температурой окружающей среды.

Ремонт может выполняться наплавкой штучными покрытыми электродами, порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения. При автоматизированной наплавке на боковых и нижних четвертях трубы существенную сложность представляет повышенная жидкотекучесть расплавленного металла. Наплавка узкими валиками на сниженных значениях

тока увеличивает время ремонта. Таким образом, исследование условий формирования наплавляемого валика в различных положениях с целью подбора оптимального режима наплавки является важной задачей.

Для исследования планируется использовать сварочные проволоки, представленные таблице 1 и подходящие для труб класса прочности К55.

Таблица 1. Химический состав проволоки

Марка	**Тип**	**Диаметр, мм**	**Химический состав, %**		
			C	**Mn**	**Si**
Innershield NR-207 (Lincoln Electric)	Порошковая	1,7	0,05-0,07	0,87-0,96	0,23-0,27
Pipeliner NR-208-XP (Lincoln Electric)	Порошковая	2,0	До 0,02	2,10-2,20	0,12-0,13
Св-08Г2С	Сплошного сечения	1,6	0,05-0,11	1,8-2,10	0,7-0,95

Исследование будет проводится на установке выполненной на базе токарного станка. Для обеспечения возможности сварки (наплавки) в различных положениях спроектировано приспособление (рисунок 2), позволяющее изменять положение сварки (наплавки) от нижнего до горизонтального (от 0 до 3 часов).

Рис. 2.

Анализ технологических инструкций сварки (наплавки) при ремонте магистральных газопроводов, а так же рекомендаций производителя про-

волоки позволил определить диапазоны варьирования исследуемых параметров:

- угол наклона наплавляемой поверхности от 0º до 90º;
- сварочный ток от 165 А до 205 А;
- напряжение от 18 В до 21 В;
- скорость подачи проволоки от 1,5 м/мин до 3,0 м/мин.

Критериями оценки формирования наплавляемого валика выбраны геометрические параметры, представленные на рисунке 3 и в таблице 2.

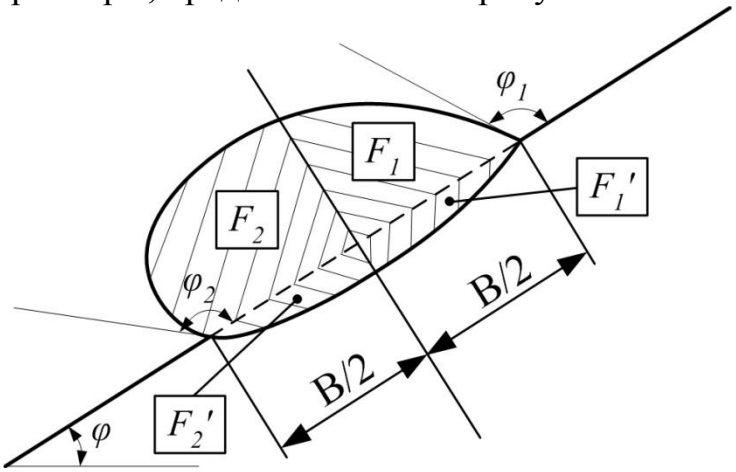


Рис. 3. Геометрические параметры наплавляемого валика

Таблица 2. Геометрические параметры наплавляемого валика

Обозначение	Название	Ед. изм.
B	Ширина валика	мм
H	Глубина проплавления	мм
A	Высота валика	мм
$F_{ПР}$	Площадь проплавления	мм^2
F_H	Площадь наплавки	мм^2
φ_1	Угол оттекания	град.
φ_2	Угол натекания	град.
F_1	Площадь оттекания наплавки	мм^2
F_2	Площадь натекания наплавки	мм^2

Результаты планируемого исследования позволят сформулировать рекомендации при выборе параметров режима сварки (наплавки) в различных положениях.

Вовченко Александр Владимирович — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru.

Труханов Константин Юрьевич — ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru.

Царьков Андрей Васильевич — заведующий кафедрой, доктор технических наук КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru.

Н. И. Соловьев, Н. Н. Максимов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Контактная точечная сварка широко применяется на производстве в связи с ее высокой производительностью и экономической эффективностью. Сварное соединение при этом способе формируется в результате нагрева деталей током до температуры плавления с образованием литого ядра в области контакта деталь-деталь. Важная роль в кинетике формообразования принадлежит теплоотводу в электроды и массу деталей. Однако в контакте электрод-деталь температура достигает величины порядка 400-550 градусов, что приводит к повышению пластичности материала деталей и вдавливанию (деформированию) электрода в деталь. Допускаемая величина деформации деталей под электродами (глубина отпечатка) лежит в пределах 15-20%. При сварке внешних панелей корпусов автомобилей, бытовых приборов и т.д., такая глубина отпечатка является недопустимой. Деформация поверхности ухудшает вид изделий и приводят к необходимости дополнительной обработки поверхности после сварки. Поэтому стоит задача по коррекции процесса сварки таким образом, чтобы свести деформацию на внешней стороне свариваемых деталей до минимума. Данная проблема особенно жестко проявляется при контактной сварке алюминия и его сплавов.

Глубина вмятин от электродов зависит от температуры свариваемого металла в зоне контакта электрод - деталь, величины сварочного и ковочного усилий, начального зазора между свариваемыми деталями, размера контактной поверхности электродов и других параметров. Изменить указанные параметры можно различными технологическими приемами: за счет обжатия периферийной зоны соединения; применения электрода с увеличенной площадью контакта; за счет улучшения условий охлаждения электрода; снижением температуры рабочей поверхности электрода за счет применения тепловых экранов, повышающих температуру в контакте деталь-деталь и отражающих тепло от контакта электрод-деталь.

Существенным недостатком способа с обжатием периферийной зоны является образование со стороны электрода с меньшей площадью контакта чрезмерно глубокой вмятины. Однако, при этом со стороны электрода с увеличенной площадью контакта на лицевой поверхности изделия образуется выпуклость. Глубокие односторонние вмятины приводят не только к ухудшению прочностных свойств соединения из-за сильного утончения одной из деталей в месте постановки сварных точек, но и способствуют увеличению общих деформаций свариваемых деталей, т.е. их короблению.

Снизить деформацию лицевых поверхностей изделий можно за счет применения одного из электродов со значительно увеличенной площадью контакта. При прохождении тока, из-за большой площади контакта, электрод нагревается неравномерно. В связи с этим, давление в зоне контакта перераспределяется и усилие сжатия прикладывается в основном к центральной части электрода. Поэтому, в процессе сварки необходимо постоянно следить за состоянием электрода с увеличенной поверхностью. При его износе изменяются условия теплоотвода, что приводит к появлению выпуклости на лицевой поверхности изделия и некоторомусмещению литого ядра относительно границы контакта деталь-деталь, что существенно снижает прочность. При необходимости, для предотвращения смещение литого ядра возможно применять проставки.

Установлено, что интенсивное охлаждение электродов приводит к уменьшению степени деформирования поверхностей деталей и износа электродов при сварке. Это уменьшает степень максимального температурного расширения материала электрода в его центральной части. Интенсивность охлаждения электродов оказывает существенное влияние на характер деформирования поверхностей и долговечность электродов. При уменьшении температуры охлаждения электродов от 22 до 8 ^{o}C глубина вмятины со стороны обычного электрода уменьшается до величины порядка 50 %, высота выпуклости на лицевой поверхности изделия порядка 25 %. При этом обеспечиваются требуемый диаметр литого ядра и глубина проплавления. Интенсивное охлаждение электродов позволяет уменьшить деформацию от электродов при точечной сварке и продлить его работоспособность.

Анализ представленный способов показывает, что все они имеют свои достоинства и недостатки. Наиболее перспективным способом представляется комбинация, состоящая из применения охлаждаемых электродов и тепловых экранов. При этом тепловые экраны будут способствовать более эффективному нагреву в контакте деталь-деталь, а интенсивное охлаждение электродов поможет снизить температуру в контактах электрод-деталь.

Список литературы

[1]. Березиеко В. П., Фурманов С.М., Бендикт Т.И.О влиянии условий охлаждения электродов на характер деформирования поверхностей деталей при точечной сварке // Вестник Полоцкого государственного университета. -2012

Соловьев Николай Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kitman1488@gmail.com.

Максимов Николай Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры "Технологии сварки" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru.

СЕКЦИЯ 3.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 593.3

Д.В. Манухина, И.В. Супрун, А.Е. Потапов, Ф.А. Плотников

АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной работе на основе полученного решения дифференциального уравнения движения скользящей дислокации сквозь дислокационный лес методом конечных разностей приводятся алгоритмы построения компьютерной модели для исследования работы источника Франка-Рида и перераспределения дислокаций леса в ионных кристаллах в условиях одновременного воздействия ультразвука и постоянной внешней нагрузки. Рассматривается выбор среды разработки для построения компьютерной модели динамической системы- источника Франка-Рида, позволяющей выполнять многопоточное моделирование и обрабатывать полученные рассчетные данные. Выполнено комплексное сравнение полученных алгоритмов, которое показало большую устойчивость к накоплению вычислительных ошибок при решении методом разложения в ряд Фурье, решение методом конечных разностей является менее ресурсоемким и имеет меньшую асимптотическую сложность.

Ключевые слова: *дислокация, моделирование, ультразвук.*

При описании эффекта пластификации кристаллов в ультразвуковом поле обычно рассматривают влияние ультразвука на систему дислокаций – точечные дефекты. В настоящей работе основное внимание уделено поведению элементов дислокационной структуры. Известно, под действием ультразвука плотность дислокаций в щелочно-галоидных кристаллах может возрасти на 4-5 порядков [1], что приводит к необратимым изменениям свойств кристаллов, которые в свою очередь зависят не только от плотности дефектов, но и от их распределения по объему образцов, от характера взаимодействия различных дефектов между собой и друг с другом.

Очевидно, что накопление дислокаций в кристалле происходит за счет размножения дислокаций, т. е. генерации их дислокационными источниками. Проблемы, связанные с формированием дислокационных конфигураций, способных служить источниками, и параметрами, характеризующими процесс генерации ими дислокаций, остаются актуальными и служат предметом исследования и в настоящее время.

В данной работе в качестве объекта исследования выступает математическая модель работы источника Франка-Рида под воздействием комплексной нагрузки (одновременного влияния механической постоянной внешней нагрузки и ультразвукового поля) с учетом электромагнитной составляющей в щелочногалоидных кристаллах. В качестве источника Франка-Рида рассматривалась скользящая дислокация, находящаяся в плоскости легкого скольжения, закрепленная на дислокациях леса, которые находятся под воздействием только ультразвукового поля, совершая колебательные движения по гармоническому закону. Причиной, вызывающей движение закрепленной дислокации, являются внешняя постоянная и ультразвуковые нагрузки, приложенные к образцу в плоскости легкого скольжения [2-4].

В работе [5] приводится непосредственно вывод дифференциального уравнения, описывающего работу источника, а также его решение методом конечных разностей. Полученное решение позволяет вычислять конфигурации дислокационного сегмента в последующий момент времени, по результатам предыдущего шага:

$$u_j^{k+1} = u_j^k + \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{G \cdot b^2}{2R(\lambda, \tau_0)} - \dfrac{G \cdot b^2}{4\pi} \cdot y \left(\dfrac{x + l/2}{(x + l/2)^2 + y^2} - \dfrac{x - l/2}{(x - l/2)^2 + y^2} \right) \\ -b\sigma^0 \sin(\omega t) - b\sigma_{st} sign(F_{it} + F_{es} + F_{in}) - kq_j \sum\limits_{i=0}^{i=n} \dfrac{q_i}{r_{ij}^2} \cdot \dfrac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}} \end{array} \right\} \cdot \frac{\tau}{B} \qquad (1)$$

Целью настоящей работы является разработка алгоритмов, позволяющих выполнить компьютерное моделирование работы источника Франка-Рида в условиях одновременного воздействия постоянной и ультразвуковой нагрузок с учетом заряда дисклокаций на основе полученного решения.

Для решения поставленной задачи в качестве среды разработки программного комплекса были выбраны следующие средства: Microsoft Visual Studio 2012, язык программирования - C#; что было обусловлено рядом причин. Во-первых, позволяет осуществить интеграцию с пакетами математического моделирования, что позволяет использовать готовые библиотеки математических пакетов; это не только снижает человеческие затраты на разработку приложения, но и обеспечивает более высокопроизводительное решение, уменьшает вероятность ошибок при реализации алгоритма. Во-вторых, поддерживает многопоточность, что позволяет реализовывать распараллеливание вычислений для оптимизации процесса моделирования. Кроме того присуща простота визуализации результатов в реальном времени, что позволяет не заострять на этом внимание в процессе моделирования. Для чего будет использована технология Windows Presentation Foundation WPF, которая обеспечивает более рациональное распре-

деление машинных ресурсов. Использование векторной графики в WPF, в отличие от растровой в Delphi 7 [6], позволит более рационально масштабировать полученную модель для более детального анализа конкретных участков сегмента. Также реализована поддержка технологии ClickOnce для быстрого развертывания обновлений приложения на рабочих станциях [7].

Рассмотрим основные этапы построения алгоритмов, позволяющих моделировать движение заряженного дислокационного сегмента, а именно по предыдущему положению сегмента получать последующие. Первый, основанный на решении (1), второй- основанный на решении уравнения движения дислокационного сегмента методом разложения в ряд Фурье, приведенного в [6]. Так как последующее положение сегмента зависит от предыдущего, то моделирование движения каждой точки возможно выполнить в независимых вычислительных потоках. По окончанию работы всех вычислительных потоков возникает задача обработки и синхронизации поученных результатов. Схема алгоритма, основанная на решении дифференциального уравнения методом конечных разностей приведена на рисунке 1.

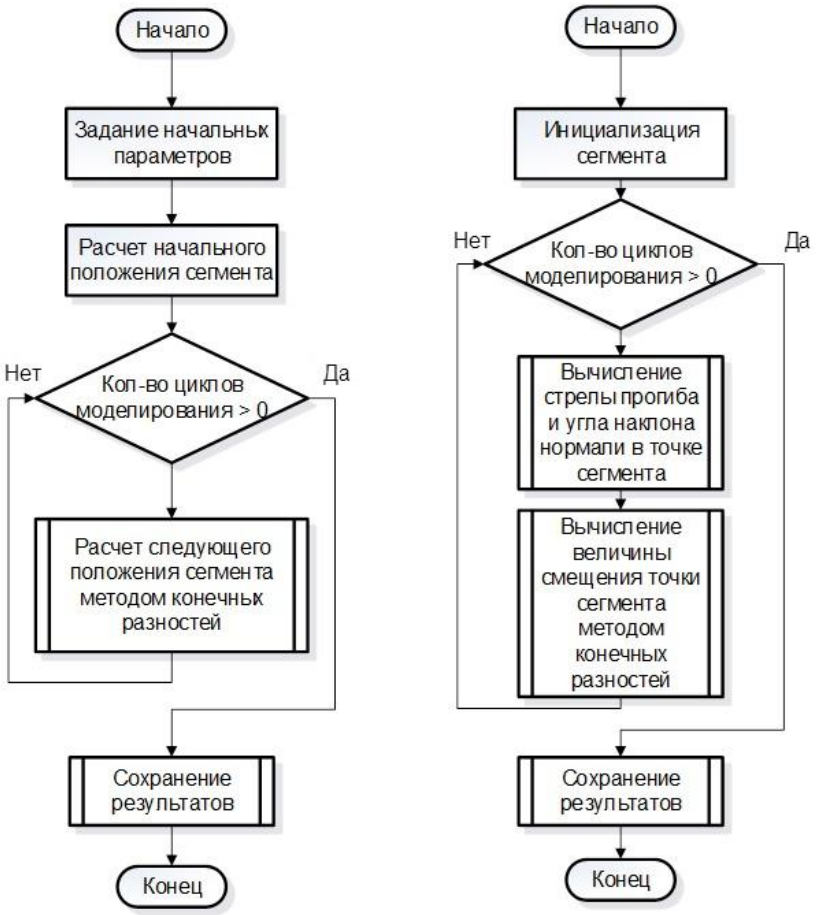


Рис.1. Схема алгоритма решения уравнения (1) методом конечных разностей: общий алгоритм расчета, расчет следующего положения сегмента

Схема алгоритма, основанная на решении дифференциального уравнения движения дислокационного сегмента методом разложения в ряд Фурье приведена на рисунке 2.

Представленный алгоритм содержит три вложенных цикла, необходимых для решения дифференциального уравнения движения сегмента методом разложения в ряд Фурье. Поэтому данный подход обладает существенным недостатком, для достижения приемлемой точности моделирования необходимо выполнить огромное количество итераций, а именно получить решение дифференциального уравнения движения в каждой точке сегмента.

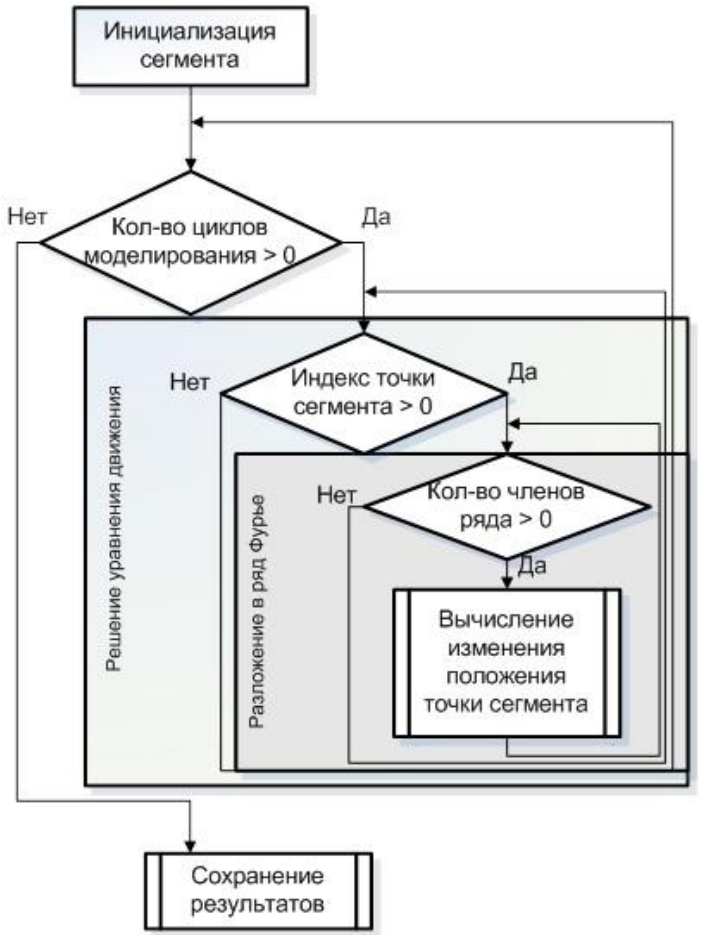


Рис.2. Схема алгоритма решения уравнения движения дислокационного сегмента методом разложения в ряд Фурье [6]

В данном случае целесообразно оценить асимптотическую сложность рассмотренных алгоритмов. Сравнивая предложенные выше алгоритмы моделирования эволюции дислокационного сегмента, следует отметить меньшую вычислительную сложность метода конечных разностей. Сложность данного алгоритма можно оценить, как $f(n) = On^2$, т.е. с ростом дискретизации сегмента количество итераций растет согласно полиномиальной зависимости. В то же время алгоритм решения дифференциального

уравнения движения сегмента методом разложения в ряд Фурье имеет большую вычислительную сложность, которая оценивается как $f(n) = O(n^2 + n)n$. Учитывая, что длительность моделирования может достигать нескольких минут, то за одну минуту моделирования методом конечных разностей размер решаемой задачи составит: $\sqrt{n}$, соответственно за один час размер составит величину $7{,}74 \cdot \sqrt{n}$. Алгоритм решения дифференциального уравнения движения с использованием разложения в ряд Фурье за минуту позволит решить следующий объем задачи: $\sqrt[3]{n}$, за час объем составит величину $3{,}39 \cdot \sqrt[3]{n}$. Из приведенной оценки сложности алгоритмов видно, что различие между алгоритмами с разной асимптотической сложностью становится еще более существенным при увеличении времени вычислений. Однако стоит отметить, что решение методом конечных разностей на практике показало меньшую стойкость к накоплению вычислительной ошибки.

Решение уравнения (1) записано в относительной системе координат, привязанной непосредственно к моделируемому дислокационному сегменту; где ось *x*, проходит через точки закрепления дислокационного сегмента на дислокациях леса, ось *y* – через середину отрезка, соединяющего эти точки.

Для удобства моделирования эволюции дислокационного сегмента в ультразвуковом поле перейдем к лабораторной (кристаллографической) системе координат:

$$\begin{aligned} x_{лаб} &= x_{лаб\,0} + l(x_{отн} \cos(\alpha) - y_{отн} \sin(\alpha))/2 \\ y_{лаб} &= y_{лаб\,0} + l(-x_{отн} \sin(\alpha) - y_{отн} \cos(\alpha))/2 \end{aligned}, \qquad (2)$$

где $x_{лаб}, y_{лаб}$ – координаты в лабораторной системе координат, $x_{лаб\,0}, y_{лаб\,0}$ – координаты левого центра закрепления сегмента, α – угол между осями относительной и лабораторной системы координат, l – расстояние между точками закрепления на дислокациях леса.

В рассматриваемой модели точки закрепления совершают колебательные движения по гармоническому закону:

$$\gamma = \gamma_0 \sin(\varpi t), \qquad (3)$$

где γ – смещение точки закрепления относительно начального положения, γ_0 – амплитуда смещения дислокации леса, которая находится из уравнения движения дислокации под действием ультразвука; ϖ – частота ультразвука.

Знак дислокаций леса будет определяться в зависимости от того в фазе или противофазе они будут совершать колебательные движения. Смещения точек, образующих дислокационный сегмент, происходят вдоль нормали к касательной сегмента в каждой его точке. Для моделирования работы источника Франка-Рида с подвижными точками закрепления изменение формы сегмента за время $\delta\tau$ будем находить в два этапа:

Аналитически по конфигурации первоначального сегмента в момент времени τ рассчитывалось смещение точек сегмента за время $\delta\tau$, как и в случае неподвижных точек закрепления.

Затем производился расчет поправки на смещение точек закрепления за время $\delta\tau$.

Рассмотрим подробнее *второй этап*. Для решения поставленной задачи использовались следующие *два алгоритма*.

Первый алгоритм. Будем считать, что положение центральной точки сегмента остается неизменным, а смещение точек закрепления будет приводить к изменению его формы (рис. 3).

Смещение остальных точек будет пропорционально расстоянию вдоль сегмента от соответствующей точки до центральной точки *k*. Если точки закрепления сегмента на дислокациях леса колеблются в противофазе, то моделируемый сегмент растягивается и поворачивается относительно центральной точки.

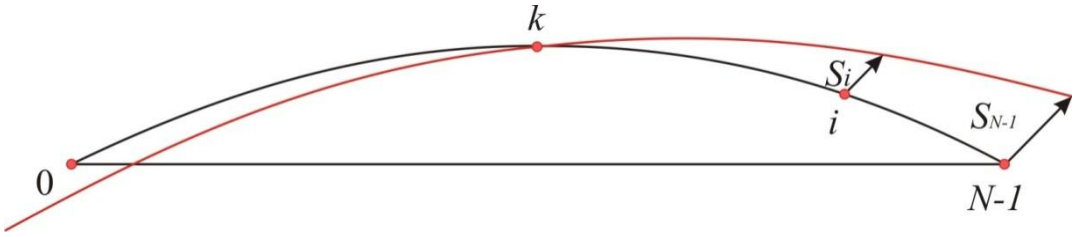


Рис. 3. Расчет смещения точек сегмента при изменении положения точек закрепления (точки закрепления колеблются в противофазе): 0, $(N-1)$ – точки закрепления, k – центральная точка сегмента, i – произвольная точка сегмента

Номер левой точки сегмента примем за нулевой, а правой – за $(N-1)$ количество точек всего сегмента будет $N=2k+1$, где k – номер центральной точки. Величину смещения i-ой точки в правой половине сегмента относительно центральной точки k определяем в лабораторной системе координат по формулам:

$$s_i = s_{N-1} \cdot \frac{\sum_{j=k}^{i-1} \sqrt{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2}}{\sum_{j=k}^{N-2} \sqrt{(x_j - x_{j+1})^2 + (y_j - y_{j+1})^2}},$$

где s_{N-1} – смещение точки закрепления. Таким образом, смещение точек, образующих сегмент, пропорционально их расстоянию по дуге сегмента до средней точки.

Для левой части сегмента расчет смещения аналогичен. Смещение точек правой и левой частей сегмента производится сонаправленно смещениям, соответствующих точек закрепления (рис. 3 и рис. 4).

Данный алгоритм также адекватен в случае софазного движения дислокаций леса, являющимися точками закрепления дислокационного сегмента.

Однако у данного алгоритма есть *ограничение*: его применение возможно в случае, если прогиб сегмента меньше половины расстояния между точками закрепления на дислокациях леса. Кроме того, моделирование поведения сегмента с использованием рассматриваемого алгоритма требует значительного объема расчетов, а, следовательно, и машинного времени. В связи с этим был разработан второй алгоритм.

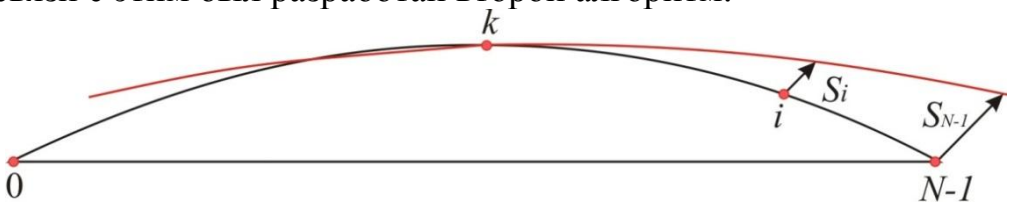


Рис. 4. Расчет смещения точек сегмента при изменении положения точек закрепления (точки закрепления колеблются в фазе)

Второй алгоритм. Расчет формы сегмента производится в относительной системе координат, привязанной к сегменту. Из (1) видно, что смещение произвольной точки сегмента $u_i = u(d\tau, l)$ зависит от расстояния между точками закрепления l.

Для конфигурации дислокационного сегмента в момент времени τ_0 рассчитываем смещение точек, образующих сегмент за время $\delta\tau$, вычисляем новое положение точек закрепления сегмента за время $\delta\tau$. В итоге относительная система координат поворачивается относительно лабораторной системы и растягивается пропорционально изменению l, а координаты точек сегмента переводятся из относительной системы координат в лабораторную. Затем вновь производятся расчеты формы сегмента в относительной системе координат, с учетом изменения l, и полученная конфигурация снова переводится в лабораторную систему координат.

На рис. 5 представлены последовательные стадии эволюции закрепленного дислокационного сегмента с шагом $10\delta\tau$, полученные с помощью второго алгоритма. Видно, что в конфигурациях 2, 3, 4 происходит сближение точек закрепления сегмента, и величина прогиба дислокационного сегмента меньше, чем в конфигурациях 6, 7, 8 при увеличении расстояния между точками закрепления. Изменение величины прогиба объясняется тем, что сила самодействия дислокационного сегмента обратно пропорциональна радиусу его кривизны, который в свою очередь тем больше, чем больше расстояние между точками закрепления l.

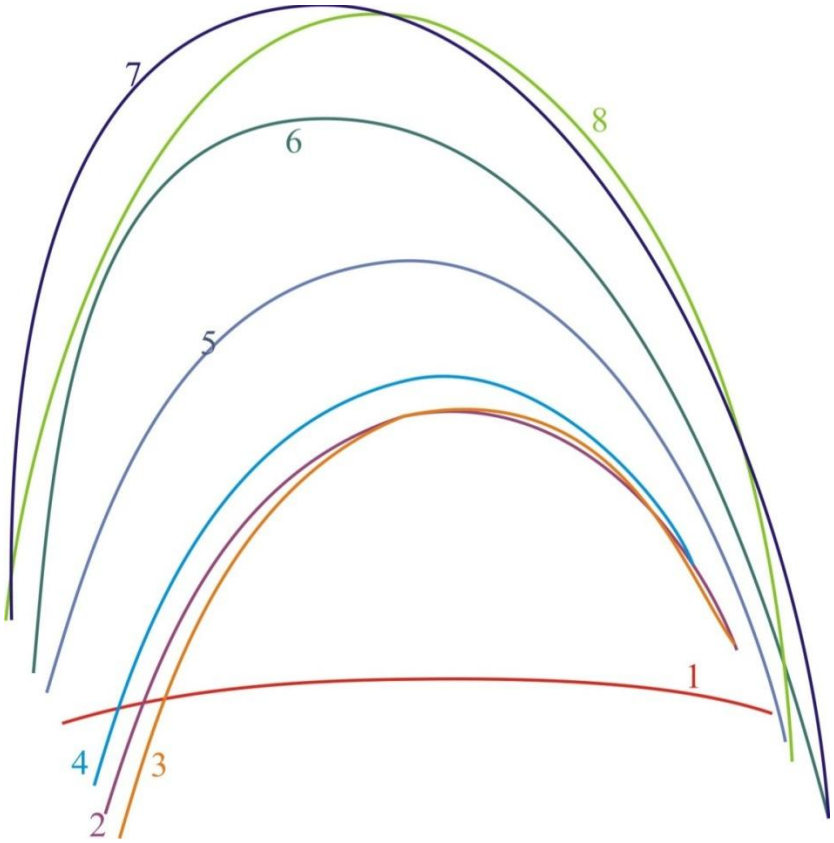


Рис. 5. Последовательные конфигурации дислокационного сегмента, построенные с помощью 2-ого алгоритма

Если выполнять моделирование эволюции дислокационного сегмента по *первому алгоритму*, то его форма будет изменяться как под воздействием внешней постоянной нагрузки, так и в результате движения точек закрепления. *Второй алгоритм* дает изменение формы дислокационного сегмента только под воздействием внешней нагрузки. Кроме того, преимущество второго алгоритма и в том, что он имеет меньшую расчетоемкость, и позволяет выполнять моделирование в случае, если прогиб дислокационного сегмента превышает половину расстояния между точками его закрепления. Серия тестовых экспериментов показала, что предпочтительнее использовать второй алгоритм как менее расчетоемкий при частоте ультразвука порядка 60-100 кГц и длинах дислокационных сегментов менее 5 мкм.

Литература:

[1]. Тяпунина Н.А., Наими Е.К., Зиненкова Г.М. *Действие ультразвука на кристаллы с дефектами*. Москва, Изд-во МГУ, 1999, 238 с.

[2]. Манухина Д.В., Потапов А.Е., Лосев А.Ю., Супрун И.В. Математическое моделирование процесса движения скользящей дислокации сквозь дислокационный лес, находящийся в ультразвуковом поле. Математическое моделирование процесса движения скользящей дислокации сквозь дислокационный лес, находящийся в ультразвуковом поле. *Вестник ТГУ им Г.Р. Державина*, 2013, Т 18, Вып. 4, с.1879-1881.

[3]. Манухина Д.В., Потапов А.Е., Лосев А.Ю., Супрун И.В, Плужникова Т.Н. Различные подходы к математическому и компьютерному моделированию эволюции источника Франка-Рида в ультразвуковом поле. *Вестник ТГУ им Г.Р. Державина*, 2012, Т.17, Вып.4, с. 1097-1101.

[4]. Манухина Д.В., Потапов А.Е., Плотников Ф.А., Бойцова М.А. Лосев А.Ю. Движение скользящей дислокации сквозь дислокационный лес в условиях комплексного нагружения. *Вестник ТГУ им Г.Р. Державина*, 2014, Т.19, Вып.3, с. 883-887.

[5]. Манухина Д.В., Потапов А.Е., Солдатов К.Н. Расчет движения дислокационного сегмента под действием комплексной нагрузки. *Евразийский союз ученых*, 2014, № 9, Часть 2, с. 157-159.

[6]. Дегтярев В.Т., Лосев А.Ю., Тяпунина Н.А. Влияние ультразвука на процесс генерации дислокаций источником Франка-Рида. *Деформация и разрушение материалов*, 2005, №3, с. 18-21.

[7]. Манухина Д.В., Потапов А.Е., Соломатина И.А., Бадмаев И.А., Нилова А.С., Федотов Д.Ю. Анализ современных технологий развертывания приложений и программных инструментов создания пакетов установки. *Вестник ТГУ им Г.Р. Державина*, 2014, Т.19, Вып.6, с. 1841-1844.

Манухина Дарья Владимировна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dmanuhina@gmail.com.

Супрун Ирина Валерьевна – ассистент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: irina-kaluga_88@mail.ru.

Потапов Андрей Евгеньевич – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: potapov-ae@mail.ru.

Плотников Федор Алексеевич – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: blackdef@bk.ru.

D.V. Manuhina, I.V. Suprun, A.E. Potapov, F.A. Plotnikov

THE ALGORITHMS OF CHARGED DISLOCATIONS DYNAMICS MODELING IN AN ULTRASONIC FIELD

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Algorithms for constructing computer models, which are based on the differential equation solution of the sliding dislocation motion through the dislocations forest by finite difference method, are discussed in this paper for a Frank-Read source and dislocations forest redistribution in ionic crystals under the simultaneous action of ultrasonic and a constant exter-

nal load. The development environment choice are explained for building a computer model of the dynamic system- Frank-Read source, which support multi-stream modeling and received data processing. The complex comparison of the algorithms performed. It showed more stability in the accumulation of computational errors in the solution by the Fourier series method. The solution finite difference method is less resource intensive and has a smaller asymptotic complexity.

Key words: *dislocation, modeling, ultrasonic.*

Literature:

[1]. Tyapunina N.A.,Naimi E.K., Zinenkova G.M. *The ultrasonic action on the defects crystals*. Moscow, Moscow University, 1999, 238 p.

[2]. Manuhina D.V., Potapov A.E., Losev A.Y., Suprun I.V. Mathematical modeling of self-organization dislocations process in ultrasonic field. *Tambov University Review. Series: Natural and Technical Sciences***,** 2013, Issue 18, Vol. 4, p.1879-1881.

[3]. Manuhina D.V., Potapov A.E., Losev A.Y., Suprun I.V. Pluzhnikova T.N. Different approaches to mathematical and computer modeling of Frank–Read source evolution in ultrasonic field. *Tambov University Review. Series: Natural and Technical Sciences***,** 2012, Issue 17, Vol. 4, p. 1097-1101.

[4]. Manuhina D.V., Potapov A.E., Plotnikov F.A. Losev A.Y., Boytsova M.V.Motion of sliding dislocation through dislocation forest in integrated loading condition. *Tambov University Review. Series: Natural and Technical Sciences*, 2014, Issue.19, Vol. 3, p. 883-887.

[5]. Manuhina D.V., Potapov A.E., Soldatov K.N. The calculation of the dislocation segment motion under the influence of complex loading. *The Eurasian Union of Scientists*, 2014, № 9, Part 2, p. 157-159.

[6]. Degtyarev V.T., Losev A.Y, Tyapunina N.A. The influence of ultrasonic on the dislocations of Frank-Read source. *Deformation and Fracture of Materials*, 2005, №3, p. 18-21.

[7]. Manuhina D.V., Potapov A.E., Solomatina I.A., Badmaev I.A., Nilova A.S., Fedotov D.Y. Analysis of modern technologies for deploying applications and software tools for creating installation packages. *Tambov University Review.*

Manuhina Daria, Ph.D., Associated professor of Bauman Moscow State Technical University (the Kaluga Branch). E-mail: dmanuhina@gmail.com.

Suprun Irina, Assistant of Bauman Moscow State Technical University (the Kaluga Branch). E-mail: irina-kaluga_88@mail.ru.

Potapov Andrey, Ph.D., Associated professor of Bauman Moscow State Technical University (the Kaluga Branch). E-mail: potapov-ae@mail.ru.

Plotnikov Fedor, Ph.D., Associated professor of Bauman Moscow State Technical University (the Kaluga Branch). E-mail: blackdef@bk.ru.

Моисеев Т.С., Кузнецов В.В.

QUCS-ACTIVEFILER: ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ СИНТЕЗА АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Традиционно при подготовке студентов специальностей, связанных с электроникой и радиотехникой используется моделирование электронных схем на ПК. Это позволяет наглядно продемонстрировать работу электронного устройства и провести измерения без физического измерительного оборудования.

Перспективным направлением является использование для данных целей свободного ПО (СПО), что выгоднее за счёт экономии на закупке лицензий. СПО качеству не уступает коммерческим аналогам. Преимуществом является лёгкая расширяемость за счёт открытого исходного кода и описание всех алгоритмов моделирования и синтеза в открытом доступе.

К свободному ПО относится симулятор электронных схем Qucs (Quite Universal Circuit Simulatior), разрабатываемый международной командой разработчиков [1-4]. Qucs активно используется кафедрой РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ для выполнения моделирования различных электронных схем в ходе дипломного и курсового проектирования [5].

Целью данной работы является разработка модуля синтеза активных фильтров для использования совместно с данным симулятором, в тестировании которого принимали непосредственное участие студенты кафедры ЭИУ1-КФ.

Фильтр в электронике - устройство, позволяющее выделить необходимые компоненты спектра электрического сигнала, либо подавить ненужные.

Активный фильтр - один из видов электронных фильтров, в которых присутствует один или несколько активных компонентов, таких как транзистор или операционный усилитель.

Классификация активных фильтров в полосе частот:

1. Фильтр низких частот;
2. Фильтр высоких частот;
3. Полосовой фильтр;
4. Режекторный фильтр.

В 2004 году на кафедре РТУиС МИЭМ (с 2012 года кафедра РЭТ МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики»., была разработана программа по синтезу активных фильтров, которую в 2014 году переработал и дополнил Кузнецов В.В. под названием qucs-activefilter (главное окно —

см. рис.1). Приложение Qucs-activefilter, позволяет по заданным параметрам произвести синтез определённого типа активного фильтра с возможностью передачи результатов моделирования в программу Qucs для дальнейшего исследования или применения в более сложной структуре.

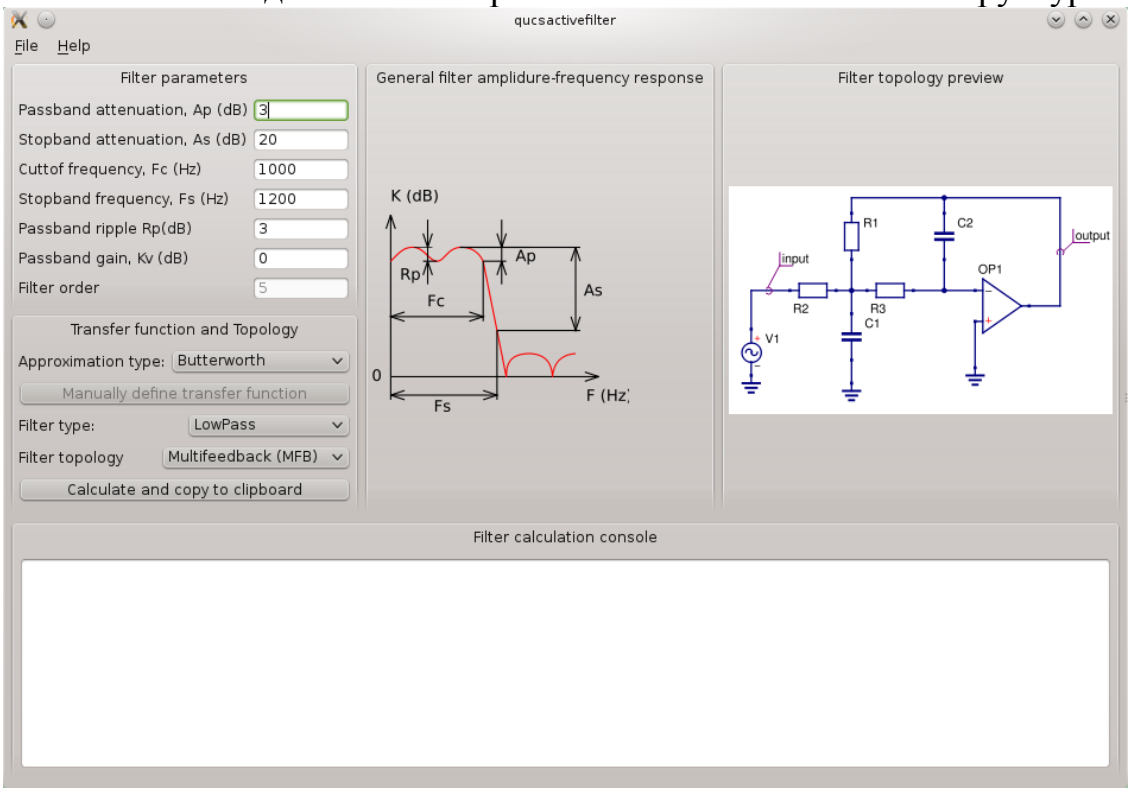


Рис. 1. Окно приложения Qucs-activefilter для синтеза активных фильтров.

Данное приложение позволяет моделировать фильтр Чебышева (первого и второго типа), фильтр Баттерворта, эллиптический фильтр (Кауэра), фильтр Бесселя и фильтр, определенный пользователем на основе схемотехники звеньев фильтра Саллена-Ки, фильтра с многопетлевой ОС и звена фильтра Кауэра. Алгоритмы синтеза фильтров соответствуют справочнику [5].

Использование определенной топологии фильтра позволяет получить сведения о различной схемотехнической реализации фильтра. Получаемый результат синтеза позволяет как проверить расчеты элементов фильтра, так и полученную модель фильтра применить в основной программе Qucs.

Результаты моделирования в Quite Universal Circuit Simulatior можно представить в виде графиков в декартовых (2D и 3D) и полярных координатах, таблиц и диаграмм Смита.

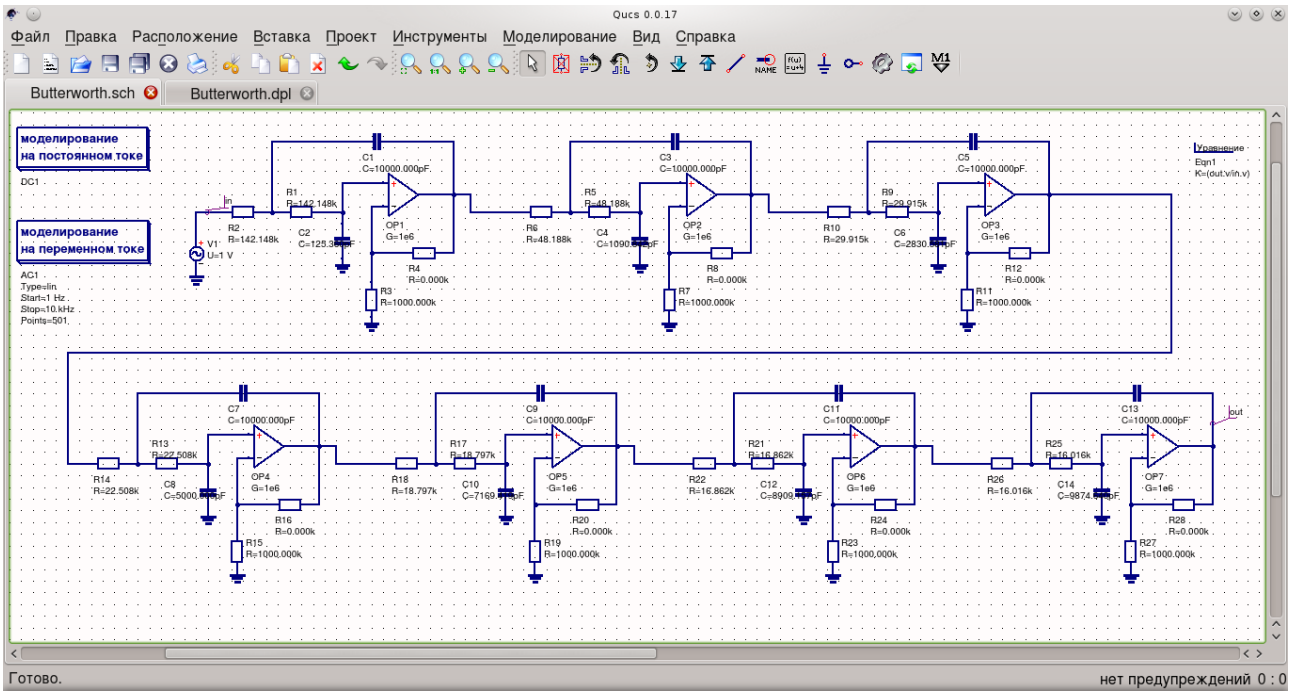


Рис. 2. Схема электрическая фильтра Баттерворта для низких частот.

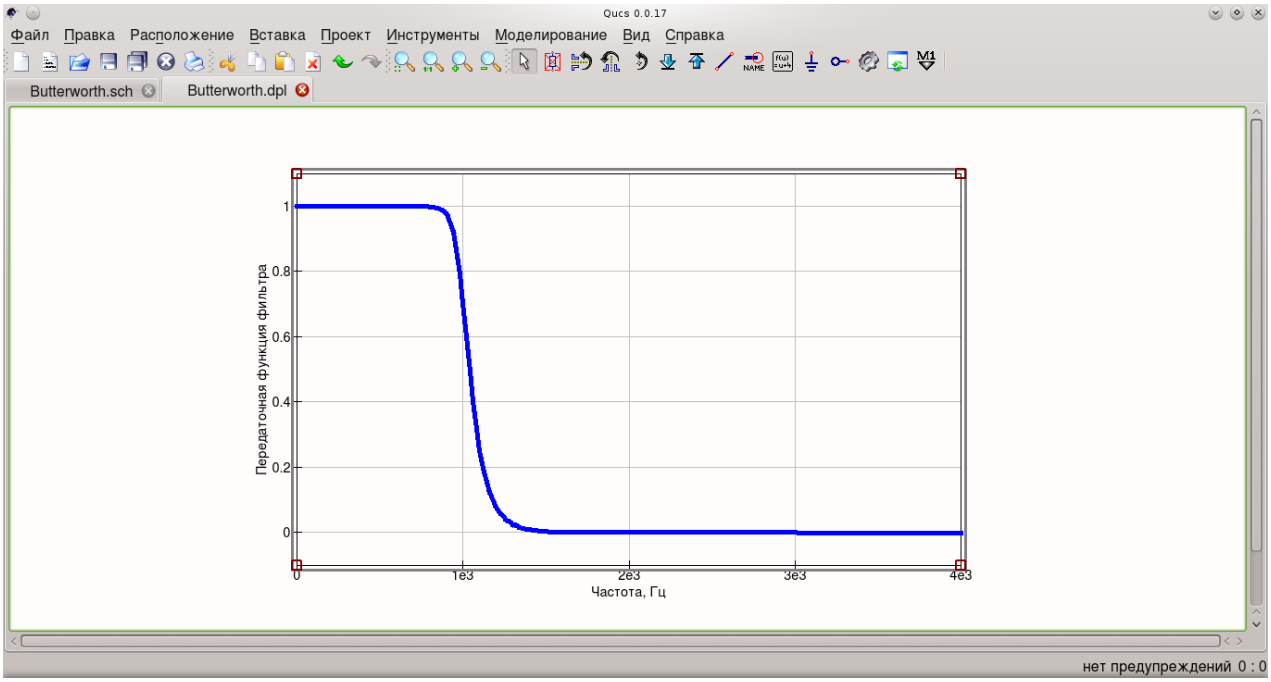


Рис. 3. Передаточная характеристика ФНЧ Баттерворта.

Данное приложение значительно сокращает процесс создания, непосредственного моделирования и расчёта компонентов для активных фильтров. Графическое представление параметров фильтра и его топологии позволяет более осознано выбрать активный фильтр.

Литература

[1]. Qucs: Quite Universal Circuit Simulator. http://qucs.sourceforge.net.

[2]. Brinson M. E., Jahn S. Qucs: A GPL software package for circuit simulation, compact device modelling and circuit macromodelling from DC to RF and beyond // International Journal of Numerical Modelling (IJNM): Electronic Networks, Devices and Fields. — 2008. — September. — Vol. 22, no. 4. — Pp. 297 – 319.

[3]. Кузнецов В.В., Симулятор электронных схем с открытым исходным кодом Qucs: основные возможности и основы моделирования. — Компоненты и технологии.- 2015. - №3. - С.114-120.

[4]. Кузнецов В.В., Крючков Н.М. Qucs: Использование свободного ПО для моделирования электронных схем в учебном процессе/ XI конференция разработчиков свободных программ: Тезисы докладов/ Калуга, 26–28 сентября 2014 года. М.: Альт Линукс, 2014.

[5]. Кечиев Л.Н., Шатов Д.С. Моделирование в среде QUCS развязывающих конденсаторов в составе распределенной системы питания цифровых модулей. — Технологии ЭМС. – 2014. – № 3(50). – С. 36–44.

[6]. Johnson D., Johnson J., and Moore H., A handbook of active filters. Prentice-Hall, Inc, Engewood Cliffs, 1980.

Моисеев Тимофей Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voig1396@gmail.com.

Кузнецов Вадим Вадимович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Конструирование и производство электронной аппаратуры" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ra3xdh@gmail.com.

В.Е. Драч, А.В. Федорова

МАГНИТНЫЙ ДАТЧИК ОТКЛОНЕНИЯ РУЛЕЙ РУЛЕВОГО ПРИВОДА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время нарастает политическая напряженность, поэтому актуальной является задача разработки современных ракет. Ракеты делят на классы — «земля-земля», «земля-воздух», «воздух-земля», «воздух-воздух», «воздух-корабль» (относится к более общему классу «воздух-поверхность») и т. д.[1] Одним из ключевых вопросов при их разработке является вопрос управления.

Существует несколько вариантов управления: навигация, стабилизация полета, управление расходами топлива и т.д. Для сбора необходимой информации применяются различные датчики. Датчики отклонения рулей являются неотъемлемой частью навигационного управления. Механические датчики поворота содержат диск из диэлектрика или стекла с нанесёнными выпуклыми, проводящими или непрозрачными участками. Считывание абсолютного угла поворота диска производится линейкой переключателей или контактов. Выходные сигналы представляют собой код Грея, позволяющий избавиться от неоднозначности интерпретации сигнала. Основным недостатком механического датчика угла поворота является дребезг контактов, который может приводить к неправильному подсчету и определению направления вращения.[2] В данной работе предлагается иной подход: цифровое вычисление отклонения угла поворота управляемой ракеты с помощью магнитного датчика угла поворота. Датчик отклонения рулей (ДОР) предназначен для выработки последовательного цифрового кода, пропорционального углу поворота лопасти привода.

ДОР должен измерять текущий угол отклонения лопасти управляемой ракеты и передавать в блок управления измеренное значение в виде цифрового кода. Для обеспечения точности измерения предлагается применить микросхема AS5040, которая является бесконтактным магнитным датчиком для точных угловых измерений в течение полного оборота на 360°. Она объединяет интегрированный элемент, аналоговый интерфейс и цифровую обработку сигналов в одном устройстве. Для измерения угла требуется вращать два полюса магнита над центром чипа. Внутренний регулятор напряжения позволяет AS5040 работать с напряжением питания 3.3 V или 5 V.[3]

Задачи корректировки полученных значений и самокалибровки выполняет микроконтроллер STM32F051. Он связан с матрицей датчика Холла.

Связь с внешней аппаратурой осуществляется по интерфейсу RS485, реализованному на микросхеме SN65HVD. По шине SPI передается 10-битное значение угла от 0 до 360°. По интерфейсу RS485 передается 10-битное значение от 0 до 120°. Для обеспечения точности тактирования ис-

пользуется кварцевый генератор KXO-V96. Аналоговый сигнал, формируемый модулем ЦАП в микроконтроллере, усиливается операционным усилителем, обеспечивающим усиление в 1,5 раза для получения требуемой амплитуды аналогового сигнала (ЦАП микроконтроллера выдает напряжение от 0 до 3 В, а необходимо от 0 до 5В). Питание +3,3В микроконтроллера обеспечивается low-drop стабилизатором. Для внутреннего программирования микроконтроллера на плате предусмотрен разъем интерфейса SWD (Serial Wire Debug). Сигнал калибровки переводит контроллер в специальный режим, в котором он вычисляет калибровочную константу, компенсирующую смещение нуля.

Структурная схема работы датчика представлена на рисунке1.

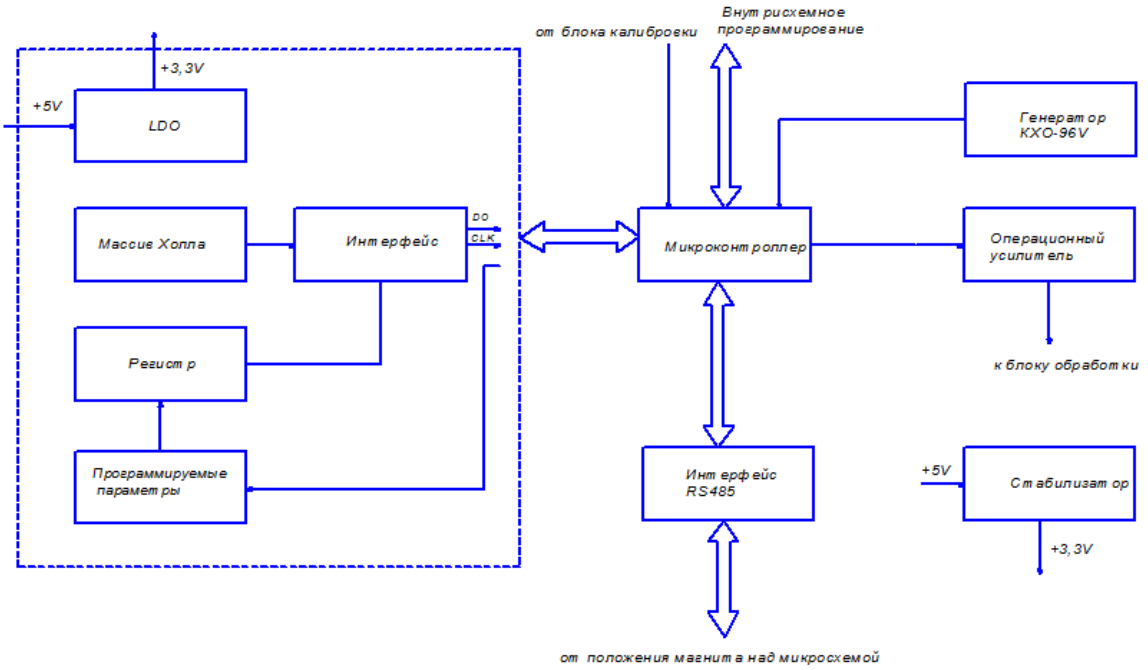


Рис.1 Структурная схема датчика

Таким образом при использовании магнитного датчика повышается точность наведения, он обладает большей износоустойчивостью, имеет меньшие размеры и работает от автономного источника в отличие от механических аналогов.

Литература

[1]. Соловей Э.Я., Храпов А.В. — Динамика систем наведения управляемых авиабомб http://e.lanbook.com/

[2]. Аналоговые датчики угла поворота / Бараночников М.Л. / Микромагнитоэлектроника. Том 1 / Москва / ДМК Пресс / 2001 http://www.iqlib.ru/

[3]. Интернет-ресурс www.alldatasheet.com

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@kaluga.org.

Федорова Александра Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Fedorova550i@rambler.ru.

Аунг Пьо, В.В. Сорочан

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрены основные математические модели, применяемые при моделировании и анализе солнечных элементов и солнечных батарей.

Ключевые слова: *солнечные элементы, математическая модель.*

В настоящее время математическое моделирование широко применяется в различных отраслях науки и техники. Его применение позволяет существенно сократить время и денежные затраты на проведение исследований. При создании математической модели (ММ) в ней отражают только существенные для исследователя свойства объекта, так как оперировать полной математической моделью очень трудоемкая задача.

В частности, при создании солнечных элементов (СЭ) и солнечных батарей (СБ) на их основе для моделирования вольт-амперных характеристик (ВАХ) применяются различные математические модели отличающиеся степенью полноты описания процессов протекающих в СЭ. Основные требования к ним следующие [1]:

-достаточно точно описывать ВАХ СЭ в рассматриваемом диапазоне температур и освещенности и в зависимости от влияния окружающей среды;

-позволять достаточно точно преобразовывать ВАХ СЭ, что необходимо для определения ВАХ СБ при неидентичных характеристиках отдельных частей СБ.

Существуют следующие ММ ВАХ СЭ которые мы приведем в порядке возрастания сложности.

Модель1. Обычно используемая эквивалентная схема СЭ с сосредоточенными параметрами, работающего в стационарном режиме (рис. 1), содержит генератор тока ($I_ф$) с большим внутренним сопротивлением. Величина тока пропорциональна освещенности и называется фототоком.

В этом случае ток через нагрузку (I) описывается выражением:

$$I = I_Ф - I_0.\left\{\exp\left[\frac{q.(U + I.R_П)}{A.k.T}\right] - 1\right\} - \frac{U + I.R_П}{R_Ш} \qquad (1)$$

где $I_Ф$–фототок, q–заряд электрона, U–напряжение на нагрузке, $R_П$ – последовательное сопротивление, I_0–обратный ток, $R_Ш$–шунтирующее сопротивление, A– диодный коэффициент(фактор не идеальности), k–постоянная Больцмана, T–температура.

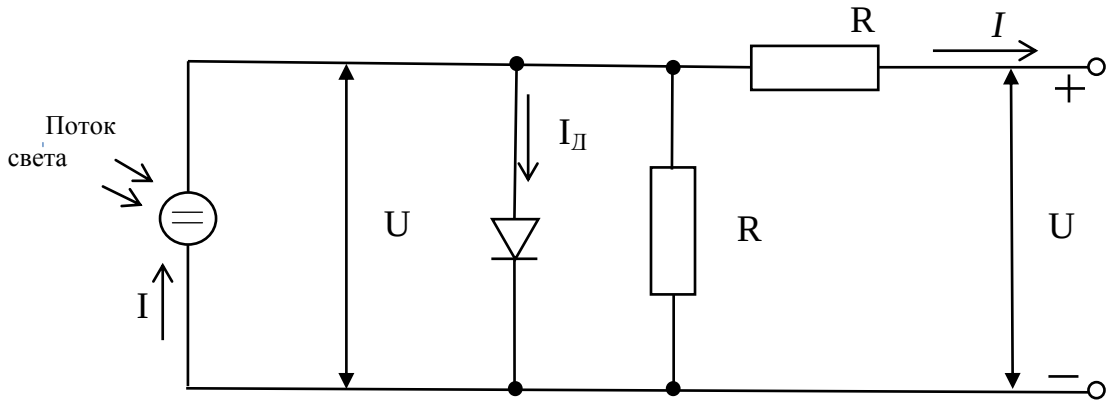


Рисунок 1 - Эквивалентная схема СЭ

Если предположить, что $R_ш$ велико, а $R_п$ мало, шунтовым током и падением напряжения на $R_п$ можно пренебречь. В этом случае ВАХ СЭ принимает вид:

$$I = I_Ф - I_0 \exp(\frac{qU}{AkT} - 1), \quad (2)$$

Если данную модель применять для описания ВАХ СЭ высокого качества, то вносимая ошибка не превышает единиц процентов.

Модель 2. Она используется для расчета схемных потерь в СБ с учетом ее затенения. Это достигается путем учета $R_п$, при этом уравнение ВАХ СЭ имеет вид:

$$I = I_Ф - I_0 \exp(\frac{q(U + IR_П)}{AkT} - 1), \quad (3)$$

где $I_Н$ – ток на нагрузке, $U_Н$ – напряжение на нагрузке. Адекватность такой модели для кремниевых СЭ показана в работе [2].

Модель 3 позволяет учитывать частичное затенение СЭ через $R_ш$.

Модель 4 используется если необходимо учитывать различные скорости рекомбинации в р-п-переходе и в р и n-слоях. В эквивалентную схему (рис. 1) добавляется параллельно еще один диод. Уравнение ВАХ СЭ принимает вид:

$$I = I_Ф - I_{0_1} \exp\frac{q(U + IR_П)}{AkT} - I_{0_2} \exp\frac{q(U + IR_П)}{AkT} - \frac{U_Н + IR_П}{R_Ш}, \quad (4)$$

где I_{01} —ток насыщения, описываемый в рамках диффузионной теории Шокли, I_{02}— ток насыщения, определяемый рекомбинацией в области объемного заряда р-п-перехода. В работе [3] показано, что расхождение ВАХ

полученной из уравнения (4) и экспериментальной кривой не превышает 1%.

Моделирование ВАХ СЭ на основе гетеропереходов nCdS-pCdTe нами проводится с целью подбора технологических параметров обеспечивающих максимальный коэффициент заполнения ВАХ и максимальную выходную мощность. Вследствие чего пренебрегать влиянием $R_П$ и $R_Ш$ не возможно, поэтому модель 1 и 2 не применимы в нашем случае. Моделирование проводится в предположении того, что скорость рекомбинации не изменяется в различных частях СЭ, что избавляет от необходимости введения в эквивалентную схему еще одного диода. Учитывая выше сказанное нами выбрана для моделирования третья модель, в которой учитывается зависимость величины $R_Ш$ от технологических условий. Величины входящие в выражение (1) для моделирования ВАХ СЭ на основе гетеропереходов nCdS-pCdTe необходимо выразить через внутренние параметры полупроводников входящих в состав гетероперехода.

Список литературы

[1]. *Бордина Н.М., Летин В. А*. Моделирование вольт-амперных характеристик солнечных элементов и солнечных батарей // Электротехн. Пром-сть. Сер. 22, Хим. и физ. источники тока. Обзор информ,—1986.— Вып. 1 (7). С. 1—64.

[2]. Roger J. A., Maguin C. Photovoltaic solar panels simulation including dynamical thermal effects. — Solar Energy, 1982, vol. 29, N 3, p. 245—256.

[3]. Simulation for low-orbit spacecraft: the EBLOS Computer program / A. Capel, J. Ferrante, J. Cornet and oth. — ESA Journal, 1982, vol. 6, N 3, p. 319—337.

Аунг Пьо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aplay48@gmail.com.

Сорочан Виталий Викторович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Системы автоматизированного проектирования" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vsorochan@mail.ru.

Д.К. Никифоров, Н.И. Пчелинцева, М.Г. Чистяков

МЕТОДЫ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ В ТЕХНИКЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАЗЕРОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Предложена, описана и реализована кассетная технология нанесения пленок на внутренние поверхности цилиндрических полостей электродов в малогабаритных стеклянных устройствах, размещенных на специализированных высоковакуумных откачных постах. В качестве примера эффективности такой технологии изложены методы получения пленочных полых электродов для гелий-неоновых и молекулярных (CO_2) миниатюрных газоразрядных лазеров-датчиков систем навигации и экологического мониторинга.

Особенностью устройства является то, что используя диодное распыление в вакууме, аргоне, неоне и азоте, оно обеспечивало при распылении бериллиевой, алюминиевой или циркониевой мишеней получение как металлических, так и нитридных оксидных и других покрытий на поверхностях полых электродов.

Благодаря наличию на откачном посту прецизионных системы газонапуска и узлов на постоянных SmCo-магнитах, управляемых шаговыми двигателями, кассеты с подложками могли совершать как круговые, так и продольные движения в стеклянных устройствах. Кроме того, расстояние «анод-катод» в диодной системе имело возможность изменяться с их помощью по воле оператора-исследователя.

Ключевые слова: *электроды, газоразрядные лазеры, мишень, ионное распыление, бомбардирующие ионы.*

Введение. Создание в 1960 году лазеров было одним из важнейших достижений физики, плодами которого пользуется человечество и сегодня. Из всего многообразия созданных лазеров значительное их количество уже не востребованы по причине их низкой эффективности при использовании в устройствах 21-го века, а без некоторых трудно было бы обойтись в обеспечении надежной навигации движущихся объектов или в системах экологического мониторинга окружающей среды.

Так современные моноблочные гелий-неоновые лазеры (He-Ne-лазеры) отличаются малыми габаритами, весом, а по отработанности техпроцесса конкурируют с полупроводниковыми лазерными диодами [1]. Отметим также, что He-Ne-лазеры излучают в диапазоне от 0,54 мкм до 133 мкм и работают на более, чем 200 переходах неона. Практически наи-

более распространена и востребована линия генерации такого лазера 0,63 мкм (мощность излучения – в диапазоне 0,1 мВт … 4000 мВт). Эта линия обладает наибольшим усилением в видимом диапазоне спектра [1]. Моноблочные He-Ne-лазеры широко используются в лазерной навигации самолетов, подводных лодок, ракет и т.п. [2]. Самыми современными и надежными являются газовые лазеры, возбуждаемые электрическим разрядом, например, газоразрядные He-Ne-лазеры с пленочным холодным катодом (электродом) [3]. Причем в настоящее время они успешно конкурируют с диэлектрическими и полупроводниковыми лазерами и в других сферах применения [4].

Газовым разрядом накачиваются и молекулярные CO_2-лазеры [1]. Такой лазер обеспечивает генерацию излучения более чем на 130 линиях в диапазоне от 9,1 мкм до 11,3 мкм. Особо востребованы CO_2-лазеры, излучающие на длине волны 10,6 мкм – а это как раз лежит в окне прозрачности атмосферы. Неудивительно, что CO_2-лазеры являются основным инструментом в устройствах диагностики окружающей среды.

Использование миниатюрных He-Ne и CO_2-лазеров в системах навигации и мониторинга предъявляет к ним жесткие требования по надежности и долговечности, а также стабильности параметров. В значительной степени они обеспечиваются свойствами примененных в газоразрядных лазерах пленочных электродов [2, 5, 6].

В настоящее время для создания полых пленочных электродов для особо долговечных газоразрядных лазеров необходимо использовать технологии наноинженерии. Создаваемые наноструктуры могут обеспечить требуемые параметры полых пленочных электродов в том случае, если материалы, режимы их получения и технология последующей обработки будут тщательно изучены и отработаны. Для этих целей необходимо создание многофункциональных устройств, реализующих различные физические и технические процессы уже хорошо изученные и освоенные как учеными, так и инженерами в промышленности.

Применительно к созданию полых электродов на основе наноструктур в основу таких модельных экспериментов необходимо заложить технику и детали ионного распыления и технологии роста тонких пленок [7], прежде всего механизма зарождения и роста как металлических, так и неметаллических покрытий на подложках [8]. Важны знания и о физико-химических свойствах таких материалов, а они достаточно хорошо известны, так, например,Cu_2O как полупроводник изучена еще в 60-е годы прошлого столетия [9], а как регенератор CO_2 – только сравнительно недавно [6].

Ниже рассматриваются особенности устройства, созданного и реализованного для получения наноструктур на полых подложках электродов для He-Ne и CO_2-лазеров.

Постановка задачи.У авторов работы априори имеется откачной пост с безмасляной высоковакуумной откачной азотной ловушкой, установлен-

ной перед форвакуумным насосом. Тип вакуумного поста с печью прогрева и системой прецизионного газонапуска (N_2, Ar, He, Ne, O_2 и др.) – ОП-4М. Модернизированный пост, кроме металлической системы газонапуска и присоединённых металлических баллонов с вышеуказанными газами, снабжен стеклянной системой газонапуска, куда напаивались стеклянные баллоны с такими же газами, правда, давление в них было небольшим (для нескольких экспериментов). Для реализации процесса ионного распыления мишеней ионами с энергией 0,1…10 кэВ пост ОП-4М укомплектован источниками питания, кабелями и зажимами для подачи соответствующей энергетики на экспериментальное устройство, напаиваемое на гребенку из такого же стекла, смонтированную на верхнем столе поста ОП-4М. Кроме того, вакуумный пост ОП-4М имеет всю необходимую приборную базу по измерению вакуума, давления наполнения газов в экспериментальных устройствах, а также специальные приспособления для установки системы управления работой шаговых двигателей и перемещения магнитных систем при обработке подложек полых электродов в стеклянном устройстве, напаянном через штенгель на откачной пост.

Особенности конструкции и техника эксперимента.С открытием филиалов кафедр КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана на промышленных предприятиях Калужского региона в последние годы существенно улучшилось обеспечение исследований экспериментальным оборудованием. Так устройство из стекла, приведенное на рис. 1, было собрано в единое целое на ОАО «Восход»-КРАЗ профессиональным стеклодувом В.И. Белкиным. Все элементы помещены в стеклянный баллон диаметром 10 мм и длиной 180 мм. На его основе и сформирован стеклянный корпус устройства (см. рис. 1, поз. 1).

С наружной стороны цилиндрической части корпуса впаян штенгель (см. рис. 1, поз. 2) для напайки на стеклянную гребенку откачного поста, через который производится откачка внутреннего объема устройства до $1 \cdot 10^{-5}$ Па или наполнение его необходимыми газами до требуемого давления, а на внутренней стороне цилиндрической части стеклянного устройства выполнены «салазки» (на рис. 1 не показаны для избежания загромождения приведенной конструкции дополнительными деталями), по которым скользит кассета барабанного типа (см. рис. 1, поз. 3) с шестью полыми цилиндрическими подложками электродов (см. рис. 1, поз. 4).

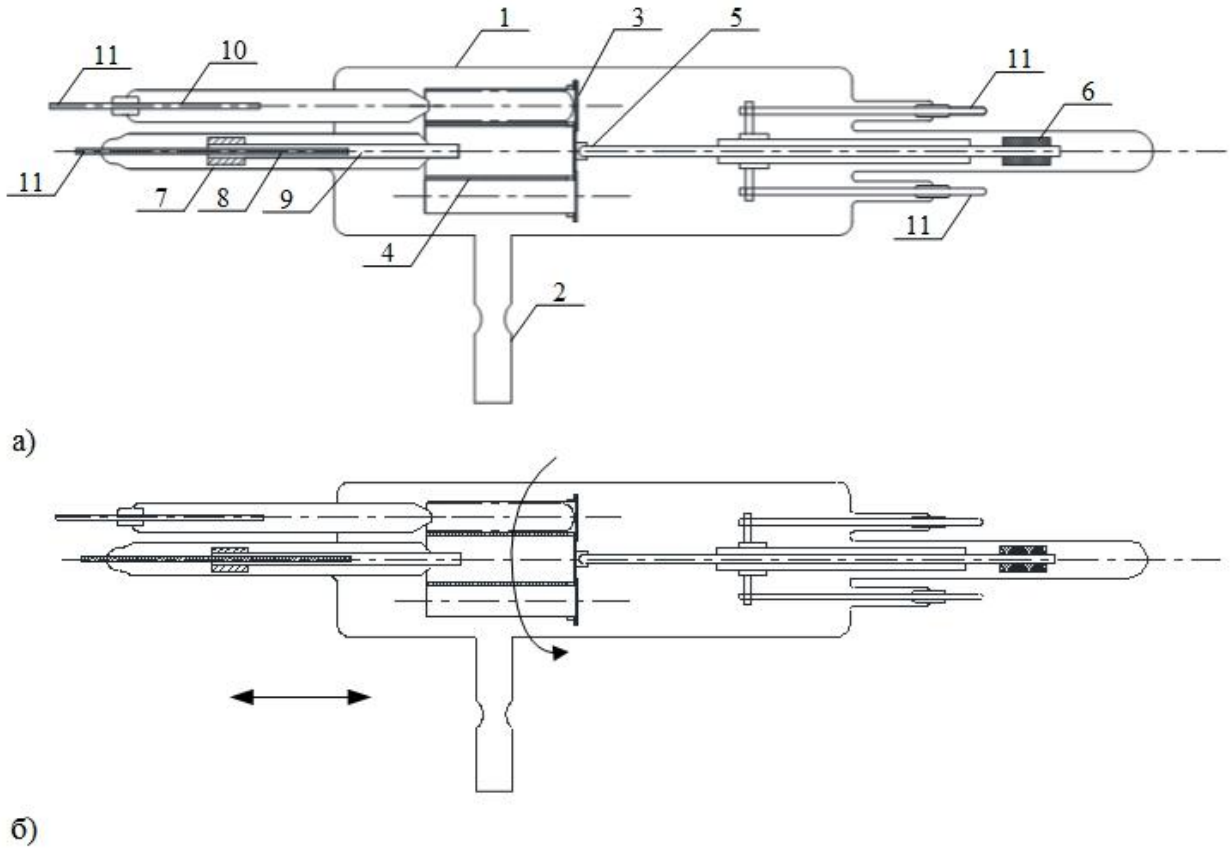


Рис. 1. Экспериментальное устройство из стекла и металла для отработки технологии получения полых пленочных электродов: 1 – стеклянный корпус, 2 – штенгель, 3 – кассета барабанного типа с шестью подложками, 4 – полая подложка электрода, 5 – муфта вращения, 6 – железоникелевая втулка, плотно насаженная на ось муфты вращения, 7 – железоникелевая втулка, свободно скользящая по направляющей 8 и жестко связанная с распыляемой полой мишенью 9, 10 – молибденовый стержень,
11 – токовводы
а) общий вид устройства,
б) направления перемещений кассетного барабана с подложками (3) и распыляемой мишени (9)

Кассета с подложками с помощью устройства вращения и муфты 5 (см. рис. 1) приводятся во вращательное движение (см. рис. 1 б) благодаря воздействию магнитного поля системы из постоянных SmCo-магнитов на железоникелевую втулку 6 (см. рис. 1), плотно насаженную на ось системы вращения. Вращение кассеты с полыми подложками позволяет выставлять нужную из в положение, при котором с помощью железоникелевой втулки 7 (см. рис. 1) свободно перемещающейся вдоль стержня (направляющей) 8 (см. рис. 1), распыляемая мишень 9 (см. рис. 1) вводится в полость подложки электрода с заданной скоростью или выводится из нее.Вращением кассеты с подложками и движением мишени управляет специальное микропроцессорное устройство, в основу которого положены шаговые двига-

тели [10]. Из трех вариантов управления двигателями, рассмотренных Чистяковым М.Г., был выбран «полушаговый» способ, суть которого ясен из анализа рис. 2.

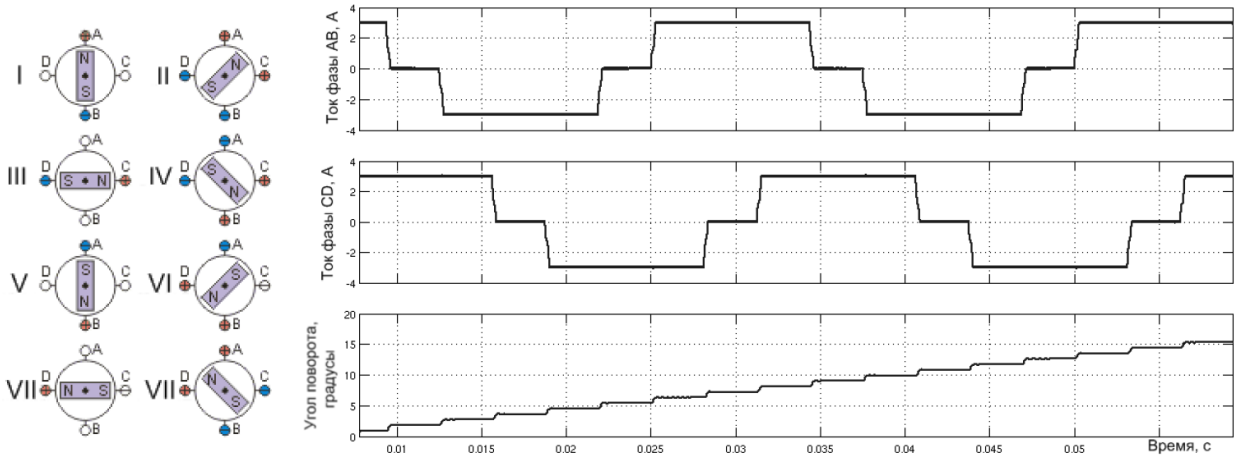


Рис. 2. Положение ротора, токи через обмотки и угол поворота ротора при«полушаговом» способе управления

Кратко техника эксперимента при получении нанопокрытий на поверхности полых электродов выглядит нижеследующим образом. Напаянное на пост ОП-4М экспериментальное устройство с уже установленными видами подложек 4 рис. 1 и нужной мишенью 9 рис. 1 откачивается до вышеуказанного давления. Затем через систему газонапуска в него поступает Ne до давления 200 Па. Молибденовый стержень 10 рис. 1 становится анодом, поскольку через токоввод 11 рис. 1 к нему подводится положительный потенциал от источника питания, а на металлическую кассету 3 подложками через другой токоввод и муфту вращения 5 подается отрицательный потенциал от того же источника питания. Благодаря этому в полости первой подложки зажигается тлеющий разряд в Ne и подложка очищается перед нанесением на ее поверхность пленки с распыляемой мишени.

Программное обеспечение с помощью ПЭВМ позволяет по заданным режимам осуществлять поворот кассеты таким образом, что вторая подложка устанавливается против анода 9 рис. 1 и т.д.

Очищенные подложки поочередно устанавливаются напротив мишени 9 рис. 1, но в случае распыления мишени при вхождении ее в полость подложки, она находится под отрицательным потенциалом, подведенных к ней через токоввод 11, а на подложку подан положительный потенциал через другой токоввод 11 рис. 1 и муфту вращения 5 рис. 1 от одного и того же источника питания. Программное обеспечение в нужных пределах осуществляет введение и выход мишени относительно подложки движением втулки 7 рис. 1.

В нанесении пленки на поверхность полости подложки электрода, в зависимости от требуемого покрытия, экспериментальное устройство после откачки № заполняется другим газом: аргоном, азотом, кислородом и т. п.

В связи с этими особенностями, всякий раз корректируется программное обеспечение функционированием устройства и техникой эксперимента.

Список литературы

[1]. Привалов В.Е., Фотиади А.Е., Шеманин В.Г. Лазеры и экологический мониторинг атмосферы. СПб.: Изд-во «Лань», 2013. 288 с.

[2]. Никифоров Д.К., Коржавый А.П., Никифоров К.Г. Эмиттирующие наноструктуры «металл – оксид металла»: физика и применение: Монография / Под ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 156 с.

[3]. Патент РФ №2175804 от 18.05.2000. БИ №31. Газовый лазер на тлеющем разряде / А.П. Коржавый, А.А. Фомичев, Г.А. Чистяков и др.

[4]. Применение ионизирующего и неионизирующего излучения в опробиотехнологиях / Г.В. Козьмин, А.А. Зейналов, А.П. Коржавый и др. Под общ. Ред. Г.В. Козьмина. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2013. 191 с.

[5]. Коржавый А.П., Капустин В.И., Козьмин Г.В. Методы экспериментальной физики в избранных технологиях защиты природы и человека. Под ред. А.П. Коржавого. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 352 с.

[6]. Марин В.П., Жданов С.М., Пчелинцева Н.И. Основные физические процессы, используемые в технике обеспечения высокой долговечности малогабаритных лазеров на химические активных средах // Наукоемкие технологии. 2009. Т. 10. №11. С. 49-56.

[7]. Технология тонких пленок. Справочник. Под ред. Л. Майселла, Р. Гленга, пер. с англ., Т. 1. М.: Изд-во «Сов. радио». 977. 700 с.

[8]. Технология тонких пленок. Справочник. Под ред. Л. Майселла, Р. Гленга, пер. с англ., Т. 2. М.: Изд-во «Сов. радио». 977. 768 с.

[9]. Очерки истории российской электроники. Вып. 1. Под ред. В.М. Пролейко. М.: Изд-во «Техносфера». 2009. С. 177-210.

[10]. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоиздат. 1987. 200 с.

Никифоров Д.К. – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dm_nikif@rambler.ru.

Пчелинцева Н.И. – канд. техн. наук, доцент кафедры КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pchelintseva.n@yandex.ru.

Чистяков М.Г. – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

D.K. Nikiforov, N.I. Pchelintseva, M.G. Chistyakov

METHODS OF APPLIED PHYSICS IN TECHNOLOGY FOR MODERN OBTAINED ELECTRODE GAS DISCHARGE LASER

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

Proposed, described and implemented cassette technology of films on the inner surfaces of the cylindrical cavity electrodes in small glass devices placed on specialized highvacuum exhaust positions. As an example of the effectiveness of this technology presents methods of obtaining film hollow electrodes for helium-neon and molecular (CO2) gas-discharge lasers miniature sensors and navigation systems for environmental monitoring.
The peculiarity of the device is that using a diode sputtering in vacuum, argon, neon and nitrogen is provided by spraying beryllium, aluminum or zirconium target receiving both metal oxide and nitride or other coatings on surfaces of the hollow electrodes.
Due to the presence in the exhausts posts precision gas launching and units of permanent magnets SmCo-controlled stepper motors, cassettes substrates could perform both circular and longitudinal movement in the glass devices. In addition, the distance "anode-cathode" in the diode system has been able to change with them at the behest of the operator-researcher.

Key words: *electrodes, gas-discharge lasers, target, ion sputtering, bombarding ions.*

Nikiforov D.K., ph.D, docent of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: dm_nikif@rambler.ru.

Pchelintseva N.I., ph.D, docent of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: pchelintseva.n@yandex.ru.

Chistyakov M.G., student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: fn2kf@list.ru.

Д.В. Андреев, А.А. Столяров

МОДИФИКАЦИЯ МДП-СТРУКТУР С ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЛЕНКОЙ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ, ЛЕГИРОВАННОЙ ФОСФОРОМ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Важной задачей современной микро- и наноэлектроники является создание полупроводниковых приборов, интегральных микросхем и других изделий, изготавливаемых на основе структур метал-диэлектрик-полупроводник (МДП), с вожможностью корректировки параметров как в процессе, так и после их изготовления. Для реализации этой задачи необходима разработка специальных диэлектрических пленок, реализующих новые способы модификации их характеристик. Новые диэлектрические пленки должны позволять изменять в широком диапазоне свое зарядовое состояние и сохранять эти изменения стабильными длительное время в процессе эксплуатации. Как было показано [1-3], в качестве таких диэлектрических пленок можно использовать многослойный диэлектрик на основе термической двуокиси кремния, пассивированной слоем фосфорно-силикатного стекла (ФСС). Пленка ФСС толщиной от нескольких единиц до нескольких десятков нм в таких структурах обычно формируется путем легирование термической пленки SiO_2 [1, 3].

В данной работе проведено исследование процессов изменения зарядового состояния МДП-структур с многослойным подзатворным диэлектриком на основе термической пленки SiO_2, легированной фосфором при сильнополевой инжекционной модификации, проводимой при различных режимах инжекции, и выполнена оценка временной и температурной стабильности зарядового состояния диэлектрической пленки после модификации.

В качестве экспериментальных образцов использовались тестовые МДП-конденсаторы на основе термического диоксида кремния (SiO_2) и пленки SiO_2, пассивированной слоем фосфорно-силикатного стекла (ФСС), изготовленные на кремнии n-типа. Двуокись кремния толщиной 30 ÷ 100 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере кислорода при температурах 850÷1000 °С с добавлением 3% HCl. Пленку ФСС формировали диффузией фосфора из газовой фазы путем пиролиза смеси $POCl_3$-O_2 при температуре 900 °С. С целью получения экспериментальных образцов с различной толщиной ФСС варьировалось время загонки фосфора в пределах от 3 до 6 минут. В качестве затвора использовались плёнки поликремния (Si*) толщиной 0,6 мкм, легированные фосфором до 20 Ом/□ и пленки алюминия толщиной 1,2 мкм площадью 10^{-4}÷10^{-2} см^2.

Толщина плёнки ФСС измерялась методом химического травления в селективном травителе (азотная кислота – 31 мл, фтористоводородная кислота – 46 мл, вода деионизованная – 923 мл). Толщина плёнки ФСС определялась как разность толщины диэлектрической плёнки (измеренной элипсометрическим методом) до и после травления [2].

Для инжекционной модификации электрофизических характеристик МДП-структур использовалась сильнополевая туннельная инжекция электронов из кремниевой подложки [1,2] в режиме протекания постоянного инжекционного тока плотностью от 0,1 до 10 мкА/см^2 в диапазоне температур от 20 до 100 °С. В процессе инжекции осуществлялся контроль напряжения на МДП-структуре, что позволило по приращению напряжения на МДП-структуре ΔV_I контролировать изменение зарядового состояния диэлектрической пленки непосредственно в процессе модификации [1,4]. Для определения величины термостабильной компоненты накопленного в диэлектрике отрицательного заряда, после инжекционных воздействий МДП-структуры подвергались отжигу при температуре 200 ºС в течение времени от 200 с до 30 мин. Изменение зарядового состояния МДП-структур также контролировалось с использованием высокочастотного C-V метода.

На рис.1 приведены экспериментальные зависимости изменение напряжения на МДП-структуре в процессе сильнополевой инжекционной модификации (1-1, 2-1) от плотности инжектированного заряда для образцов с различной концентрацией фосфора в пленке ФСС: (1-1) - 0,7%; (2-1) – 1%. Как было показано в предыдущих наших работах [1-2] приращение напряжения на МДП-структуре связано с накоплением отрицательного заряда в пленке ФСС, а величина приращения пропорциональна сдвигу порогового напряжения МДП-транзистора. Следовательно, измеряя приращение напряжения на МДП-структуре ΔV_I, можно контролировать изменение зарядового состояния образца в процессе инжекции электронов, что позволяет проводить прецизионную корректировку пороговых напряжений МДП-приборов. Из зависимостей, приведенных на рис.1, видно, что с увеличением концентрации фосфора возрастают как плотность накапливаемого отрицательного заряда, так и плотность его термостабильной компоненты. Однако с повышением концентрации фосфора возрастает толщина пленки ФСС, что не приемлемо для тонких подзатворных диэлектриков, и более сильно проявляются деградационные процессы при воздействии сильнополевой инжекции. Следовательно, увеличение диапазона коррекции электрофизических параметров МДП-приборов более предпочтительно изменением соотношением между толщинами пленок двуокиси кремния и ФСС. При смещении центроида отрицательного заряда к границе

раздела Si-SiO_2 увеличивается приращение напряжения на МДП-структуре при одной и той же плотности накапливаемого отрицательного заряда.

Кривые 1-2 и 2-2 на рисунке 1 характеризует термостабильную компоненту отрицательного заряда, для получения которой после инжекционной модификации МДП-структуры отжигались при температуре 200 °С в течение 20 мин. Как видно из рисунка 1, термостабильная компонента отрицательного заряда составляет около 60 % от общей плотности заряда, накопленного в диэлектрике в процессе инжекции.

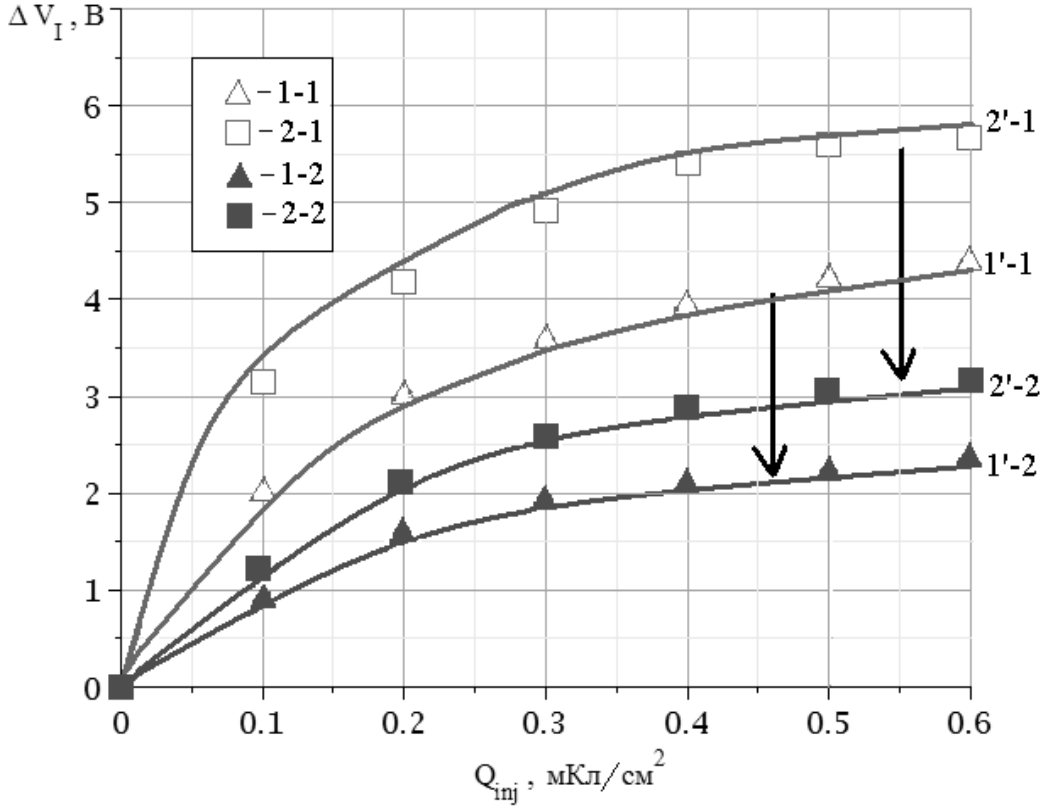


Рис. 1. Экспериментальные (1-1, 2-1, 1-2, 2-2) и расчетные (1'-1, 2'-1, 1'-2, 2'-2) зависимости приращения напряжения на МДП-структуре в процессе модификации (1-1, 2-1) и после отжига при 200 ºС (1-2, 2-2) от плотности инжектированного заряда для образцов с различной концентрацией фосфора в пленке ФСС: (1-1, 1′) - 0,7%; (2, 2′) – 1%

Установлено, что для обеспечения приемлемых значений плотности поверхностных состояний величина инжектированного заряда при корректировке порогового напряжения не должна превышать 0,3 мКл/см^2. Диапазон токового воздействия при изменении зарядового состояния МДП-приборов целесообразно ограничить $10^{-7} \div 10^{-5}$ А/см^2. Уменьшение амплитуды токового воздействия сопровождается трудностями технической реализации и нецелесообразно в связи со значительным возрастанием времени инжекции требуемой величины заряда. Увеличение амплитуды токового воздействия приводит к значительному возрастанию вероятности про-

боя образца, а при инжекции электронов из Si - к повышению плотности поверхностных состояний и генерации положительного заряда в SiO_2 [1,5].

Показано, что при туннельной инжекции электронов в сильных электрических полях отрицательный заряд, захватывающийся в пленке ФСС, можно разделить на две компоненты, одна из которых стекает при отжиге до 200 °С, а другая - термостабильная часть заряда, которая начинает релаксировать лишь при температурах выше 230 °С. На наличие двух компонент отрицательного заряда указывает и присутствие в пленке ФСС электронных ловушек с двумя сечениями захвата [1]. Термостабильная часть отрицательного заряда в пленке ФСС наблюдалась также при ультрафиолетовом облучении структур, проводимом в [3].

В данной работе разработана модель изменения зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой туннельной инжекции электронов в диэлектрик постоянным током. С использованием данной модели были рассчитаны зависимости 1'-1, 2'-1, 1'-2, 2'-2 на рис.1. Используя данную модель можно заранее определять оптимальные режимы сильнополевой инжекционной модификации исходя из требуемой величины корректировки порогового напряжения МДП-транзистора.

Проведенные оценочные расчеты постоянной времени релаксации отрицательного заряда с высокой термополевой стабильностью в диапазоне рабочих температур МДП-приборов, с учетом кривых токов термостимулированной деполяризации и результатов релаксации C-V характеристик в изотермических условиях, дали значение более $4 \cdot 10^8$ с. Следовательно, для получения МДП-приборов с высокой температурной стабильностью после коррекции зарядового состояния структур их необходимо отжигать при температурах не ниже 200 °С, а модификацию характеристик проводить с учетом стекания части заряда при отжиге.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГТУ им. Н.Э. Баумана министерства образования и науки РФ (проект № 1117), а также при финансовой поддержке РФФИ и администрации Калужской области (грант № 14-42-03057).

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Коротков С.И. Инжекционная модификация многослойных диэлектрических слоев структур металл-диэлектрик-полупроводник при различных температурах// Перспективные материалы. 2013. № 7. С.31-36.

[2]. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин Д.С., Михальков А.М. Исследование влияния режимов инжекционной модификации на зарядовое состояние подзатворного диэлектрика МДП-приборов // Перспективные материалы. 2009. № 2. С.45-51.

[3]. Левин М.Н., Гитлин В.Р., Татаринцев А.В., Остроухов С.С., Кадменский С.Г. Рентгеновская корректировка пороговых напряжений в производстве МДП интегральных схем. Микроэлектроника. 2002, т. 31, № 6, с. 408 – 413.

[4]. Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2012, v. 41, p. 012017.

[5]. Lombardo S., Stathis J.H., Linder P., Pey K.L., Palumbo F., Tung C.H. Dielectric breakdown mechanisms in gate oxides// J. Appl. Phys. 2005, v.98, p.121301.

Андреев Дмитрий Владимирович – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

Столяров Александр Алексеевич – д-р техн. наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alalstol@mail.ru.

А.А. Корнеев, С.А. Лоскутов

МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

На сегодняшний день аккумуляторные батареи используются повсеместно. Они являются основой для источников резервного питания, переносной техники, носимых систем радиосвязи.

Потребности в питании современных устройств увеличиваются пропорционально росту их производительности. Но для сохранения эксплуатационных характеристик необходимо обеспечить улучшение массогабаритных параметров батареи. В мире не прекращаются исследования, непрерывно ведутся разработки всё новых и новых типов аккумуляторов. Современная батарея представляет из себя сложное электрохимическое устройство, зачастую с высокотоксичным электролитом, хранящее в себе большой запас энергии [1].

Аккумуляторы бытовых приборов оснащаются системой защиты от таких факторов, как превышение допустимого напряжения, температуры или давления, которые могут привести к возгоранию батареи или взрыву, поэтому безопасность их эксплуатации полностью зависит от качества зарядного устройства.

Современное зарядное устройство должно контролировать с высокой точностью многие параметры аккумулятора, такие как напряжение, ток, температура, время и некоторые специфические параметры для определённых типов батарей. Но, как показывает практика, большинство производимых моделей работает по упрощённой схеме и контролирует только часть важнейших параметров. Это зачастую приводит к значительному сокращению срока службы батареи или выходу её из строя [5].

Целью работы является разработка конструкции модуля управления универсального интеллектуального зарядного устройства на базе производства ОАО «КЭМЗ» г. Калуга, обеспечивающего контроль важнейший параметров работы аккумуляторов. В рамках данной работы рассмотрим модуль управления универсального интеллектуального зарядного устройства.

Модуль управления предназначен для обеспечения заряда-разряда литий-ионных, литий-полимерных, никель-металл-гидридных, никель-кадмиевых, свинцово-кислотных аккумуляторов и для проведения их контрольно-тренировочного цикла.

Устройство функционирует при питании от сети постоянного тока с напряжением 12В с нормами качества электроэнергии в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.309-98.

Диапазон рабочих температур изделия – от минус 10 °С до плюс 50 °С.

Устройство сохраняет текущий режим работы при пропадании питающего напряжения в течение 30 минут и обеспечивает продолжение работы после его восстановления.

Устройство имеет защиту от переполюсовки входного напряжения и сохранять работоспособность при стартерном запуске маршевого двигателя шасси (при снижении напряжения до 6В в течение 15 с), от короткого замыкания в зарядной цепи.

Схема структурная приведена на рис.1.

В процессе заряда-разряда устройство контролирует следующие параметры батареи: наличие напряжения батареи в начале заряда; окончание разряда батареи; окончание заряда батареи, стабилизацию тока заряда в соответствии с режимом заряда АКБ; отклонение тока заряда не более 5 % от установленного значения при всех дестабилизирующих факторах; автоматическое включение на разряд не полностью разряженных аккумуляторных батарей никель-кадмиевой электрохимической системы; включение на разряд АКБ литий-ионной электрохимической системы при проведении КТЦ; автоматическое отключение аккумуляторных батарей от разрядной цепи при достижении установленного напряжения конца разряда и автоматическое включение их на заряд; автоматическое отключение аккумуляторных батарей от зарядной цепи по окончании заряда; защиту зарядно-разрядных цепей от перегрузок, взаимодействие со встроенными в батареи модулями контроля и управления МКУ (при их наличии в батареях); считывание и идентификацию типа и номера АКБ; внесение изменений в «электронный паспорт» АКБ по окончании заряда, (после каждого заряда батареи в «электронном паспорте» должен быть записан очередной номер цикла).

Устройство обеспечивает выдачу следующей визуальной информации (вывод информации на модуль дисплея): наличие напряжения питания; подключение батареи; окончание разряда/заряда; обрыв зарядно-разрядной цепи; индикацию неисправностей, а также выдачу следующей информации на периферийное устройство (на персональный компьютер через интерфейс RS232): режим работы (заряд/разряд); начало и окончание заряда/разряда; текущее время заряда-разряда и напряжение батареи; обрыв зарядной цепи; величина тока заряда-разряда; номер батареи и год выпуска (при наличии МКУ в АКБ); порядковый номер цикла заряда батарей (при наличии МКУ в АКБ); пропадание питающего напряжения.

Основные технические характеристики

- Напряжения питания устройства: +12В
- Частота питающего напряжения: 50Гц.
- Максимальная мощность, потребляемая от сети переменного тока: не более 7,5 Вт.
- Габариты: 339 х 295 х 152 мм.

- Наработка на отказ изделия составляет не менее 4000 часов.
- Диапазон рабочих температур от -40 до +60°С.
- Допустимый диапазон вибраций: 5-80 Гц.

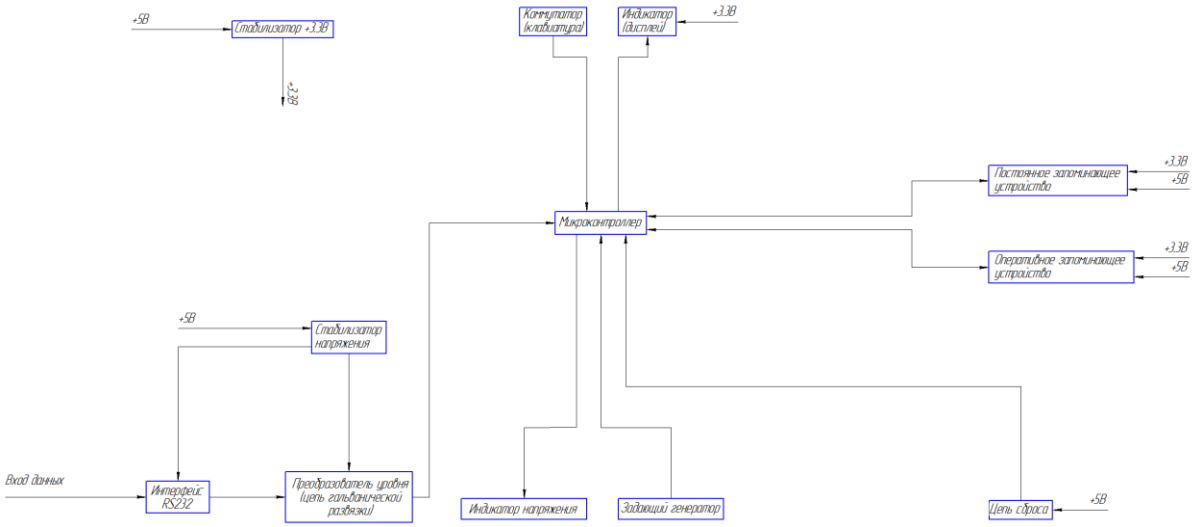


Рис. 1. Схема структурная.

На схеме можно выделить следующие основные функциональные элементы:

- стабилизатор 3.3В
- стабилизатор напряжения 5В
- коммутатор (клавиатуры)
- индикатор (модуля дисплея)
- интерфейс RS232
- преобразователь уровня (цепь гальванической развязки)
- индикатор уровня
- микроконтроллер
- задающий генератор
- цепь сброса
- постоянное запоминающее устройство
- оперативное запоминающее устройство.

Модуль индикации и управления построен на базе микроконтроллера фирмы Atmel ATMega324P [4]. Задачами контроллера являются: обработка нажатия клавиш; преобразование сервисной информации в пользовательскую, отображаемую на дисплее. Также в модуле используются микросхемы DataFlash и EEPROM памяти. В DataFlash хранится журнал работы, информация о поддерживаемых батареях и режимах зарядки для каждой из них. В EEPROM записываются данные о выбранном режиме работы и при неправильном завершении работы, например, при пропадании питания, эти данные используются для автоматического возобновления выбранного режима зарядки.

Для связи с компьютером, например, считывания журнала работы, используется интерфейс RS-232. В качестве преобразователя логических уровней установлена микросхема MAX232. Для обеспечения гальванической развязки порта применена связка интегрального DC-DC преобразователя 5В-5В и микросхемы развязки сигналов ADUM1201R. Для обмена данными между платой управления и платами заряда используется UART интерфейс.

Для формирования внутреннего питающего напряжения переменный ток от сети через входной разъём блока БКУ подаётся на сетевой модуль фильтрации. В этом модуле происходит выпрямление переменного тока и снижение его пульсаций, как низкочастотных, так и высокочастотных. Далее полученное постоянное высокое напряжение подаётся на силовой модуль DC-DC преобразователя, где происходит понижение напряжения до 12 В, которые необходимы для работы платы контроля заряда. В случае подключения изделия к бортовой сети автомобиля 12В, напряжение подаётся в обход модуля преобразователя, непосредственно к выходному фильтру.

Для обеспечения питания платы индикации и цифровой составляющей платы контроля заряда требуется напряжение 5 В и ток порядка 1,5 А. Использовать линейный стабилизатор для понижения напряжения нежелательно из-за больших потерь энергии на выделение тепла. Поэтому для формирования 5В было принято решение использовать модуль DC-DC преобразователя с величиной КПД порядка 95 % и фильтр.

После того как все питающие напряжения в изделии установились, плата индикации и управления проводит «опрос» состояния платы контроля заряда, определяет положение тумблера ВКЛ-ВЫКЛ. Если тумблер находится в положении ВКЛ, происходит запуск изделия.

В процессе работы мною достигнуто улучшение массогабаритных показателей за счет применения элементной базы с корпусами SOIC, SOT и TQFP, предназначенной для монтажа по бессвинцовой технологии[2], снижающей негативное влияние на окружающую среду во всем жизненном цикле изделия. Также повышена надежность данного субблока по сравнению с прототипом за счёт применения современных конструкционных материалов, повышения степени интеграции применяемой элементной базы и уменьшения количества монтажных соединений, применения разъемов повышенной надежности типа SCM, оптимального размещения массивных ЭРИ по периметру платы и вертикального расположения платы в блоке, положительно влияющих на надежность работы блока в условиях повышенной вибрации, размещения периферийных устройств в непосредственной близости от АЦП и тем самым снижения влияния «длинных» цепей на стабильность работы схемы [7].

Стеклотекстолит фольгированный (СТФ) был заменён на импортный теплостойкий стеклотекстолит с рабочей температурой 170 градусов Цельсия (FR) [3].

Схемотехническое решение позволяет уменьшить отходы от АКБ, обеспечить надежность работы аппаратуры, в которой применяется данный АКБ, а также позволяет поддерживать заряд-разряд в соответствии с ТУ, тем самым продлить срок службы за счет наличия цикла заряд-разряд, т.к. на срок службы АКБ влияет глубокий разряд и перезаряд [6].

При использовании предыдущих способов мы в итоге получим устройство с меньшими массогабаритными показателями, с увеличенным коэффициентом надежности, с возможным меньшим числом дефектов, а также уменьшение стоимости конечного устройства за счет применения автоматизированного производства.

Литература

[1]. Коровин Н.В., Скундин А.М. Химические источники тока. Справочник. - М.: МЭИ, 2003. – 740 с.

[2]. Медведев А. М. Сборка и монтаж электронных устройств. - М.: Техносфера, 2007. - 251 с.

[3]. Медведев А. М. Технология производства печатных плат. - М.: Техносфера, 2005. - 183 с.

[4]. Севернс Р., Блум Г. Микросхемы для построения импульсных источников питания. - М. : Макро-Групп, 2012, 20с.

[5]. Шустов М. А. Контроль и защита источников питания. - М.: Додэка-XXI, 2007. – 184 с.

[6]. Ямпурин Н.П. Баранова А.В. Основы надежности электронных средств. - М.: Академия, 2010. – 242 с.

[7]. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. ЭВА: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1983. - 312 с.

Корнеев Александр Анатольевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sas825@yandex.ru.

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru.

Н.Н. Чернова, В.В. Андреев, А.А. Столяров

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СЛАБОТОЧНОГО СТАБИЛИЗАТОРА ТОКА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время высоковольтные слаботочные стабилизаторы тока на основе МДП-транзисторов широко используются в устройствах телефонии, пожарной сигнализации и др. электронных системах, работающих в «дежурном» режиме.

Целью данной работы являлся оптимизация технологического процесса изготовления высоковольтного слаботочного стабилизатора тока для получения необходимой вольт-амперной характеристики.

Для изготовления высоковольтного слаботочного стабилизатора тока (КЖ-101А) использовались пластины, с исходной структурой $100\frac{35КЭФ27}{420КЭС0,01(100)}$.

При получении вольт-амперной характеристики кристаллов изделия было установлено, что некоторые из них начинают нормальное функционирование только при $U = 2,0 - 5,0\ B$. Норма по ТУ $U = 0,7\ B$.

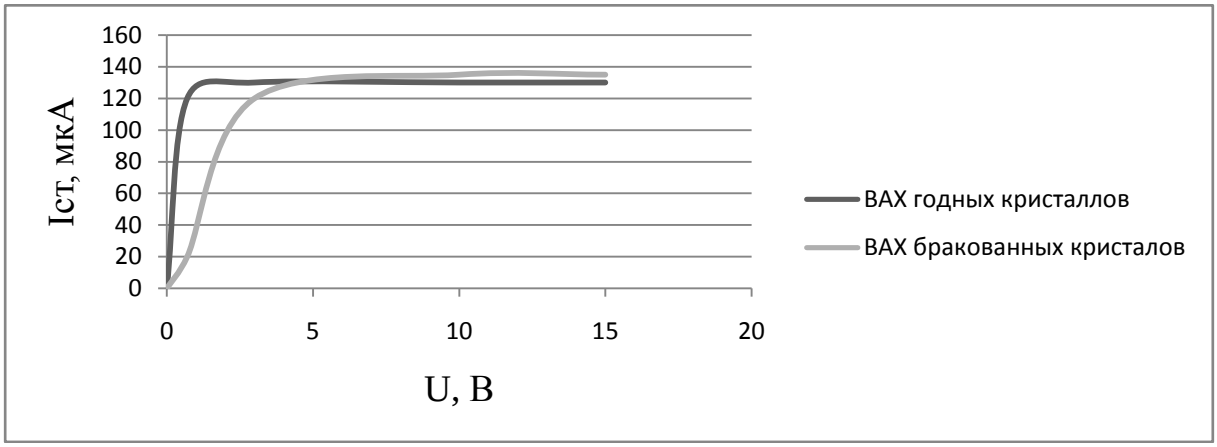


Рис.1. Вольт-амперная характеристика годных и бракованных кристаллов

Проанализировав технологию (LOCOS), пришли к выводу, что данная проблема возникает из-за образования так называемого «птичьего клюва». Он образуется под нитридной маской, создавая нерабочий участок p-n-перехода: при подлегировании канала для получения требуемого тока стабилизации $I_{ст}$ часть кремния под затвором оказывается неподлегированной.

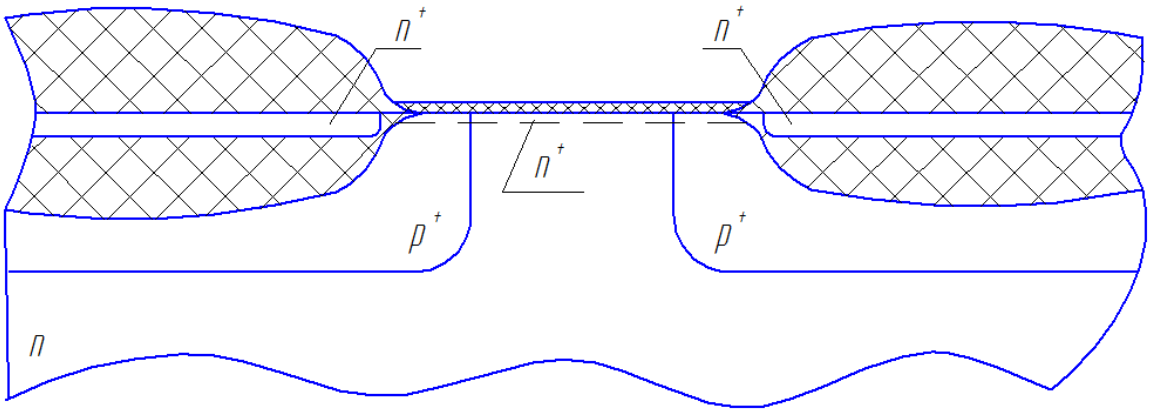


Рис. 2. Структурная схема

Было принято решение о подборе времени освежения пластин и режимов разгонки истоковых областей для получения максимально возможного выхода годных изделий КЖ-101А.

Исходный режим разгонки фосфора имел следующие параметры: при $T = 1000°C$ 5 минут отжига в сухом O_2 + 30 влажного + 5 в сухом O_2. Были получены параметры: поверхностное сопротивление $\rho_s = 8 - 10 \frac{Ом}{\square}$, глубина $X_j = 0,5 - 0,6 мкм$.

1) На операции разгонка фосфора был подобран оптимальный режим: отжиг при температуре $T = 1050°C$ 20 минут в сухом O_2 + 20 влажного + 20 в сухом O_2. Таким образом, время разгонки было увеличено на 30минут.

В результате были получены следующие параметры: поверхностное сопротивление $\rho_s = 6 - 8 \frac{Ом}{\square}$, глубина $X_j = 1,8 - 2,5 мкм$.

Исходное время освежения было равно $t = 3 мин$, что оказалось недостаточным.

2) Для этого на одной рабочей пластине партии СТ-7 (пластина №1) было выполнено освежение в течении $t = 7 мин$. В результате этого было получено существенное уменьшение «птичьего клюва».

Рабочая пластина была пущена на следующие операции в соответствии с технологическим маршрутом.

Пластина №1 прошла все операции по технологическому маршруту.

На участке измерения электрических параметров была получена вольт-амперная характеристика, соответствующая характеристики годных кристаллов.

По результатам проведённой работы был сделан вывод, что при изменении времени освежения и параметров разгонки фосфора существенно повышается выход годных изделий.

Было принято решение о запуске пластин партии СТ-7 с использованием полученных режимов. Полученные вольт-амперные характеристики пластин партии СТ-7 аналогичны параметрам пластины №1 и соответствуют норме.

Результаты работы были использованы для оптимизации технологического процесса изготовления кристалла высоковольтного стабилизатора тока на ОАО «Восход» - Калужский радиоламповый завод.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А. Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник: Монография.− М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

[2]. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин М.С., Коротков С.И. Влияние температуры на инжекционную модификацию диэлектрических пленок МДП-структур. Перспективные материалы. 2008, № 5, с. 26–30.

[3]. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2-х кн. Кн.1/ Пер. с англ. Под ред. Р.А.Суриса. - М.: Мир, 1984. - 456 с.

Чернова Наталья Николаевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nataly_mrr@gmail.com.

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

Столяров Александр Алексеевич – д-р техн. наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alalstol@mail.ru.

УДК 538.971

Д.В. Капустин

ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ НАТРИЙ – ВАНАДИЕВЫХ ОКСИДНЫХ БРОНЗ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Разработана методика измерения параметров кристаллической структуры натрий – ванадиевых оксидных бронз с точностью до пятого знака после запятой с использованием «внутреннего эталона», в качестве которого был использован порошок германия с размерами частиц порошка 5 – 10 мкм.

Ключевые слова: *натрий - ванадиевые оксидные бронзы, рентгеноструктурный анализ, внутренний эталон, параметры кристаллической решетки.*

Введение. Важным классом неорганических соединений являются натрий - ванадиевые оксидные бронзы $Na_xV_2O_5$, существующие в области x = 0,22 – 0,40. Они характеризуются моноклинной кристаллической структурой, при этом элементарные ячейки выстроены таким образом, что образуют сплошные каналы, вдоль которых может происходить диффузионное перемещение ионов натрия с низкой энергией активации диффузии. Одно из перспективных областей применения натрий – ванадиевых оксидных бронз – материал термоэмиттеров ионов нитросоединений в селективных поверхностно-ионизационных датчиках и газоанализаторах паров взрывчатых веществ, причем эффективность работы материала определяется диффузионной подвижностью ионов натрия между элементарными ячейками вдоль каналов. Указанная диффузионная подвижность ионов натрия зависит от параметров кристаллической структуры оксидной бронзы, которая, в свою очередь, определяется содержанием натрия в оксидной бронзе. Отметим, что в литературе известны параметры кристаллической структуры только для бронзы состава $Na_{0,33}V_2O_5$, измеренные до третьего знака после запятой [1]. Целью данной работы являлась разработка метода повышения точности измерения параметров кристаллической структуры оксидных бронз с использованием внутреннего эталона.

Технология выращивания монокристаллов оксидных бронз. Высокочистые поликристаллы оксидных бронз синтезировали по реакции (1) при температуре 650 ^{0}C в течение 60 часов в атмосфере воздуха.

$$\frac{x}{2} * Na_2O_2 + V_2O_5 \longrightarrow Na_xV_2O_5 + \frac{x}{2} * O_2 \quad (1)$$

Выращивание монокристаллов бронз $Na_xV_2O_5$ при x = 0,23; 0,28; 0,33 проводили метода Бриджмена в кварцевых ампулах со скоростью кристаллизации 9,5 мм/час [2]. На Рис. 1 приведен внешний вид монокристалла бронзы $Na_{0,33}V_2O_5$ диаметром 7 мм и длиной 50 мм (слева) и микроструктура поперечного среза монокристалла (справа). Масштаб справа внизу – 10 мкм.

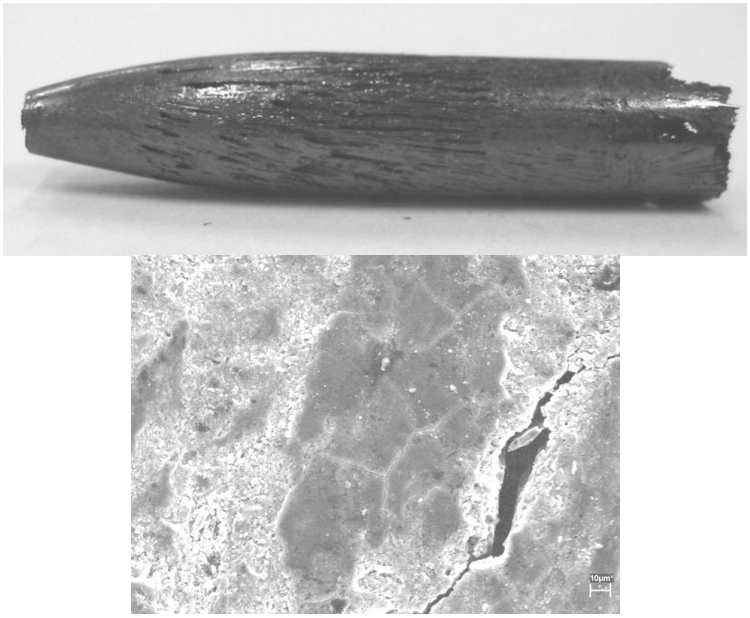


Рис. 1. Внешний вид и микроструктура поперечного среза монокристалла оксидной бронзы состава $Na_{0,33}V_2O_5$

Монокристаллы бронзы имели блочную структуру, что связано с высокой вязкостью расплава при кристаллизации, однако поверхностность всех блоков на поперечном срезе соответствовала кристаллографической плоскости [010].

Методика исследования параметров кристаллической структуры. Образцы для исследований вырезали алмазным диском толщиной 0,2 мм вдоль и поперек слитков монокристаллов. На поверхность образцов с использованием органического биндера на основе нитроклетчатки наносили тонкий слой порошка германия с размерами частиц порошка 5-10 мкм. Рентгенограммы образцов регистрировали с использованием автоматизированной установки ДРОН-3. Порошок германия был использован нами в качестве «внутреннего эталона» при расшифровке рентгенограмм, так как параметры кристаллической структуры германия хорошо известны из литературы вплоть до пятого знака после запятой. На Рис. 2 в качестве примера приведена рентгенограмма поперечного среза монокристалла оксидной бронзы состава $Na_{0,33}V_2O_5$.

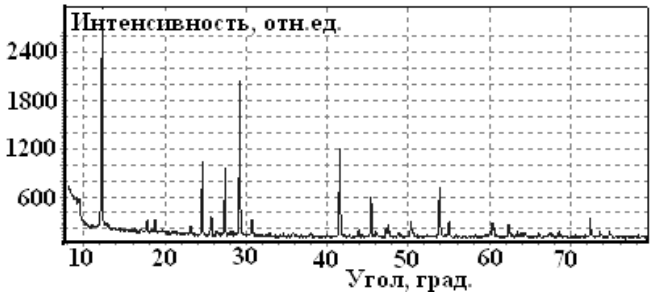


Рис. 2. Рентгенограмма поперечного среза монокристалла оксидной бронзы состава $Na_{0,33}V_2O_5$

Пики при углах $27,30^0$; $45,32^0$; $53,70^0$ и $72,82^0$ на рентгенограмме соответствуют отражению от порошка германия.

Результаты исследований. В таблице приведены результаты исследования параметров кристаллической структуры оксидных бронз $Na_xV_2O_5$.

x	c, Å	b, Å	a, Å	β, град.	V, Å^3
0,23	15,4033(6)	3,6089(1)	10,0738(4)	109,58(4)	527,61
0,28	15,3913(7)	3,6098(3)	10,0731(6)	109,522(5)	527,48
0,33	15,3992(8)	3,6113(2)	10,0719(5)	109,524(4)	527,92
0,33 по [1]	15,435	3,612	10,078	109,60	529,31

Установлено, что с ростом величины x значения **c**, угол **β** и объем элементарной ячейки **V** принимают минимальные значения при x = 0,28. Это свидетельствует об упорядочении ионов натрия в кристаллической структуре оксидной бронзы при x = 0,28 и может проявиться в увеличении диффузионной подвижности ионов натрия в структуре бронзы.

Заключение. Измерение параметров кристаллической структуры натрий – ванадиевых оксидных бронз методом рентгеноструктурного анализа с использованием порошка германия, нанесенного на поверхность образца в качестве «внутреннего эталона» позволило, как видно из таблицы, на один – два порядка увеличить точность измерения параметров кристаллической структуры.

Литература

[1]. Фотиев А. А., Волков В.Л., Капусткин В.К. Оксидные ванадиевые бронзы. М.: «Наука». 1978. 176 с.

[2]. Поверхностно-ионизационные свойства монокристаллов и поликристаллов оксидных бронз щелочного металла. / Д. В. Капустин [и др.] // Перспективные материалы. 2013. № 6. С. 15-21.

Капустин Дмитрий Владимирович — аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

Научный руководитель: **Коржавый Алексей Пантелеевич** — д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

D.V. Kapustin

PECULIARITY OF THE INCREASE MEASURING PRECISION FOR THE ALKALI-VANADIUM OXIDE BRONZES CRYSTAL STRUCTURE PARAMETERS

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

The method of the crystal structure parameters measuring with the precision up to five sign after point was developed. The 5-10 micro-meter particles germanium powder was used as a inside standard.

Keywords: *Alkali-vanadium oxide bronze, x-ray structure analysis, inside standard, Натрий - ванадиевые оксидные бронзы, crystal structure parameters*

REFERENCES

[1]. Fotiev A.A., Volkov V.L., Kapustkin V.K. Oxide vanadium bronzes. M.: Nauka, 1978. 176 p.

[2]. Surface Ionization Properties of Single Crystals and Polycrystals of Alkali Metal Oxide Bronzes / D.V. Kapustin [et al.] // Inorganic Materials: Applied Research. 2013. Vol. 4, No. 5. P. 420–425.

Kapustin Dmitriy Vladimirovich, postgraduate of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: fn2kf@list.ru.

Scientific adviser: **Korzhavyi A.P.**, Dr. Sc. (Eng.), professor of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: fn2kf@list.ru.

Р.О. Бут, С.А. Лоскутов

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АМПЛИФАЗОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ДИАГРАММ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

До недавнего времени измерение параметров антенных устройств в основном проводилось в дальней зоне.При этом необходимое расстояние между испытуемой антенной и вспомогательным источником определяется рабочей длиной волны и размерами их апертур и составляет несколько километров.

Однако традиционные методы дальней зоны имеют ряд существенных недостатков и ограничений.Эти недостатки прежде всего обусловлены влиянием различных предметов на подстилающей поверхности полигона и влиянием помех на измерительную аппаратуру [1].

Для преодоления технических трудностей и устранения недостатков методов дальней зоны в настоящее время широко используются измерения в ближней зоне антенных устройств. Наиболее распространенными являются коллиматорный и амплифазометрический (голографический) методы.

Подробнее остановимся на амплифазометрическом методе. Его реализация стала возможной только после решения широкого круга научных и технических задач в области электродинамики и вычислительной техники, голографии и оптики, математической физики и вычислительной математики, автоматизации измерений и оптимальной обработки информации [1]. С метрологической точки зрения, этот метод так же более сложен, чем метод дальней зоны. В методе дальней зоны отклик испытуемой антенны на плоскую волну получается непосредственно в процессе измерения. В случае же амплифазометрического метода сначала необходимо определить векторное поле на поверхности вблизи антенны, а затем по дифракционным формулам пересчитать его в диаграмму направленности [3].

Типичная схема амплифазометрической измерительной установки представлена на рисунке 1.

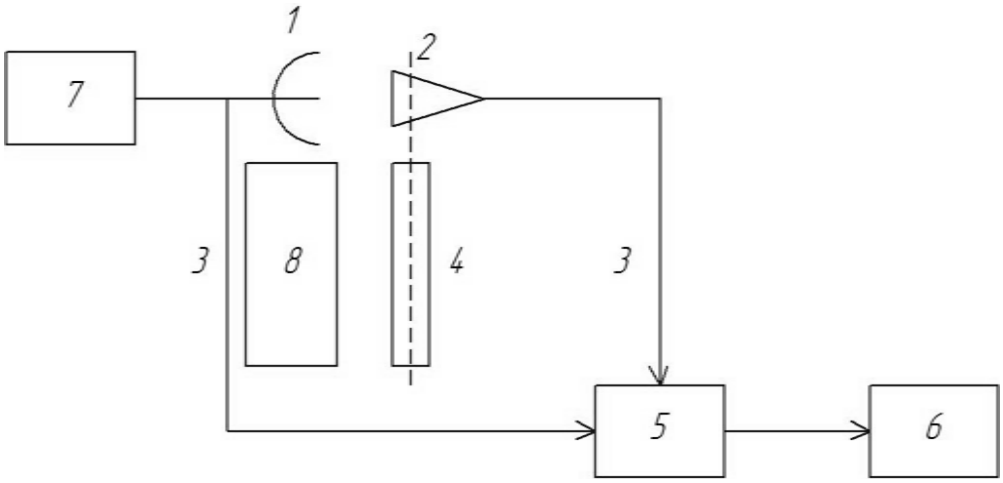


Рисунок 1.1 Структурная схема голографической измерительной установки.
1 – испытуемая антенна, 2- измерительный зонд, 3 – линия передачи,
4 – механизм перемещения зонда, 5 – амплифазометр,
6 – устройство регистрации,

Амплифазометрический метод в первом приближении заключается в следующем. Небольшая слабонаправленная измерительная антенна – зонд – механически перемещается вблизи испытуемой антенны. Для каждого пространственного положения зонда измеряются и запоминаются амплитуда и фаза сигнала на выходе испытуемой антенны. После окончания этой процедуры набор измеренных данных – массив комплексных чисел $\{E_n\}$ (индекс n соответствует n-му пространственному положению измерительной антенны) – подвергается обработке. В общем случае обработка сводится к суммированию на ЭВМ комплексных чисел с некоторыми весовыми коэффициентами D_{ni}[1]:

$$F_i = \sum_n D_{ni} \cdot E_n,$$

где F_i – массив значений диаграммы направленности для i-ых угловых ориентаций; D_{ni} – весовые коэффициенты, определяющие связь параметров в ближней и дальней зонах антенны; E_n – массив значений амплитудно-фазового распределения в ближней зоне антенны.

При реализации амплифазометрических измерений приходится решать следующие основные задачи: выполнение сканирования ближнего поля антенного устройства, передача СВЧ-сигнала от неподвижного генератора к движущейся измерительной антенне, организация измерительно-вычислительного комплекса и разработка программного обеспечения. Решение каждой из представленных задач накладывает определенные условия и ограничения на техническую и программную реализацию амплифазометрического метода.

Одна из трудностей создания механических сканеров состоит в обеспечении высокой точности механического перемещения. Например, для планарных измерений отклонение измерительной антенны от плоскости сканирования не должно превышать (0,003...0,015)λ, т. е. десятых долей

единиц миллиметров в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн [5]. Такие жесткие требования к точности лимитируют размеры сканирующего устройства.

Второй трудностью реализации систем активного зондирования является необходимость фазостабильности (с погрешностью не хуже нескольких градусов) передачи сигнала к измерительной антенне или от нее. Для этого можно использовать:

1. Гибкий коаксиальный кабель, радиус изгиба которого должен либо мало меняться, либо поддерживаться постоянным с помощью специальной механической системы;

2. Систему отрезков волноводов или жестких коаксиальных кабелей, соединенных вращающимися сочленениями;

3. Перемещение синхронно с измерительной антенной штыря, погруженного в разрез стенки волновода.

Основными радиоизмерительными приборами в комплексе являются: амплифазометр и установка для генерации СВЧ сигнала, включающая генератор и усилитель мощности.

Амплифазометр и генератор должны быть согласованы, прежде всего, по чувствительности – уровню генерируемой мощности. Суммарное ослабление при передаче сигнала к измерительному входу амплифазометра складывается из потерь в линиях передачи и потерь при передаче через свободное пространство.

Кроме указанных радиоизмерительных приборов в состав измерительного комплекса обычно входят: СВЧ коммутаторы (для калибровки измерительных приборов и проверки работоспособности комплекса); вспомогательные измерительные приборы (например, частотомер, измеритель КСВН), а также устройства съема данных о текущих координатах измерительной антенны и/или опорно-поворотного устройства, на котором установлена испытуемая антенна, и блоки управления этими механическими системами.

Наконец, неотъемлемой частью комплекса является ЭВМ вместе с согласователями интерфейсов приборов и устройств с ее общей шиной. Наличие в составе комплекса ЭВМ практически обязательно из-за большого объема регистрируемых данных и необходимости последующих вычислений характеристик поля излучения антенны.

В заключении можно сказать, что амплифазометрический метод, несмотря на сложность, является зачастую единственно возможным методом определения характеристик направленности крупногабаритных антенн и антенн средних размеров, работающих в СВЧ диапазоне.Чрезвычайно высокая информативность и гибкость позволили применить его не только для решения одной из принципиальных проблем техники антенных измерений – восстановления поля излучения антенн в дальней зоне по полю в ближней зоне, но и решения ряда других важных задач антенной техники, в ча-

стности дефектоскопии систем фазированных антенных решеток (ФАР), дефектоскопии антенных обтекателей, исследования профиля больших зеркальных антенн и т. д.

Достоинство голографического метода состоит еще и в том, что благодаря гибкому сочетанию с ЭВМ он позволяет сравнительно легко и быстро определить всю пространственную диаграмму направленности или ее отдельные сечения.

Список литературы.

[1]. *Бахрах Л. Д., Каменский С. Д., Курочкин А. П.* Методы измерений параметров излучающих систем в ближней зоне. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.

[2]. *Марков В. И., Усин В. А., Помазанов С. В., Усина В. А.* Измерительно-моделирующие комплексы для настройки и измерения параметров антенн. // Каталог «Крымской конференции «СВЧ и телекоммуникационной техники 2008», 2008, Т. 1, с. 726.

[3]. *Воронин Е. Н., Нечаев Е. Е., Шашенков В. Ф.* Реконструктивные антенные измерения. – М.: Наука. Физматлит, 1995. – 352 с.

[4]. *Бузов А. Л., Тимашков В. А.* Опытно-расчетная методика определения пространственных характеристик антенн по результатам измерений амплитудно-фазового распределения ближнего поля. // Электроника и техника СВЧ, КВЧ и оптических частот. 2003. Т. 11, №1(37), с. 34 - 42.

[5]. *Захарьев Л. Н., Леманский А. А., Турчин В. И. и др.*Методы измерения характеристик антенн СВЧ. Радио и связь, 1985. – 368 с.

Бут Роман Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: madara_40_rus@mail.ru.

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru.

И.В. Соловьев, А.А. Столяров

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГОВОГО НАПРЯЖЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИОДНЫХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Полевые транзисторы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-транзисторы) нашли широкое применение в современной электронике. Одной из важнейших характеристик для МДП-транзисторов с индуцированным каналом является пороговое напряжение. Это напряжение на затворе, которое приводит к образованию канала между стоком и истоком, открытию транзистора и возникновению заметного тока стока. Как и большинство параметров электронных устройств, оно существенно зависит от температуры. МДП-транзисторы могут быть использованы в качестве датчиков накопленной дозы радиационного облучения. Пороговое напряжение является косвенным параметром, характеризующим величину полученной дозы [1], [2].

Под действием радиации в веществе протекают ионизационные процессы. Наибольшее влияние на параметры транзисторного датчика оказывают электронно-дырочные пары, сгенерированные в слое диэлектрика. В оксиде кремния электрон обладает гораздо большей подвижностью, чем дырка и он покидает диэлектрик в течение нескольких пикосекунд. В самом начале процесса некоторая часть электронов и дырок рекомбинирует. Дырки, избежавшие начальной рекомбинации, обладают небольшой подвижностью и остаются недалеко от их точки генерации, вызывая отрицательный сдвиг порогового напряжения в МДП-транзисторе. Дырки также могут перемещаться под действием внешнего электрического поля к границам разделов материалов. После достижения границы с кремнием некоторая часть перемещающихся дырок попадает в относительно глубокие потенциальные ямы диэлектрических ловушек. Данные ловушки могут сохранять своё состояние длительное время. Захваченные дырки вызывают смещение порогового напряжения, которое может сохраняться годами.

Пороговое напряжение изменяется под действием радиации [3], но оно также может существенно изменяться под действием температуры. Для повышения точности транзисторных датчиков необходимо обеспечить высокую температурную стабильность измерений. Существует несколько методов получения температурно-независимых результатов измерений. К ним относятся: метод измерения порогового напряжения вблизи точки нулевого температурного коэффициента, метод компенсации смещения с использованием температурных датчиков и метод компенсации с использо-

ванием спаренных полевых транзисторов с каналами n- и p-типа. Объединение нескольких электронных компонентов на одном кристалле позволяет использовать несколько методов одновременно для повышения температурной стабильности.

Более подробно рассмотрим метод компенсации смещения с использованием температурных датчиков. Наиболее просты способом измерения температуры вблизи датчика является создание специальной измерительной структуры на диодных сенсорах температуры. В интегральный датчик добавляется дополнительный полевой транзистор с p-каналом. Переход сток-подложка может служить p-n переходом для измерения температуры (рисунок 1).

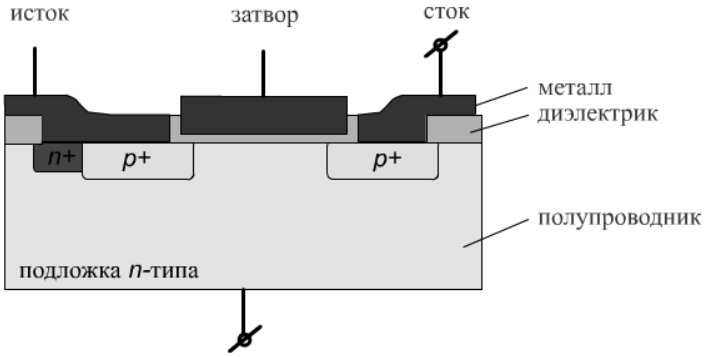


Рис 1. Использование полевого транзистора с каналом p-типа в качестве диодного датчика температуры.

Ток через p-n переход определяется по формуле [4]:

$$I_d = I_0\left(e^{\frac{qU}{bKT}} - 1\right),$$

где I_0 - обратный ток диода;

q - заряд электрона;

b - коэффициент идеальности p-n перехода;

K - постоянная Больцмана;

T - температура перехода.

Выразив T получим:

$$T = \frac{qU}{bK\ln\left(\frac{I_d}{I_0} + 1\right)}$$

q, b, K, I_0 не зависят от температуры. Если поддерживать ток через диод I_d постоянным, то температура будет линейно зависеть от напряжения на диоде. Должна выполняться зависимость:

$$T = A \cdot U + B$$

Чтобы определить коэффициенты A и B, необходимо измерить две пары параметров T_1, U_1 и T_2, U_2 при постоянном токе через диод. После этого можно решить линейную систему с двумя неизвестными и получить экспериментальные значения линейных коэффициентов.

Для осуществления этого метода необходимо поддерживать ток через диод постоянным. Схема измерения приведена на рисунке 2.

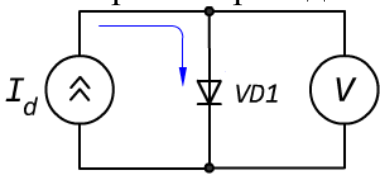


Рис. 2. Схема измерения температуры
с использованием диодного датчика.

При измерениях можно использовать установку определения порогового напряжения полевых транзисторов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник, в которой реализован управляемый источник тока.

Пороговое напряжение может быть определено по формуле [4]:

$$U_{TH} = U_{FB} + U_{inv} + \gamma\sqrt{U_{inv}},$$

где U_{FB} - напряжение плоских зон;

U_{inv} - инверсное напряжение;

γ - коэффициент регулирования подложки.

U_{FB} и γ не зависят от температуры, и

$$\frac{dU_{TH}}{dT} = \left(1 + \frac{\gamma}{2\sqrt{U_{inv}}}\right)\frac{dU_{inv}}{dT}$$

Измерения показывают, что температурный коэффициент для транзисторных датчиков на основе МДП-транзисторов с каналом n-типа, изготовленных по технологии ИМС 564 серии имеют температурный коэффициент - 3мВ/К. При цифровой обработке возможно вносить температурную корректировку, что позволяет повысить температурную стабильность измеряемого порогового напряжения.

Работа выполнена в рамках реализации проектов министерства образования и науки РФ, а также при финансовой поддержке РФФИ и администрации Калужской области (грант № 12-02-97533), фонда содействия развития малых форм предприятий в научно- технической сфере в рамках программы У.М.Н.И.К. (грант №1119ГУ2/2013).

Список литературы

[1]. *Andreev V.V., Bondarenko G.G., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A.* Multilevel current stress technique for investigation thin oxide layers of MOS structures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 41 (2012) 012017.

[2]. *Holmes-Siedle A., Adams L.* Handbook of Radiation Effects. — Oxford University Press. — 2002. — 644 p.

[3]. *Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А*. Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник: Монография. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 — 142 с.

[4]. Тице У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Пер. с нем. — М.: ДМК Пресс, 2008. — 832 с.

Соловьев Илья Викторович — аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: solo1511@yandex.ru.

Столяров Александр Алексеевич – д-р техн. наук, заместитель директора по научно-исследовательской работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alalstol@mail.ru.

А.И. Скольник, С.А. Лоскутов

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИСДЛЯ РАЗРАБОТКИ СТЕНДА ПРОВЕРКИ ЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА КОНТРОЛЯ МОЩНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Микросхемы программируемой логики, или ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы) – одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной цифровой электроники. По сравнению со специализированными цифровыми микросхемами ASIC, цикл разработки устройств на ПЛИС занимает значительно меньшее время и неизмеримо дешевле.

В настоящее время ведущими мировыми производителями ПЛИС являются фирмы Xilinx и Altera. Немаловажным является тот факт, что САПР минимальной конфигурации этих фирм распространяется бесплатно, а его возможности вполне достаточны для разработки цифровых устройств среднего уровня.

В данной работе был разработан проект ПЛИС из принципиальной электрической схемы стенда проверки электронного узла. Была использована ПЛИС фирмы Xilinx семейства Spartan-3 XC3S50, архитектура которой относится к типу FPGA (fieldprogrammablegatearray).

Если предыдущие поколения САПР ориентировались преимущественно на графический ввод принципиальной схемы проекта, то текущие версии САПР Xilinx предоставляют богатые возможности к описанию проекта пользователя на так называемых языках описания аппаратуры HDL (hardwaredescriptionlanguages). Для разработки данного проекта использовалась САПР Xilinx ISE DesignSuite. Проект построен таким образом, что внешне проект представлен в виде принципиальной схемы, а внутренне его модули описаны на языках HDL. Несомненное удобство данной САПР в том, что она позволяет использовать внутри одного проекта описание модулей на двух языках – VHDL и Verilog. Это позволяет работать над одним проектом нескольким людям, которые могут не согласовывать выбор языка описания друг с другом, а спокойно использовать более удобный.

Структурное представление проекта и связи между его модулями приведено на рисунке 1.

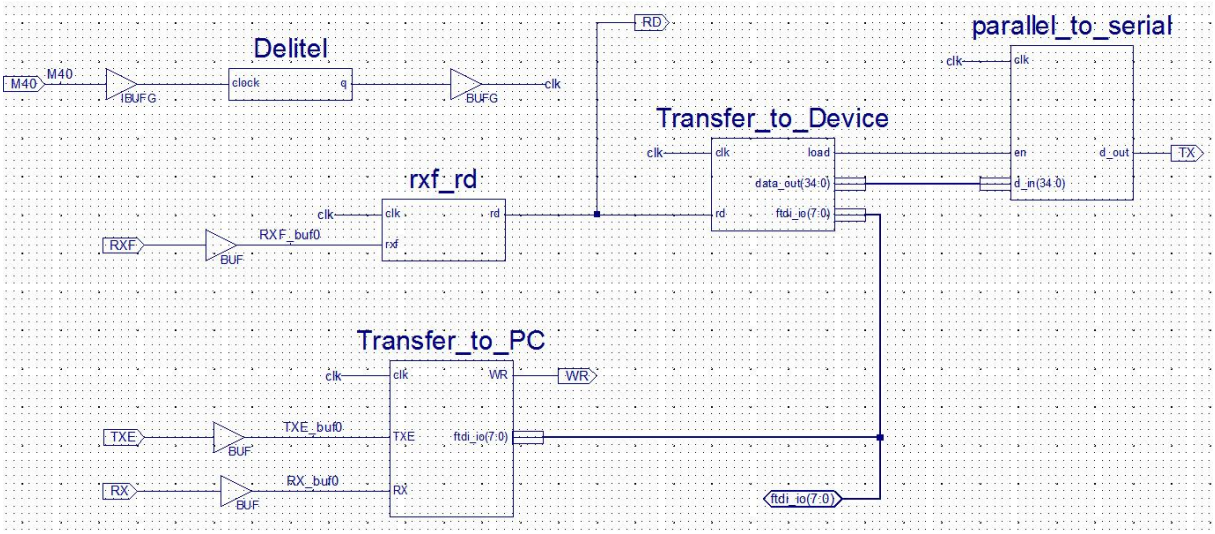


Рис.1. Структура проекта разрабатываемого стенда в САПР ISE DesignSuite.

Как видно из рисунка, представление проекта является модульно-схемотехническим, т.е. проект состоит из компонентов, которые соединены друг с другом как интегральные микросхемы на схемах электрических принципиальных. Однако данные компоненты не являются реальными физическими микросхемами, а представляют собой всего лишь графическое представление описанных на языках HDL модулей. Причем данные модули могут как иметь, так и не иметьреальные физические микросхемы-аналоги, т.е. выполненные «в железе». Таким образом, можно описать нестандартные элементы, микросхем-аналогов которых просто нет на рынке.

Рассмотрим довольно простой модуль данного проекта под названием «Delitel». Он описан на языке VHDL. Программный код данного модуля представлен на рисунке 2.

Данный модуль представляет собой обычный делитель частоты тактового сигнала, который вполне можно реализовать и на микросхемах с «жесткой» логикой. По фронту (положительному перепаду) тактового сигнала будет происходить инкрементирование внутреннего сигнала number, который является не одноразрядным, а представляет собой 5-разрядную шину. После того как 4-й разряд примет значение логической единицы происходит обнуление сигнала. Выходной сигнал q принимает значение третьего разряда шины number. Таким образом происходит деление частоты входного тактового сигнала clk на 16 (2^4=16).

```
1  library IEEE;
2  use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
3  use IEEE.STD_LOGIC_ARITH.ALL;
4  use IEEE.STD_LOGIC_UNSIGNED.ALL;
5  use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
6  entity Delitel is
7      Port ( clock : in  STD_LOGIC;
8                 q : out  STD_LOGIC);
9  end Delitel;
10 architecture Behavioral of Delitel is
11 signal number : STD_LOGIC_VECTOR (4 downto 0):= (others =>'0');
12 begin
13 process (clock) begin
14     if clock'event and clock = '1' then
15        if number = "01111" then
16          number <= "00000";
17            else number <= number + 1;
18         end if;
19        end if;
20     end process;
21     q <= number(3);
22 end Behavioral;
23
```

Рис.2. Программный код модуля «Delitel».

Для того чтобы промоделировать данный модуль, проверить правильность его функционирования и устранить ошибки, создается тестировочный файл VHDL TestBench. Его программный код мы приводить не будем, приведем результаты моделирования на рисунке 3.

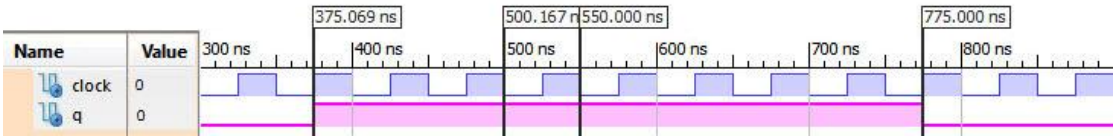


Рис.3. Результаты моделирования модуля «Delitel».

Как видно из рисунка, на вход модуля поступает тактовый сигнал сигналclock с периодом 50 нс, на выходе модуля формируется сигнал q с периодом (775-375)*2 = 800 нс. Таким образом, как и подразумевалось, наш модуль является делителем частоты тактового сигнала. Он понижает ее в 800/50 = 16 раз.

Остальные модули проекта мы раскрывать не будем, т.к. они являются более сложными и требуют детального изучения, а также более глубоких знаний языка.

Таким образом, применение ПЛИС в данном проекте позволяет не только эффективно выполнить поставленную задачу по разработке стенда проверки, но и сделать это в короткие сроки с малыми затратами материальных средств.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. И.Е.Тарасов. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС с применением языка VHDL. Москва, «Горячая линия – телеком», 2005 г.

[2]. Д.С.Потехин, И.Е.Тарасов. Разработка систем цифровой обработки сигналов на базе ПЛИС. Москва, «Горячая линия – телеком», 2007 г.

[3]. В.П. Бабак, А.Г. Корченко, Н.П. Тимошенко.Справочное пособие по основам языка VHDL. Москва, Издательский дом «Додэка-XXI», 2008 г.

[4]. Стивен Смит. Цифровая обработка сигналов. Практическое руководство для инженеров и научных работников. Перевод с английского. Москва, Издательский дом «Додэка-XXI», 2008 г.

[5]. П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство схемотехники. Перевод с английского. Москва, издательство БИНОМ, 2012 г.

Скольник Алексей Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alex-fbr@yandex.ru.

Лоскутов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SergeL-75@yandex.ru.

В.В. Андреев, И.А. Рытиков

РАЗРАБОТКА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО БЛОКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОСХЕМЫ 1135СА2

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данная работа посвящена разработки специального измерительного блока, для контроля параметров микросхемы 1135СА2ТМК, с помощью стенда NI PXI EXPRESS, который работает с помощью программного обеспечения LabVIEW.

Алгоритм работы приведен на рисунке 1.

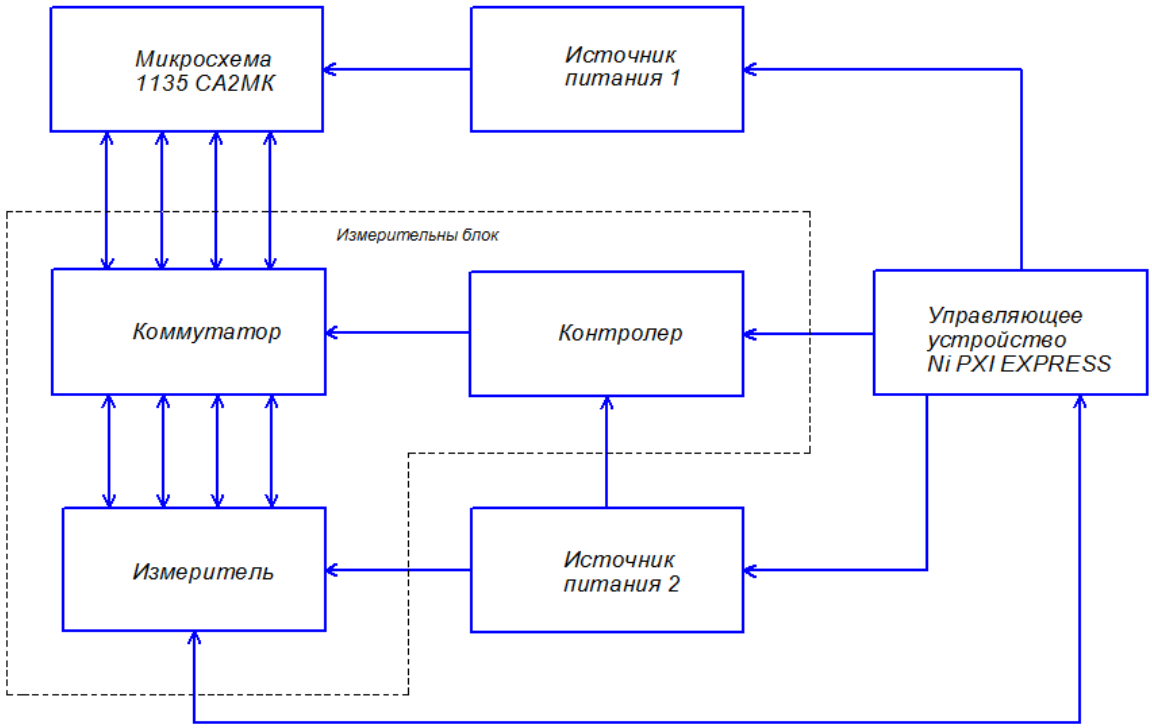


Рисунок 1. Структурная схема измерительной установки.

На схеме можно выделить следующие основные функциональные элементы:

1. Микросхема
2. Источник питания 1,2
3. Коммутатор
4. Контролер
5. Управляющее устройство
6. Измеритель

Все управления проводит управляющее устройство на программном обеспечении LabVIEW.

Контролер нужен для преобразования кода с управляющего устройства в сигнал на коммутатор. Для измерений подается питание 5 В ± 5%.

Для проведения измерений используются приборы: милливольтметр, вольтметр, генератор, осциллограф.

В данном комплексе измеряются следующие параметры микросхемы: напряжения смещения нуля, выходное напряжение низкого и высокого уровня, среднего входного тока, разности выходных токов, токов потребления, коэффициентов усиления напряжения, время задержки выключения, емкость нагрузки. Электрические параметры микросхемы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Электрические параметры микросхемы.

Наименование параметра, единицы измерения	Буквенное обозначение	Норма		Температура,° с
		не менее	не более	
Напряжение смещения нуля, мв	U_{i0}	- - -	5 15 15	25 125 Минус 60
Выходное напряжение низкого уровня, мв	U_{ol}	0 0 0	400 400 400	25 125 Минус 60
Выходное напряжение высокого уровня, в	U_{oh}	2,4 2,4 2,4	5 5 5	25 125 Минус 60
Средний входной ток, мка	I_i	- - -	0,75 5,0 10	25 125 Минус 60
Разность входных токов, мка	I_{iu}	- - -	0,3 3 3	25 125 Минус 60
Ток потребления, ма	I_{cc1}	- - -	12,7 14,0 15,0	25 125 Минус 60
Ток потребления, ма	I_{cc2}	- - -	7,5 8,0 8,0	25 125 Минус 60
Коэффициент усиления напряжения	A_u	$2{,}5\times10^4$ 1×10^4 2×10^4	- - -	25 125 Минус 60
Время задержки выключения, нс	T_{dlh}	-	300	25
Емкость нагрузки, пф	C_l	-	15*	25

Основные технические характеристики режимов измерения параметров микросхемы приведены в таблице 2

Таблица 2

Основные технические характеристики режимов измерения параметров микросхемы

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма			
		Предельно - допустимый режим		Предельный режим	
		Не менее	Не более	Не менее	Не более
Напряжение питания, в	u_{cc1} u_{cc2} u_{cc3}	13,5 -16,5 4,5	16,5 -13,5 5,5	8,6 -17,5 4,5	17,5 -8,6 10
Входное напряжение, в	σu	-8,0	8,0	-9,0	9,0
Ток нагрузки, ма	io	-	1,6	-	5,0
Рассеиваемая мощность, мвт	p_{tot}	-	370	-	450
Емкость нагрузки, пф	c_l	-	30	-	100

Схема подключения микросхемы при испытаниях на устойчивость при повышенной рабочей температуре, безотказность, долговечность, пониженное атмосферное давление, воздействие инея и росы и осциллограмма U_0 приведена на рисунке 2.

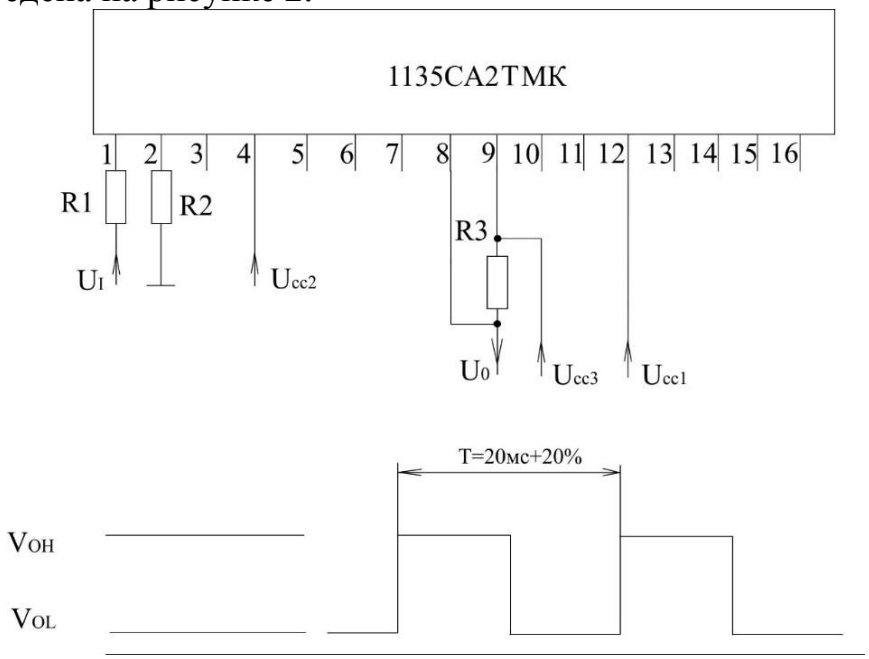


Рисунок 2.

Схема подключения микросхемы при испытаниях на устойчивость при повышенной рабочей температуре, безотказность, долговечность, пониженное атмосферное давление, воздействие инея и росы и осциллограмма U_0

$$5В \geq V_{OH} \geq 2,4\ В$$
$$V_{OL} \leq 0,4В$$

Примечания:

1. Электрический режим при испытаниях:

U_{cc1} = 16,5 В ± 5% U_1 = 5,66 В (эффективное значение) ± 5%

U_{cc2} = минус 16,5 В ± 5%-синусоидальное

U_{cc3} = 5,5 В ± 5% f = 1000 Гц ± 100 Гц

R1,R2 = 100 Ом ± R3 – 2,4 кОм ± 5%

2. Допускается включение в схему элементов, обеспечивающих устойчивый испытательный режим

3. Выходные напряжения, контролируются осциллографом

4. Не допускается разрывы линий и скачки на осциллограмме выходного напряжения.

Вывод: В данной работе был разработан блок коммутационный измерительный 1135СА2ТМК для микросхем типа 1135СА2ТМК. Использование данного блока позволило уменьшить время измерения параметров микросхемы и упростить сам процесс измерения.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. National Instruments Corporation. All rights reserved.- LabVIEW/ Издание октябрь 2009.-432с.

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

Рытиков Илья Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: doktorwww@gmail.com.

Н.Н. Чернова, В.В. Андреев

РАЗРАБОТКА КМДП ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данная статья посвящена разработке конструкции и технологии изготовления интегральной микросхемы операционного усилителя на МДП-транзисторах, которая адаптирована для производства на отечественном предприятии. Операционный усилитель подходит для работы в диапазоне от 5 до 15Вв температурном диапазоне от –60 до +125 ^{0}C. Зарубежным аналогом этой схемы является LMC662.

Разрабатываемая топология операционного усилителя несколько отличается от операционных усилителей общего назначения: выход соединен непосредственно с выходом интегратора. Структурная схема операционного усилителя приведена на рисунке 1.

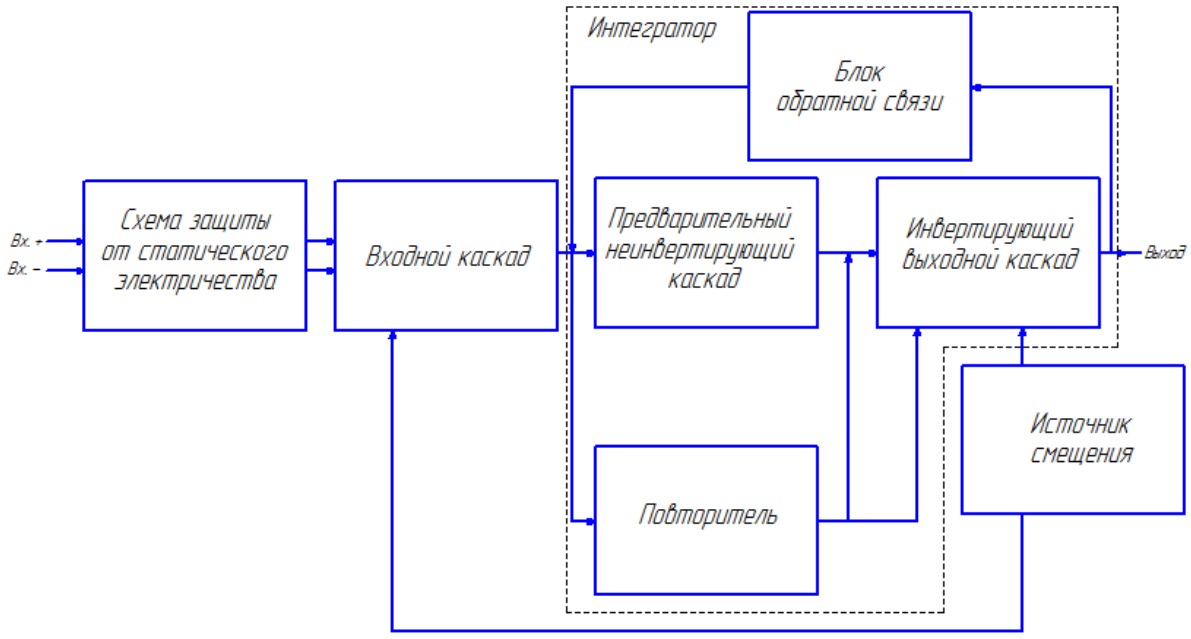


Рис.1. Структурная схема операционного усилителя

Интегратор представляет сложную связь со встроенным каскадом усиления, который передает сигнал через двойную прямую связь C_fи C_{ff} на инвертирующий выходной каскад.

Входной каскад представляет собой обычнуюструктуру, физическое расположение которойобеспечивает высокую производительность устройства, как и спроектированная электрическая схема. Наиболее важные элементы — входные транзисторы. Большое значение имеет их размещение на кристалле и выбор их геометрии, которая представляет собой необыч-

ную структуру, собранную из массива в 16 затворов кольцевой формы (рис.2).

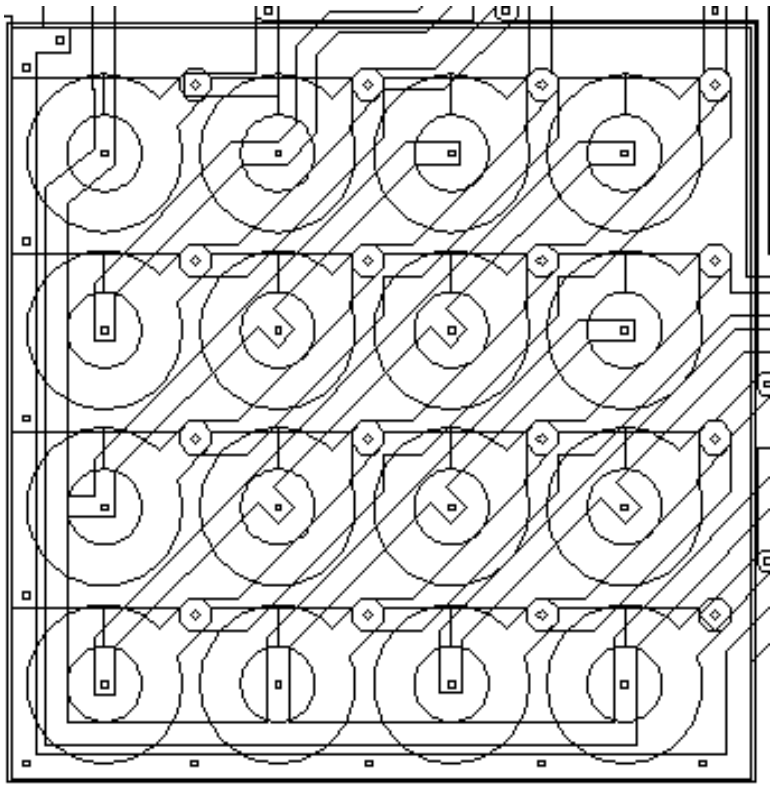


Рис. 2. Топология входного транзистора

Устройство зеркал состоит из 4-х перекрестно-связанных областей обычной прямоугольной формы. Их относительно длинные каналы значительно увеличивают усиление первого каскада, а также сводят к минимуму разброс выходного сопротивления и обеспечивают требуемую низкую крутизну зеркала.

Коэффициент усиления по напряжению входного каскада довольно высокий, что перекрывает шум второго каскада и вносит значительный вклад в общий коэффициент усиления.

Для защиты входов от статического электричества, последовательно с каждым из них включен 200 Ом поликремниевый резистор и защитные диоды, подключенные к каждой из шин питания.

Интегратор является составным каскадом, который содержит в себе два каскада: предварительный опережающий неинвертирующий и двухтактный инвертирующий выходной,который управляетнагрузкой«railtorail».

Первый из них - небольшойнесимметричныйкаскад,способный выдавать около 40дБусиления, что является значительной частью общегокоэффициента усиления операционного усилителя.

В КМОП микросхемах трудно получить точное значение потенциала и егоповторяемости этого, причем с положительным температурным коэффициентом сопротивления. Положительный коэффициент сопротивления ослабляет рост проводимости транзистора при низких температурах и по-

вышает ее при высоких температурах. Точность в значении потенциала необходима, чтобы достигнуть определённости в характеристиках микросхем, а повторяемость - чтобы характеристики каждого изделия соответствовали тем, которые указаны в спецификации. Необходимо гарантировать работу во всем диапазоне напряжений питания.Для этого схема смещения должна обладать высоким коэффициентом ослабления влияния источников питания. В данном случае цепь смещения должна иметь дополнительные выходы и способность работать при питании меньше 3В, что является нижней границей для усилителя. Все эти требования оказались выполнимы при оснащении подложки n-p-n транзисторами с горизонтальными коллекторами и их работе при различных плотностях тока, чтобы цепь смещения создавала разные напряжения база-эмиттер.

Результаты работы были использованы для запуска в производство пробной партии операционного усилителя, изготавливаемого по КМДП технологии на ОАО «Восход» - Калужскийрадиоламповый завод.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А.Инжекционные методы исследования и контроля структур металл-диэлектрик-полупроводник: Монография.− М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.

[2]. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Васютин М.С., Коротков С.И. Влияние температуры на инжекционную модификацию диэлектрических пленок МДП-структур. Перспективные материалы. 2008, № 5, с. 26–30.

Чернова Наталья Николаевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nataly_mrr@gmail.com.

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

В.В. Андреев, М.А. Фролова

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКТА ФОТОШАБЛОНОВ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МИКРОСХЕМЫ ШИРОКОПОЛОСНОГО ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной работе был разработан комплект фотошаблонов для изготовления интегральной микросхемы широкополосного операционного усилителя общего применения с внутренней частотной коррекцией, аналога микросхемы NE 5539.

Ранее была разработана электрическая принципиальная схема, а также проведены исследования номиналов одного из резисторов и конденсатора для оптимизации конструкторских решений. Было выявлено, что микросхема ничем не уступает своему аналогу и даже превосходит его в радиационной стойкости.

В таблице 1. представлен комплект фотошаблонов, использующийся для изготовления кристаллов микросхем широкополосного операционного усилителя. На рис.1. показано схематическое расположение модулей на рабочем шаблоне, указаны шаги мультипликации и расположение реперного, тестового, контрольного и контролируемого модулей.

Реперный модуль нужен для повышения точности совмещения выводов с ранее полученными компонентами. Определив положение реперных знаков, система технического зрения автомата вносит коррекцию в свою систему координат, компенсируя различия между измеренным и номинальным положением знака.

Фигуры контроля совмещаемости (контрольный модуль) предназначены для проверки стабильности работы ЭЛУ в процессе экспонирования. В процессе длительного экспонирования шаблона установка может расстроиться, поэтому в начале экспозиции в углах рабочего поля рисуется внешний контур фигур контроля, а по завершении - внутренний. По их смещению определяется возможное смещение рисунка на шаблоне.

Тестовый (технологический) модуль содержит элементы для контроля параметров техпроцессов и определения характеристик физической структуры ИМС. Состав элементов технологического модуля определяется технологами.

Таблица 1. Комплект фотошаблонов.

Порядковый №	Назначение слоя
1	Скрытый слой
2	Слой разделения
3	Глубокий коллектор
4	Слой базы
5	p^+ слой
6	Эмиттер
7	Контактные окна 1
8	Контактные окна 2
9	Слой металла
10	Окна в ПХО

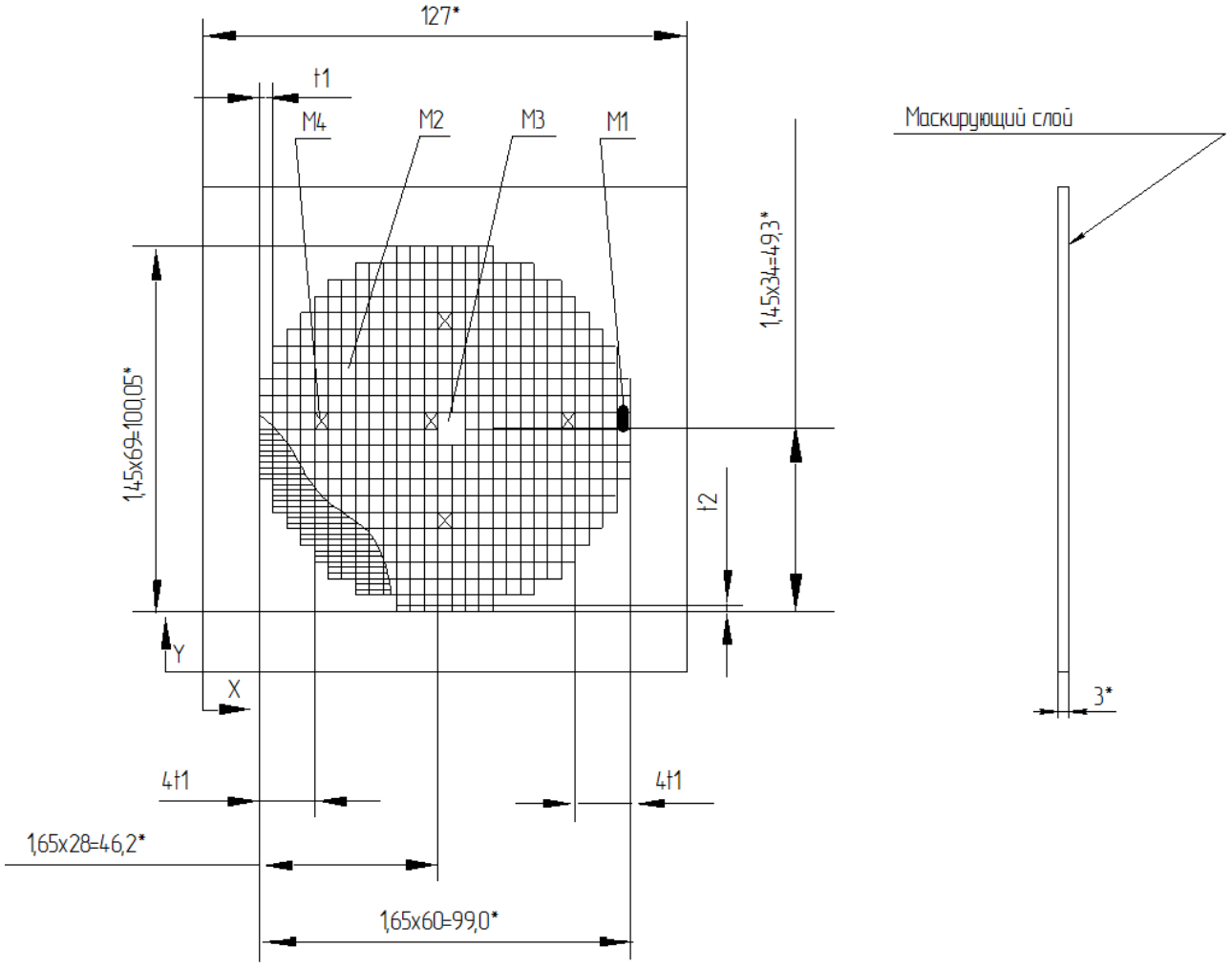


Рис.1.Рабочий шаблон.

1.*Размеры для справок.

2. Данные по изготовлению слоев приведены в таблице 1.

3. t1=1,65 мм t2=1,45 мм - шаг мультипликации.

4. Количество контролируемых модулей - 3080 шт.

5.На рабочем шаблоне допускается дефектных модулей 10 %.

6.Шаблоны должны соответствовать техническим условиям ОСТ1131.7001-86.

7.М1 - реперный модуль.

8.М2 - модуль, контролируемый на шаблоне.

9. М3 - контрольный модуль только для скрытых слоев. Расположение показано условно.

10.Тестовый модуль 3.0х2.3 мм. Расположение показано условно.

Таким образом, на предприятии ЗАО «ОКБ Микроэлектроники» (г.Калуга) продолжается освоение и разработка необходимой конструкторской документации для изготовления микросхемы широкополосного операционного усилителя.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Алексеев А.Г., Войшвилло Г.В. Операционные усилители и их применение. Москва, Радио и связь, 1989, 120 с.

[2]. Березин А.С., Мочалкина О.Р. Технология и конструирование интегральных микросхем. Москва, Радио и связь, 1983, 232 с.

[3]. Коледов Л.А. Конструирование и технология микросхем. Курсовое проектирование. Москва, «Высшая школа», 1984, 234 с.

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru.

Фролова Марина Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marina.frolova-rpd@yandex.ru.

УДК 621.385

Г.В. Прасицкий

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПСЕВДОСПЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДАМИ ПРОКАТКИ ПОРОШКОВ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассматриваются причины отставания параметров псевдосплавных материалов отечественного производства от принципиально возможных. Описывается существующий метод массового изготовления псевдосплавных материалов, а также метод, используемый при проведении данного исследования. Показаны и проиллюстрированы появляющиеся дефекты при данном методе. Описаны причины возникновения данных дефектов с точки зрения физических явлений, имеющих место при изготовлении псевдосплава. Также приведены вычисления минимальной принципиально возможной пористости при использовании данного метода.

Ключевые слова: *прессованные и каркасные псевдосплавы, термический коэффициент линейного расширения, теплоотводящие материалы.*

Научно-технические задачи совершенствования существующих и разработки новых эффективных изделий электроники неразрывно связаны с исследованиями и разработкой теплоотводящих материалов, обеспечивающих заданный уровень параметров электронных узлов и компонентов. В связи с этим очевидна актуальность проведения исследований, комплексно описывающих физические процессы, происходящие при синтезе псевдосплавных композиций, а также позволяющих определить состав компонентов и конструкции конечных изделий, обладающих заданными электрофизическими параметрами. При этом следует отметить, что проведение подобной работы является следствием необходимости повышения эффективности отечественных изделий полупроводниковой, вакуумной и газоразрядной техники.

Проведенный анализ литературных источников показывает, что, несмотря на многолетнюю практику выпуска, отечественные псевдосплавные материалы, используемые при изготовлении электронных компонентов, имеют параметры, существенно отстающие от потенциально возможных.

Причина отставания объясняется недостаточной изученностью свойств применяемых материалов, а также совокупности взаимосвязанных физических процессов, протекающих при изготовлении теплопроводящих композиций.

В отечественной практике массового изготовления псевдосплавных материалов применяется комбинированный метод, включающий смешивание исходных составляющих (порошков меди и тугоплавкой фазы), формовкой порошковой смеси на порошковых прокатных станах, термическая обработка прокатанной заготовки и последующее обжатие на прокатном стане спеченной заготовки до получения удовлетворительного уровня остаточной пористости конечного материала [1]. Для проведения исследований использовалась последовательность операций изготовления, приведенная ниже.

Смешанные в требуемом соотношении порошки отвешивались в заданном количестве на электронных весах, рис. 1, после чего уплотнялась на гидравлическом прессе в стальной пресс-форме рис. 2 (эквивалент уплотнения прокаткой).

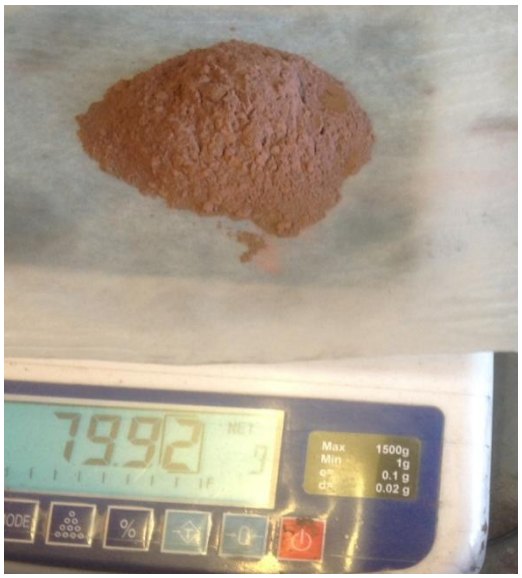


Рис.1. Навеска смеси порошков

Рис.2. Пресс-форма с порошком

Спрессованные заготовки рис. 3 укладывались в молибденовую лодочку рис.4.

Рис. 3. Заготовки

Рис. 4. Заготовки в лодочке

Лодочка с расположенными в ней спрессованными заготовками из смеси молибденового и медного порошков, взятые в весовом соотношении 1:1, помещалась в проходную водородную печь рис. 5.

Рис. 5. Водородная печь

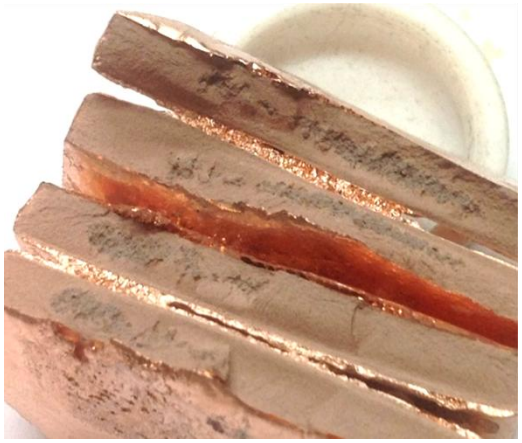


Рис. 6. Излом спеченных заготовок

Параметры технологических операций изготовления материалов выбирались аналогичными условиям серийного изготовления псевдосплавного материала МД50: смешивание исходных порошков проводилось в эксцентриковых барабанах в течение 8 часов, пористость заготовок после прессовки составляла около 50%, спекание проводилось в водородной печи при температуре 1520К в течение двух часов.

Для выявления внутренней структуры спеченные заготовки после остывания разламывались, поскольку при использовании резца или фрезы медь «размазывается» по всей поверхности разреза, нивелируя картину. Стабильно наблюдавшееся изображение приведено на рис. 6: внутри каждой из спеченных заготовок наблюдается темная область пористого мо-

либдена, не заполненная медью. Изменением параметров технологических операций устранить дефект не удается.

Объяснение наблюдаемого явления с точки зрения физических явлений, имеющих место при изготовлении псевдосплава, следующее.

Спрессованная из смеси порошков молибдена и меди заготовка помещается в зону нагрева водородной печи. По мере ее нагрева происходит припекание порошинок, постепенно образуется каркас из тугоплавкой фазы, обретающий конечные параметры при достижении температуры жидкофазного спекания, превышающей температуру плавления меди. По окончании процесса спекания заготовка представляет собой молибденовую «губку», поры которой заполнены жидкой медью. Следующий этап, анализ параметров которого не встречается в доступной литературе, возможно, по причине его отсутствия, является чуть ли не самым важным с точки зрения обеспечение качества псевдосплава.

Для выяснения физических явлений, протекающих при остывании спеченной заготовки, условно выделим отдельную пору в тугоплавком каркасе, заполненную жидкой медью при пограничной температуре между жидким и твердым состоянием. При кристаллизации плотность меди возрастает с 8 г/см^3 до 8,92 г/см^3, т.е., объем фиксированного количества меди уменьшается, и, в случае изолированной поры, в ней возникнет некоторая часть объема, не занятого медью.

Поскольку естественным образом охлаждение спеченной заготовки начинается с поверхностных слоев, в её объёме возникает температурный градиент. В результате этого мы наблюдаем картину, при которой медь у поверхности заготовки кристаллизуется раньше, чем в центре. Это приводит к ситуации, когда свободный объём, образующийся в поре при переходе меди в твёрдое состояние (в реальном случае закрытая пористость составляет доли процента, остальные поры образуют открытую систему) заполняется жидкой медью из центра заготовки, движущейся под действием капиллярных сил. Так с охлаждением происходит постепенное перераспределение меди в молибденовом каркасе, что можно наглядно наблюдать на рис. 6.

Принципиально достижимая минимальная пористость заготовки, полученной данным методом, может быть рассчитана следующим образом.

При температуре кристаллизации меди её относительный объём равен отношению плотностей меди в твёрдом и жидком состояниях:

$$\Delta V_{Cu_{1353}} = \frac{\rho_{ж}}{\rho_{тв}} = \frac{8}{8{,}92} = 0{,}8968 \qquad (1)$$

При последующем охлаждении относительный объём меди и пор уменьшаются пропорционально коэффициентам линейного термического расширения меди и молибдена соответственно.

Объём пор при Т=298К относительно объёма пор при Т=1353 К:

$$\Delta V_{\text{поры}_{298}} = (1 - \Delta T \cdot \alpha_{L_{Mo}})^3 = (1 - 1055 \cdot 5.2 \cdot 10^{-6}) = 0.9836 \qquad (2)$$

Объём меди при Т = 298К относительно объёма меди при Т = 1353 К:

$$\Delta V_{Cu_{298}} = (1 - \Delta T \cdot \alpha_{L_{Cu}})^3 = (1 - 1055 \cdot 16.5 \cdot 10^{-6}) = 0.9486 \quad (3)$$

Объём меди при Т = 298К относительно объёма пор при Т=1353 К:

$$\Delta V_{Cu} = \Delta V_{Cu_{298}} \cdot \Delta V_{Cu_{1353}} = 0.8968 \cdot 0.9486 = 0.8507 \quad (4)$$

Финальная пористость вычисляется следующим образом:

$$\left(1 - \frac{\Delta V_{Cu}}{\Delta V_{\text{поры}_{298}}}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{0.8507}{0.9486}\right) \cdot 100\% = 10.32\% \quad (5)$$

Последующая прокатка спеченных заготовок на валковом стане позволяет уменьшить их пористость, однако наличие внутренней области молибденового каркаса, не заполненного и не смоченного медью, ухудшает все свойства псевдосплава как конструкционного материала для электронных приборов - теплопроводность, электропроводность, механическую прочность, возможность нанесения поверхностных покрытий, приводит к геометрической анизотропии перечисленных параметров.

Проведенные исследования объясняют причину появления браковочных признаков в медно-молибденовом псевдосплаве, изготавливаемом методами прокатки и спекания порошков, что открывает путь для возможного усовершенствования этого экономически эффективного способа.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Сорокин В.К., Шмелев Л.С., Антипов Б.Ф. и др. Производство порошкового проката. М.: Металлургиздат, 2002, -296с.

Прасицкий Г.В. — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

Научный консультант: **Коржавый Алексей Пантелеевич** — д-р техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

G.V. Prasitskiy

EXPERIMENTAL AND THEORETICAL INVESTIGATIONS OF THE BASIC OPERATIONS OF MANUFACTURING PSEUDO-ALLOYS BY ROLLING POWDERS

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

Considered the reasons of the backlog of material parameters in principle possible. Described the existing method of mass production pseudo-alloy materials, as well as the method used in this investigation. Showed and illustrated defects that appears in this method. Described the reasons causes of these defects in terms of physical phenomena taking place in the manufacture of pseudo-alloy. Showed calculation of the minimum porosity fundamentally possible using this method.

Keywords: *pressed and frame pseudo-alloys, thermal factor of linear expansion, heat-sinking materials.*

REFERENCES

[1]. Sorokin V.K., Shmelev L.S., Antipov B.F. etc. Manufacturing of rolled powders.

Prasitskiy Grigory Vasilevich – student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: akatosh74@yandex.ru.

Scientific consultant: **Korzhavyi A.P.**, Dr. Sc. (Eng.), professor of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: fn2kf@list.ru.

Д.А. Тюняев, В.В. Кашин

ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК УПРАВЛЕНИЯ РАЗДАТОЧНОЙ КОРОБКОЙ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ ГРУППЫ ГАЗОН – NEXT

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Электронныйблок управления предназначен для управления электромеханической системой переключения передач в раздаточной коробке автомобилей.Раздаточная коробка с микропроцессорным управлением будет применяться на полно-приводные автомобили Группы ГАЗ.

Блок управления подключается к бортовой сети автомобиля, к кнопкам управления – для управления процедурами включения-выключения, к приводам управления раздаточной коробкой и к комбинации приборов – для сигнализации положения приводов раздаточной коробки.

Блок управления предназначен для работы в бортовой сети автомобиля с номинальным напряжением 12В (опционально, специальное исполнение 24В), отрицательный вывод аккумуляторной батареи – на корпусе автомобиля.

Блок управления функционирует:

- в диапазоне напряжений питания бортовой сети от плюс 10,8В до плюс 15,0В (30В для блока управления с единым исполнением).
- при напряжении питания плюс 18,0В (36В для блока управления с единым исполнением), в течение двух часов при температуре окружающей среды, не выше плюс 55°С;
- при напряжении питания плюс 24,0В (48В для блока управления с единым исполнением), в течение 5 мин при температуре окружающей среды, не выше плюс 25°С.

Максимальный ток нагрузки блока управления не менее 25А.

Блок управления выполнен на двух печатных платах, параллельно расположенных друг другу, материалом которых является стеклотекстолит FR4, толщина материала 1,5 мм.

Схема структурная приведена на рис.1.

На большей плате в малом расстоянии от колодки 174053-2 (XS1) расположен 8-битный микроконтроллер PIC16F690-I/SO (DD1), который является аналого-цифровым преобразователем данной схемы. Аналогичные группы соединений диодных сборок образуют фильтры импульсных помех, обеспечивая прямой сигнал от разъема к шине. DD1 имеет flash память, а размер ОЗУ и ПЗУ данных составляет 256 В. Помимо микросхемы на плате находится стабилизатор напряжения LP2951 (DA1). Он обеспечивает выходной ток до 100 мА при низком собственном токе потребления 75 мкА. На выходе контактов микросхемы расположены контрольные точки КТ1-КТ8 для определения работы того или иного канала микрокон-

троллера. На второй плате массивными элементами являются реле 964-12DS (K1-K4). Реле K1-K4 через переключатели K1.1–K1.4 соединены с шиной, интеллектуальные ключиBSP75NTA (DA2, DA3) напрямую подключены к шине. От шины в соответствии с выходом сигналы поступают на разъем выходной колодки 828801-4 (XS2).

Электрическое соединение плат между собой осуществляется с помощью 8 проводов НВ-0.2 IV 600.

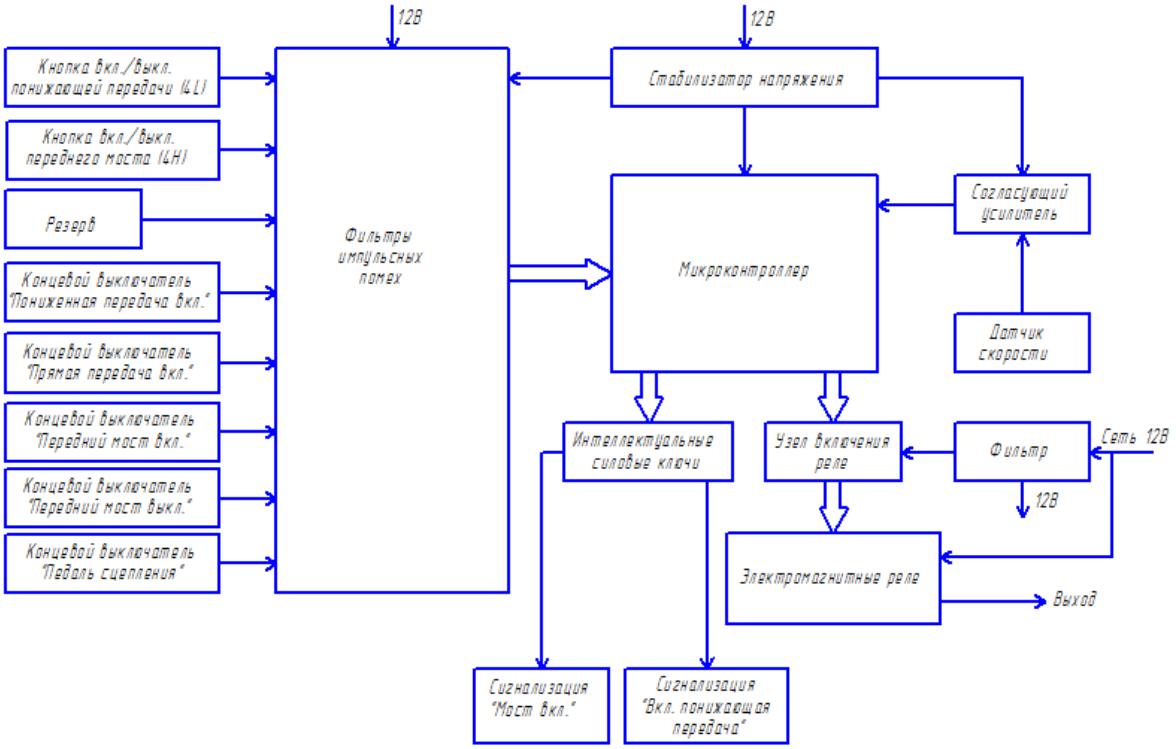


Рис.1. Схема структурная блока управления раздаточной коробкой (Э1)

В работе предложено изменение относительно прототипа электронного блока управления раздаточной коробкой на полно-приводные автомобили группы ГАЗ, разработанногона ОАО «Автоэлектроника», а именно, замена проводного соединенияпараллельно расположенных плат внутриблочным соединителем.

В качестве соединителей предложены SMDсиловые разъемы фирмы «Gradconn». Монтаж SMD розеток возможен как с верхней, так и с нижней стороны платы, что дает возможность использовать мезонинные соединения плат (рис.2).

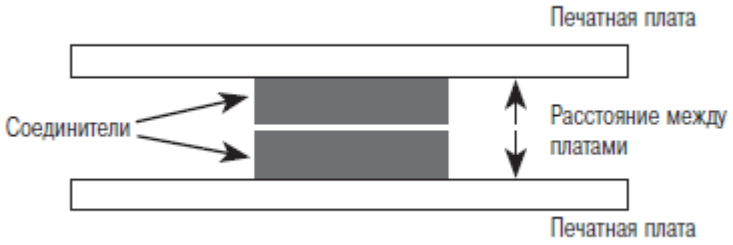


Рис.2. Мезонинное соединение печатных плат с помощью соединителей

В качестве розетки подобрано однорядное 8-контактное гнездо BB02-JCс шагом контактов – 2,54 мм и размером корпуса – 18,67 мм [1]. В качестве вилки подобран однорядный 8-контактный штекер BB02-HD с шагом контактов – 2,54мм [2].Материал данных разъемов выдерживает высокие температуры безсвинцовой пайки.Разъемы способны работать с нагрузкой до 8А на цепь.

Главными преимуществами замены проводного соединения на разъемное являются:

1. Простота сборки и разборки электронного блока;
2. Дополнительная надежность конструкции параллельно расположенных плат в корпусе блока в виде дополнительной опоры;
3. Замена плат с отказавшими в работе электронными компонентами вручную;
4. Использование на рынке автомобильной электроники отдельных плат с установленными компонентами, что является экономически выгодным.

Разъемное соединение подразумевает собою модульное соединение плат, что дает возможность диагностики и ремонта электронного блока управления.

Электронныересурсы:

[1]. Customer product specification sheetBB02-JC. URL: http://www.gradconn.com/Files/Drawings/BB02-JC.pdf (дата обращения 21.03.2015)

[2]. Customer product specification sheet BB02-HD. URL: http://www.gradconn.com/Files/Drawings/BB02-HD.pdf (дата обращения 21.03.2015)

Тюняев Денис Анатольевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: denis.tyunyaev@gmail.com.

Кашин Виталий Валерьевич – ст. преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kvvstudio@gmail.com.

СЕКЦИЯ 4.

ТУРБОМАШИНЫ И КОМБИНИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ

УДК 621.438

Е.Г. Липихин, Д.В. Шевелёв

КОГЕНЕРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА С ГАЗОВОЙ МИКРОТУРБИНОЙ НА БАЗЕ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрена когенерационная установка малой мощности на базе водогрейного котла, в которой для выработки электрической энергии используется микроГТД с внешним сгоранием. Описан принцип действия данной микро-ТЭЦ. Указаны основные достоинства и недостатки представленной схемы. Уделено внимание наличию газовоздушного высокотемпературного теплообменного аппарата в схеме. Проведены вариантные расчеты термодинамического цикла микроГТД с целью определения оптимальных параметров. На основе анализа результатов проведенных вычислений был сделан вывод, что для рассматриваемой установки целесообразно принимать температуру воздуха перед турбиной и степень повышения давления в цикле минимальными, но достаточными для выработки заданной полезной мощности. Заключение основывалось на обеспечении приемлемого расхода воздуха через компрессор и заданных при расчете значений КПД основных элементов микроГТД.

Ключевые слова: *когенерация, микро-ТЭЦ, микроГТД, водогрейный котел*

Введение

Бесперебойное тепло- и электроснабжение потребителей в настоящее время является весьма важной задачей. Это наводит на цель создания эффективного автономного источника энергообеспечения.

Для покрытия малой и средней тепловой и электрической нагрузки (от 1 кВт до 50 кВт) применяются когенерационные установки малой мощности, называемые микро-ТЭЦ [1,2] .

Цель работы

В данной работе рассматривается вариант использования микроГТД внешнего сгорания, включенного в тепловую схему водогрейного котла, что дает возможность автономной работы водогрейного оборудования и, при необходимости, выработку электрической энергии.

Схема установки приведена на Рис. 1. В горелочном устройстве 1, размещенном в корпусе водогрейного котла 2, происходит сгорание топлива, в результате чего образуются горячие продукты сгорания, которые

направляются в газовоздушный теплообменный аппарат микроГТД 7, где они отдают часть своей тепловой энергии цикловому воздуху, сжатому в компрессоре 4. Воздух, совершив полезную работу в турбине турбокомпрессора 5, направляется обратно в камеру котла, где смешивается с продуктами сгорания. Полученная смесь направляется на главный газоводяной теплообменный аппарат 6, который служит для нагрева сетевой воды отопительной системы. Отключение модуля микроГТД происходит при перенаправлении продуктов сгорания через байпасный канал 3.

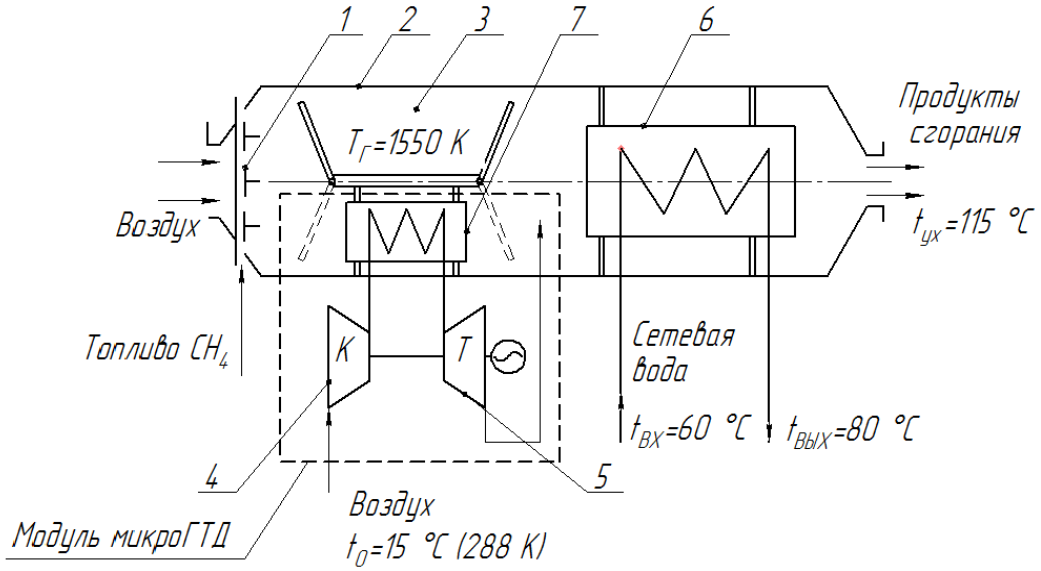


Рис. 1 - Схема установки микро-ТЭЦ:
1 – горелочное устройство водогрейного котла; 2 – корпус; 3 – байпас; 4 – компрессор; 5 – турбина; 6 – газоводяной теплообменный аппарат; 7 – газовоздушный теплообменный аппарат.

К основным достоинствам данной схемы относится:

1. Отсутствие камеры сгорания как элемента двигателя значительно упрощает устройство микроТЭЦ, и прежде всего его топливной системы.
2. Использование воздуха в качестве рабочего тела в цикле микроГТД повышает его надежность, ресурс, так как на элементы проточной части не воздействуют продукты сгорания топлива.
3. Цикл с внешним сжиганием дает возможность применения разнообразных видов топлив, в том числе твердых, низкосортных, а так же возобновляемых, таких как биогаз или растительное масло.

К числу недостатков рассматриваемой схемы относится наличие газовоздушного теплообменного аппарата 7. Данный теплообменник, помимо того что существенно ухудшает массогабаритные показатели энергетического модуля, работает в условиях воздействия высоких температур и агрессивной среды продуктов сгорания котла. Надежность его работы определяет во многом ресурс всей установки. На данный

момент разработаны теплообменные аппараты, способные удовлетворять условиям работы рассматриваемого микроГТД [3, 4].

Целью исследования ставился выбор оптимальных параметров термодинамического цикла и анализ результатов.

Расчетная схема

Расчеты выполнялись для тепловой схемы, представленной на Рис. 2.

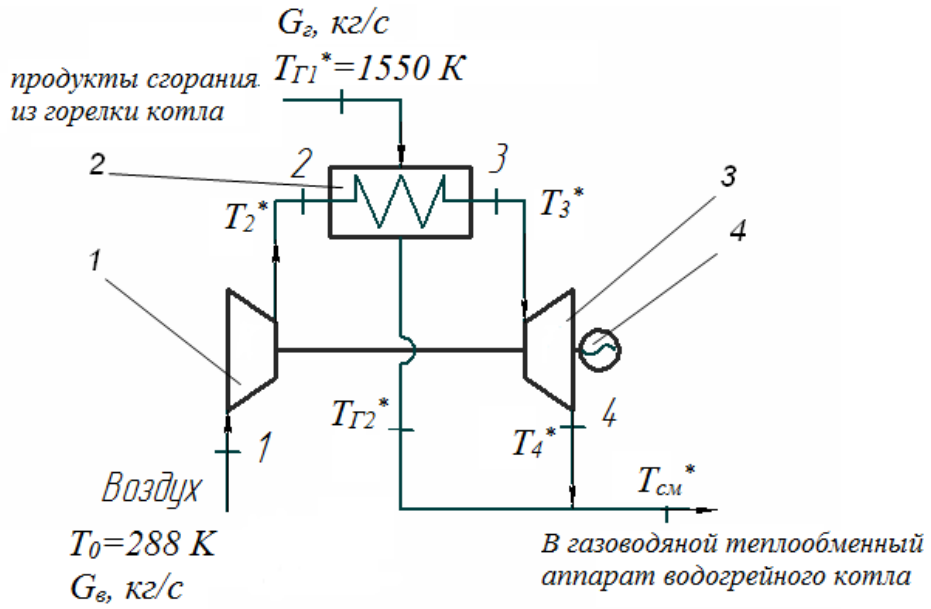


Рис. 2 – Тепловая схема микроГТД :
1 – компрессор; 2 – газовоздушный теплообменный аппарат; 3 – турбина; 4 – электрогенератор

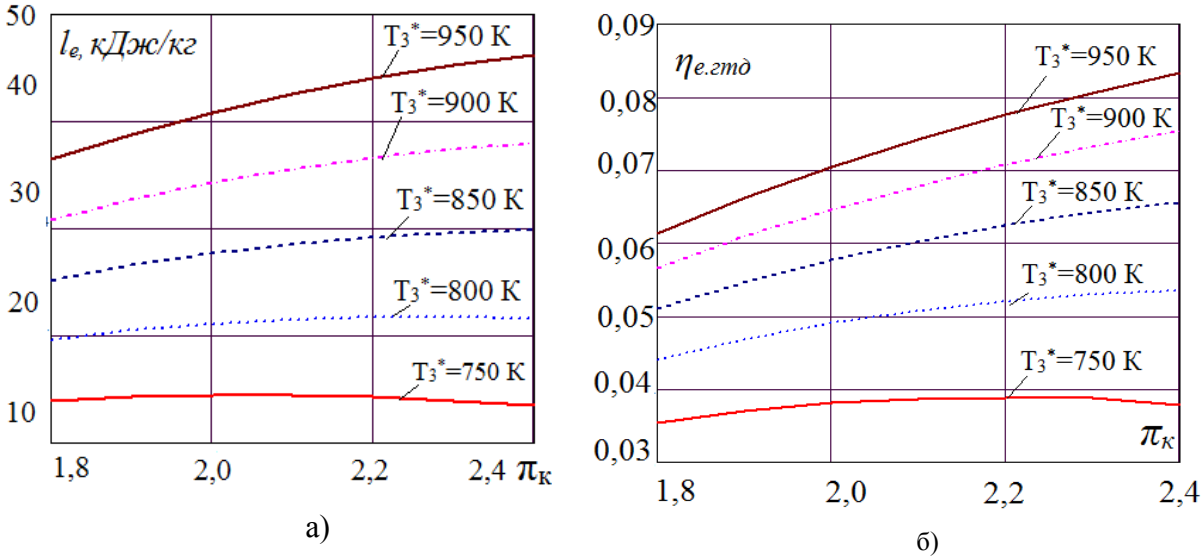
В качестве исходных данных были приняты: номинальная мощность водогрейного котла $N_T^0 = 135$ кВт, температура продуктов сгорания на выходе из горелки $T_Г^* = 1550$ К, массовый расход продуктов сгорания $G_Г = 0,088\frac{кг}{с}$, расход топлива $G_T = 0,003\frac{кг}{с}$, тип топлива – природный газ [5]. Параметры микроГТД: $\pi_к^* = 1,8 \div 2,4$ - степень повышения давления воздуха в компрессоре и $T_3^* = 750 \div 950$ К - температура рабочего тела перед турбиной, выбранные исходя из обзора параметров аналогичных установок, [6]. Мощность микроГТД N_e=3 кВт.

Расчеты производились с помощью программы GateCycle [7].

Результаты расчетов

Результатом проведенных вариантных расчетов стало получение зависимостей удельной работы и эффективного КПД цикла микроГТД от степени повышения давления $\pi_к$ и температуры рабочего тела перед

турбиной T_3^* (Рис. 3). Удельная работа определялась как $l_e = \frac{N_e}{G_в}$, эффективный КПД – $\eta_{e\ гтд} = \frac{N_e}{Q_1}$, где Q_1 – количество тепла подведенного в рабочему телу микроГТД в теплобменном аппарате 2.



а) б)

Рис. 3 – Зависимость удельной работы эффективного КПД цикла микроГТД

Полученные зависимости показывают, что при повышении $\pi_к^*$ и T_3^*, увеличиваются удельная работа l_e и эффективный КПД цикла η_e. Однако, высокие с точки зрения термодинамики параметры в данном случае не являются оптимальными, так как при больших значениях $\pi_к^*$ и T_3^* уменьшается потребный расход воздуха $G_в$, и, как следствие, размеры основных элементов микроГТД, что приведет к необоснованному росту потерь. Зависимость потребного расхода воздуха от основных параметров термодинамического цикла приведена на Рис. 4.

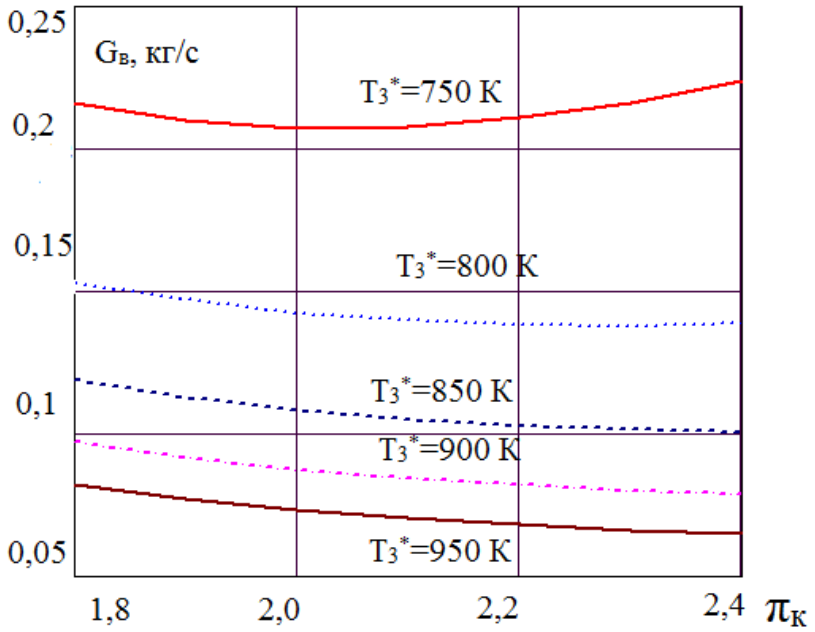


Рис. 4 - Зависимость расхода воздуха $G_в$ при разных $\pi_к^*$ и T_3^*

В настоящее время, для серийно производящихся турбокомпрессоров минимальным расходом воздуха является величина порядка $G_в$=0,1–0,2 кг/с. [8]. При этом достигаются принятые в проведенных расчетах показатели эффективности компрессора ($\eta_к$=0,75) и турбины (η_m=0,75) . Следовательно, можно сделать вывод, что для рассматриваемой установки целесообразно принимать температуру воздуха перед турбиной из диапазона от T_3^*=750 К до 850 К. При меньших значениях температуры невозможно получение заданной мощности микроГТД, при больших температурах – расход воздуха становится недопустимо мал.

Влияние степени повышения давления воздуха $\pi_к$ на КПД микроГТД при низких значениях T_3^*, как показывает Рисунок 3б, незначительно. Это позволяет сделать рекомендацию при выборе $\pi_к^*$ – ориентироваться на минимально возможные его значения. Малая степень повышения давления увеличивает КПД элементов микроГТД, снижает потребное число оборотов ротора, упрощает конструкцию двигателя и увеличивает его ресурс.

Весомой оценкой обоснованности применения микроГТД в цикле является доступная тепловая мощность для подогрева сетевой воды, по расчетным данным она составила порядка $N_t = 130$ кВт при полезной электрической нагрузке $N_e = 3$ кВт и суммарным КПД когенерационной установки порядка 94 %.

ПРИСТАТЕЙНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

[1]. Micro-CHP Systems for Residential Applications Final Report. June 2006 URL: www.osti.gov/servlets/purl/921640/ (Дата обращения 20.03.15).

[2]. Small and micro combined heat and power (CHP) systems Advanced design, performance, materials and applications. Robert Beith. Woodhead Publishing limited, 2011, 528 c.

[3]. Kee Min, Ji Hwan Jeong, Man Yeong Ha, Kui Soon Kim High temperature heat exchanger studies for application to gas turbines. Heat and Mass Transfer, December 2009, Volume 46, Issue 2, pp 175-186.

[4]. D. Aquaro, M. Pieve, High temperature compact heat exchangers performance of advanced metallic recuperators for power plants Proceedings of Fifth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact HeatExchangers, NJ, USA, September 2005, pp. 239-246.

[5]. Водогрейные котлы Viessmann URL: http://www.viessmann.ru/ru/Mehrfamilienhaus/produkte/Medium_boilers/vitocrossal_300_type_cm3.html (Дата обращения 20.03.15).

[6]. Хак Г. Турбодвигатели и компрессоры: Справочное пособие.– М.: ООО Издательство «Астрель – АСТ», 2003. – 351 с.

[7]. Программа расчета циклов газотурбинные, паротурбинных и комбинированных установок GE Energy GateCycle// URL http://site.geenergy.com/prod_serv/products/oc/ja/opt_diagsw/gatecycle.htm (Дата обращения 20.03.2015).

[8]. Описания турбокомпрессоров ТКР URL: http://neotron.ru/turbokompressoryi/opisaniya-turbokompressorov-tkr.html (Дата обращения 20.03.2015).

Липихин Евгений Геннадьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Evgeny.Lipihin@yandex.ru.

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: denis.v.shevelev@gmail.com.

E.G. Lipihin, D.V. Shevelev

MICRO-CHP SYSTEM BASED ON THE BOILER WITH MICROTURBINE

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

The article describes application of the 3-kw external combustion gas microturbine for small CHP unit. The heat transferring occurs through heat exchanger into compressed air. The main advantages and disadvantages of this scheme are presents. The main aim of the article is determination of the optimal parameters and analysis of received results. The variable thermodynamic calculations were performed. Pressure ratio and turbine inlet temperature in this case were taken as variables. Paper gives recommendations to choose these parameters are minimal as possible for available useful work. This recommendation is provide acceptable air flow under the terms of the effectiveness of basic parts of the microturbine and as a result to using of serial turbochargers for presented unit.

Keywords: *cogeneration, microCHP, gas microturbine*

BIBLIOGRAPHY

[1]. Micro-CHP Systems for Residential Applications Final Report. June 2006 URL: www.osti.gov/servlets/purl/921640/ (Дата обращения 20.03.15).

[2]. Small and micro combined heat and power (CHP) systems Advanced design, performance, materials and applications. Robert Beith. Woodhead Publishing limited, 2011, 528 c.

[3]. Kee Min, Ji Hwan Jeong, Man Yeong Ha, Kui Soon Kim High temperature heat exchanger studies for application to gas turbines. *Heat and Mass Transfer*, December 2009, Volume 46, Issue 2, pp 175-186.

[4]. D. Aquaro, M. Pieve, High temperature compact heat exchangers performance of advanced metallic recuperators for power plants *Proceedings of Fifth International Conference on Enhanced, Compact and Ultra-Compact HeatExchangers*, NJ, USA, September 2005, pp. 239-246.

[5]. Водогрейные котлы Viessmann URL: http://www.viessmann.ru/ru/Mehrfamilienhaus/produkte/Medium_boilers/vitocrossal_300_type_cm3.html (Дата обращения 20.03.15).

[6]. Хак Г. *Турбодвигатели и компрессоры:* Справочное пособие.– М.: ООО Издательство «Астрель – АСТ», 2003. – 351 с.

[7]. Программа расчета циклов газотурбинные, паротурбинных и комбинированных установок GE Energy GateCycle// URL http://site.ge-

energy.com/prod_serv/products/oc/ja/opt_diagsw/gatecycle.htm (Дата обращения 20.03.2015).

[8]. Описания турбокомпрессоров ТКР URL: http://neotron.ru/turbokompressoryi/opisaniya-turbokompressorov-tkr.html (Дата обращения 20.03.2015).

Lipihin Evgeny Gennadevich, student of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: Evgeny.Lipihin@yandex.ru.

Shevelev Denis Vladimirovich, ph.D, docent of the Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: denis.v.shevelev@gmail.com.

УДК 621.438

Е.В. Тарасов, А.А. Жинов

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОГО И ОСЕВОГО НАКЛОНА СОПЛОВЫХ ЛОПАТОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНИ ТУРБИНЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрены перспективные виды исполнения сопловых лопаток в паровых и газовых турбинах. Описано влияние радиального и осевого наклона сопловых лопаток на характеристики ступени турбины. Указаны основные достоинства представленных видов лопаток, проведено сравнение характеристик и конструкций лопаток как с радиальным наклоном, так и лопаток с радиально-осевым наклоном.

Ключевые слова: *лопатка турбины, радиальный наклон, осевой наклон, «саблевидная» лопатка.*

В настоящее время повышение эффективности турбоустановок требует применения современных методов их проектирования, как при создании новых установок, так и при модернизации существующих. Особенно это относится к проектированию лопаточного аппарата последних ступеней части низкого давления паровых турбин, которые имеют для этого высокий потенциал.

Принимая во внимание фиксированный перепад энтальпии на ступень, повышение коэффициента полезного действия возможно за счет увеличения расхода рабочего тела. Так как число оборотов энергетических турбин обычно соответствует частоте электрической сети и неизменно, то для увеличения расхода рабочего тела, требуется увеличение площади проходного сечения, что приводит к большим высотам лопаток.

В настоящее время перспективным направлением в модернизации паротурбинных установок является применение лопаток с наклоном [1,2,5,7], в основном в сопловых решетках. Возможны два вида наклона лопаток: в радиальном и в осевом направлениях. Осевой наклон, например, получил распространение в авиационных газотурбинных двигателях.

Наклон в радиальном направлении возможен как по вращению ротора, так и против вращения. Известно два вида конструкций таких лопаток, представленных на Рис.1. Это так называемые наклоненные в радиальном направлении и «саблевидные» лопатки, которые были предложены еще в 1962 году М.Е. Дейчем (МЭИ) [2].

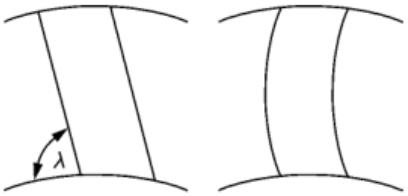


Рис. 1 Наклоненные в радиальном направлении и «саблевидные» лопатки

Наклон в радиальном направлении позволяет значительно уменьшить концевые потери в корневой и периферийной областях лопатки, повысить эффективность корневой области рабочего колеса ступени турбины, следующего за сопловой решеткой, уменьшить перетечки рабочего тела в радиальном направлении. Также такая конструкция дает постоянство степени реактивности по высоте лопатке. КПД ступени с применением таких лопаток может увеличиться на 3...4%.

Возможен также наклон сопловых лопаток в осевом направлении [5], как показано на Рис.2. Такой наклон применяется как по потоку рабочего тела так и против потока.

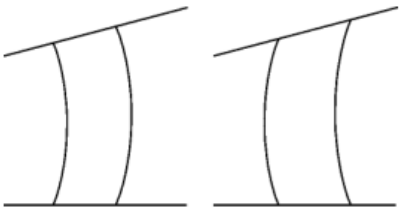


Рис. 2 Наклоненные в осевом направлении лопатки

Такой вид наклона лопаток также иногда применяется в авиационных двигателях. Эта конструкция позволяет предотвратить значительные сверхзвуковые течения в периферийной области, уменьшить вторичные потери, а в качестве компрессорных лопаток позволяет уменьшить действующую на лопатки нагрузку. Такой наклон также приводит к уменьшению эрозии в периферийной области.

Эффективное проектирование ступеней с наклоненными лопатками стало возможным в последнее время в связи с развитием вычислительной техники и специализированных численных методов вычислительной гидрогазодинамики. Например, в работе [5] проводилось исследование и сравнение характеристик ступеней с двумя видами наклонов сопловых лопаток. Исследовались ступени с сопловыми лопатками только с радиальным наклоном, лопатки с радиально-осевым наклоном и рабочими лопатками сложной пространственной конфигурации с бандажом (Рис. 3).

Рис. 3 Лопатка с наклоном в радиальном направлении, радиально-осевом направлениях и рабочая лопатка с бандажом

По полученным результатам [5] видно, что исследуемые лопатки имеют высокий относительный КПД в широком диапазоне расходов (Рис. 4).

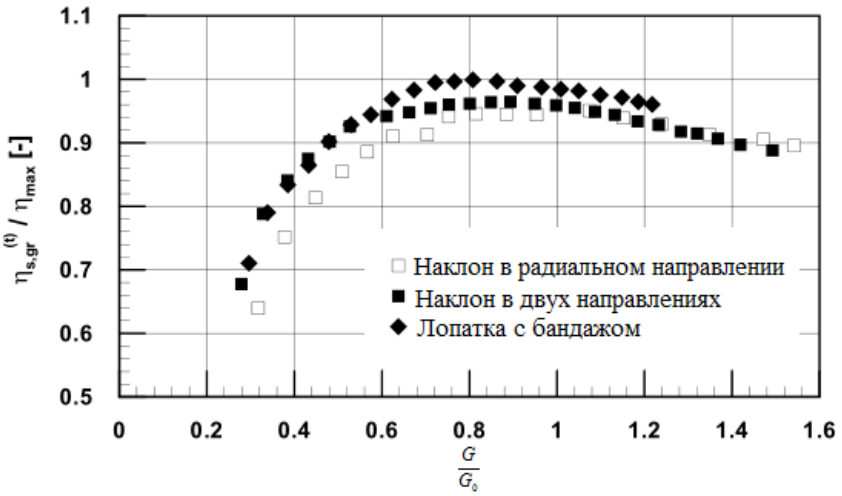


Рис. 4 График зависимости КПД от относительного расхода

В работе [6] представлено сравнение характеристик ступеней с лопатками различных форм, в том числе лопаток с наклоном (Рис 5).

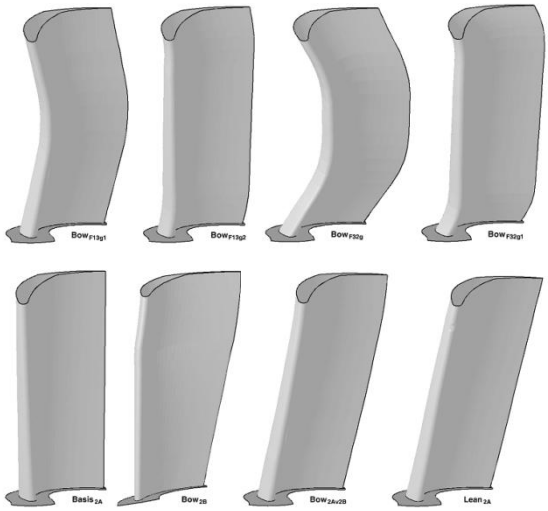


Рис. 5 Лопатки с наклоном

Получено [6], что исследованные формы лопаток существенно влияют на характеристики ступеней турбомашины.

Таким образом, современные методики расчета и современные технологии изготовления лопаток позволяют проектировать и изготавливать высокоэффективные ступени турбомашин со сложной трехмерной конфигурацией, нетрадиционными наклонами лопаток как в осевом, так и в радиальном направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

[1]. *Дейч М. Е., Губарев А. В., Филиппов Г. А., Ван Чхун-ци* Новый метод профилирования направляющих решеток ступеней с малым d/l/ // Теплоэнергетика. 1962.№ 8. С. 42—47.

[2]. *Дейч М. Е., Трояновский Б. М.* Исследование и расчет ступеней осевых турбин. М.: Машиностроение, 1964.

[3]. *Щегляев А.В.* Паровые турбины. Изд. 6 Т.1. — М.: Энергоатомиздат, 1993 г. — 381 с.

[4]. *Борисов Ф. П., Иванов М. Я.* Расчет осесимметричного потока и анализ течения в ступенях осевых турбин//Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.1989. № 3.С. 89—97.

[5]. Neue Aspekte der aerodynamischen Gestaltung von Niederdruck-Endstufen-Beschaufelungen. Lutz Völker, 2006, — 173 с.

[6]. Untersuchung von Axialturbinen-Beschaufelungen mit dreidimensionalen Gestaltungselementen. Tzong-Hann Shieh, 2003, — 187 с.

[7]. *Тарасов Е.В, Жинов А.А.* Проектирование и применение лопаток сложной формы в паровых турбинах // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25—27 ноября 2014 г. Т.1. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. — 216 с.

Тарасов Евгений Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tarasovevgeniy@outlook.com.

Жинов Андрей Александрович – д-р техн. наук, заведующий кафедрой "Тепловые двигатели и теплофизика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: jinov@mail.ru.

В. О. Евтеева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛОПЕНЫ В ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Металлопена с высокой пористостью обладает термическими свойствами, которые могут сделать её весьма привлекательной для использования в теплообменных аппаратах[1…5].

Вследствие высокого отношения площади поверхности на единицу объёма, относительно высокой теплопроводности.

В то же время высокое гидравлическое сопротивление при том уровне скоростей, которые характерны для теплообменных аппаратов с воздушным охлаждением, является достаточно серьёзным препятствием для применения металлопены [1] (рис.1).

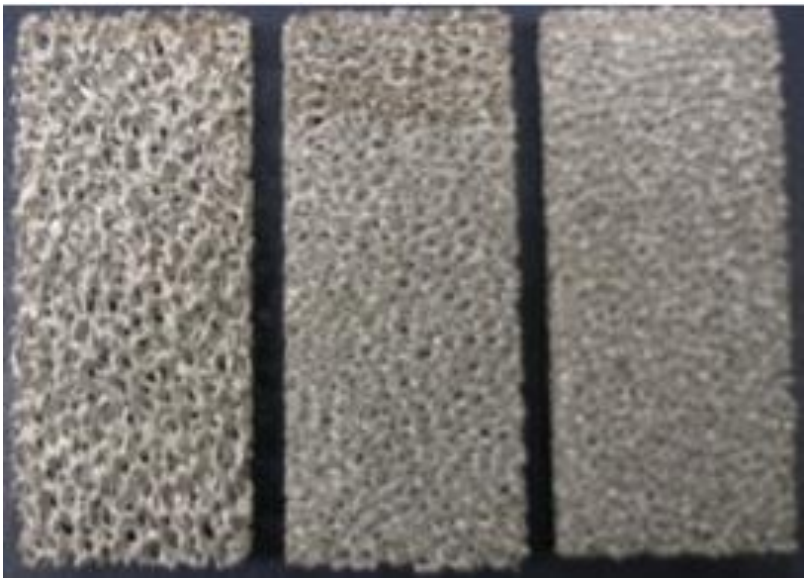


Рис. 1. Образцы из металлопены с различной степенью пористости.

В работах [1…5] приводится обзор материалов по исследованию свойств металлопены, способы расчёта и примеры сравнения характеристик теплообменных аппаратов, созданных с использованием металлопены, и с обычными оребрёнными трубами.

По результатам обзора [2] можно сделать вывод, что применение нового материала может иметь место для целей проектирования компактных теплообменных аппаратов (рис.2).

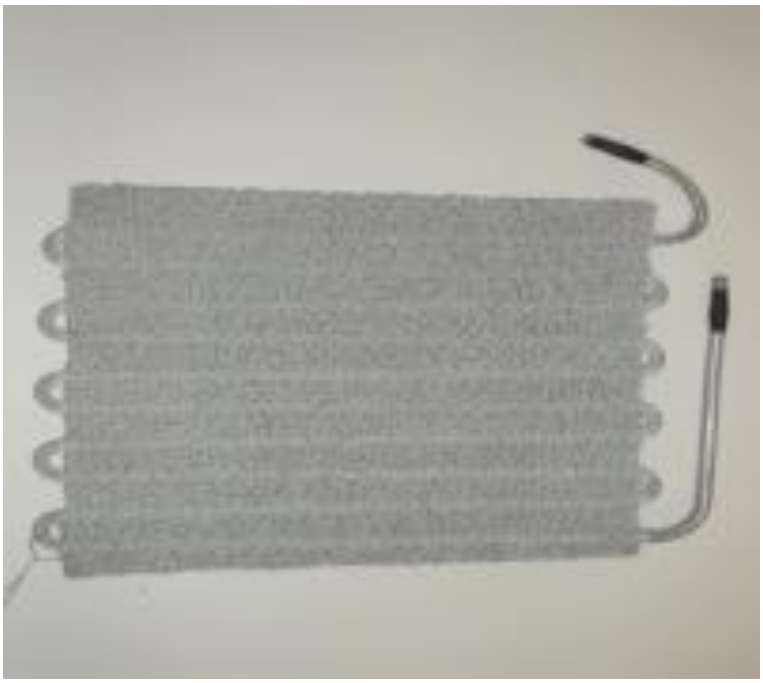


Рис. 2. Пример теплообменного аппарата, созданного с использованием металлопены.

Список литературы:

[1]. Anthony M.Jacobi, Kashif Nawaz, METAL FOAMS AS NOVEL MATERIALS FOR AIR-COOLING HEAT EXCHANGERS, Submitted in partial fulfillment of the requirementsfor the degree of Master of Science in Mechanical Engineeringin the Graduate College of theUniversity of Illinois at Urbana-Champaign, 2011

[2]. Seyfolah Saedodin, Siamak Sadeghi, Temperature Distribution in Long Porous Fins in Natural Convection Condition, Middle-East Journal of Scientific Research 13 (6): 812-817, 2013

[3]. Anthony M. Jacobi, Jessica Bock, Nawaz Kashif, Xiaohong Han, Open-Cell Metal Foams for Use in Dehumidifying Heat Exchangers, International Refrigeration and Air Conditioning Conference.Paper 1312.

[4]. J.N. Chung, Landon Tully, Jung Hwan Kim, Gregg W. Jones, William Watkins, Evaluation of Open Cell Foam Heat Transfer Enhancement for Liquid Rocket Engines, NASA Marshall Space Flight Center.

[5]. Mohammad Tarawneh, AbedAlrzaq Alshqirate, Khaleel Khasawneh, Mahmoud Hammad, Experimental Study on the Effect of Porous Medium on Performance of a Single Tube Heat Exchanger: A CO_2 Case Study, Heat Transfer—Asian Research, 42 (6), 2013, p. 473-484

Евтеева Вероника Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zwilinge2@gmail.com.

В.С. Крылов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕЧЕНИЯ В СТУПЕНИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ МОЩНОСТЬЮ 300МВТ НА СМЕСЕВОМ РАБОЧИМ ТЕЛЕ H_2O+CO_2

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Турбина ВПТУ-300 относится к классу паровых турбин большой мощности. В проекте турбины имеется ряд оригинальных технических решений, позволяющих снизить ее массу, габариты и повысить энергоэффективность:

а) высокая начальная температура пара;

б) высокая частота вращения ротора (12000 об/мин);

в) рабочее тело H_2O+CO_2;

Повышение начальной температуры, а также температуры промежуточного перегрева пара, может быть достигнуто путем сжигания метана (CH_4) в среде водяного пара, рабочим телом энергоустановки при этом будет смесь (H_2O+CO_2). Работы в области высокотемпературных паротурбинных установок в течении ряда лет ведутся в КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана совместно с НПВП «Турбокон» [1,2].

Проектный расчет турбины выполнен по традиционной для паровых турбин методике, достоверность которой для турбин большой мощности не вызывает сомнений. Расчет сопловых решеток ступеней ЦВД проводился в неподвижной системе координат, а рабочих – в системе координат, вращающейся вокруг оси турбины с угловой скоростью n = 12000 об/мин.

Каждый расчетный сектор был ограничен следующими поверхностями – поверхностью лопатки, корневой и периферийной поверхностями - стенками (в РК – вращающимися), поверхностями входа и выхода потока, двумя циклически симметричными поверхностями. Для передачи данных из расчетной области СА в расчетную область РК использовалась плоскость смешения.

В качестве граничных условий для расчетной области **последней ступени ЦВД** (рисунок 1) были заданы:

- равномерные поля полного давления P^*_0 = 6,1 МПа и полной температуры T^*_0 = 889,0 ˚С на входе в сопловую решетку;
- направление потока на входе в сопловую решетку α_0= 90.0 град;
- интерфейс «плоскость смешения» для передачи данных с выходной поверхности расчетной области сопловой решетки на входную поверхность расчетной области рабочей решетки;

- равномерное поле статического давления P_2= 5,1 МПа на выходе из рабочей решетки;
- адиабатные поверхности лопаток, втулки и периферии с прилипанием потока к стенкам;
- условия периодичности на циклически симметричных поверхностях секторов.

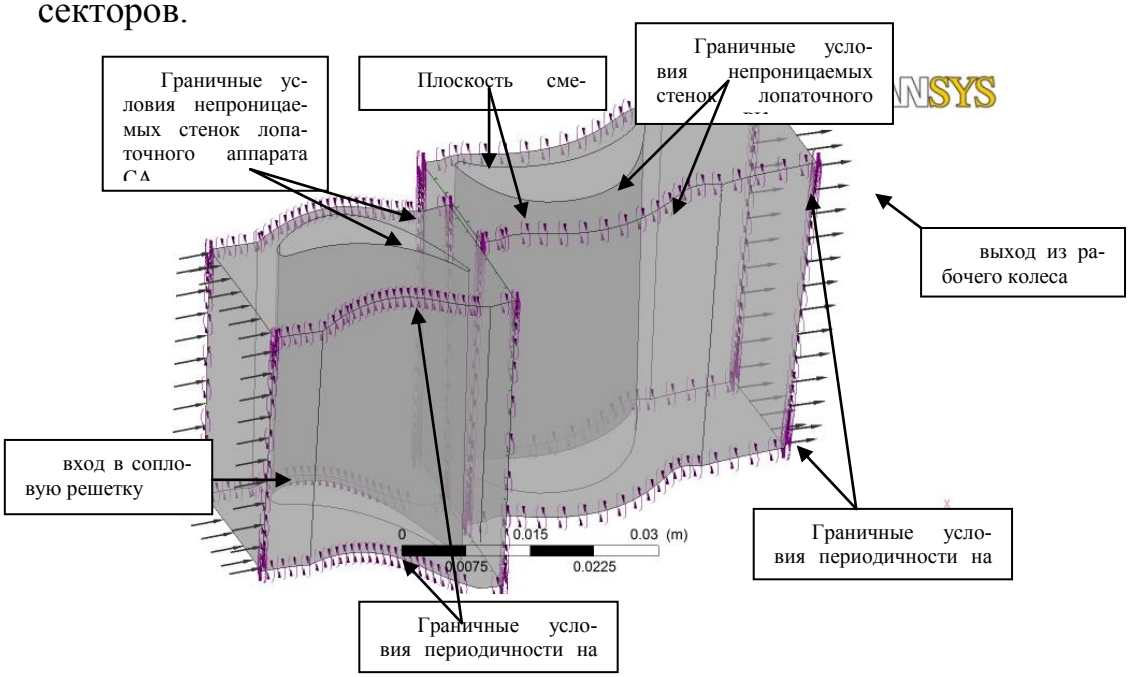


Рисунок 1. Граничные условия расчетной области последней ступени ЦВД.

Для замыкания осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса использовалась двухпараметрическая k-ω SST модель турбулентности Ментера.

Термические, калорические и транспортные свойства водяного пара определялись по уравнениям Международной Ассоциации по Свойствам Воды и Водяного Пара "IAPWS Industrial Formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam".

Термические свойства для смеси водяного пара и CO_2 определялись по уравнениям Редлиха-Квонга в модификации Аунгера с учетом доли CO_2 в рабочем теле**.**

В результате 3D моделирования были получены линии тока в проточной части ступени (рисунок 2), графики изменения скорости в окружном направлении на среднем диаметре в выходных сечениях СА и РК(рисунок 3,4).

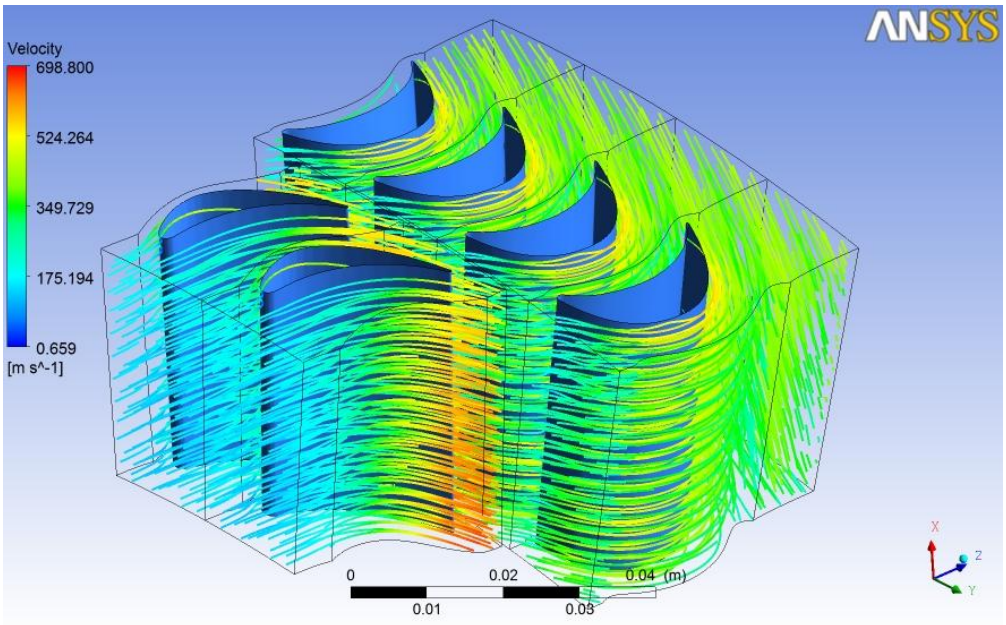


Рисунок 2. Линии тока в проточной части ступени.

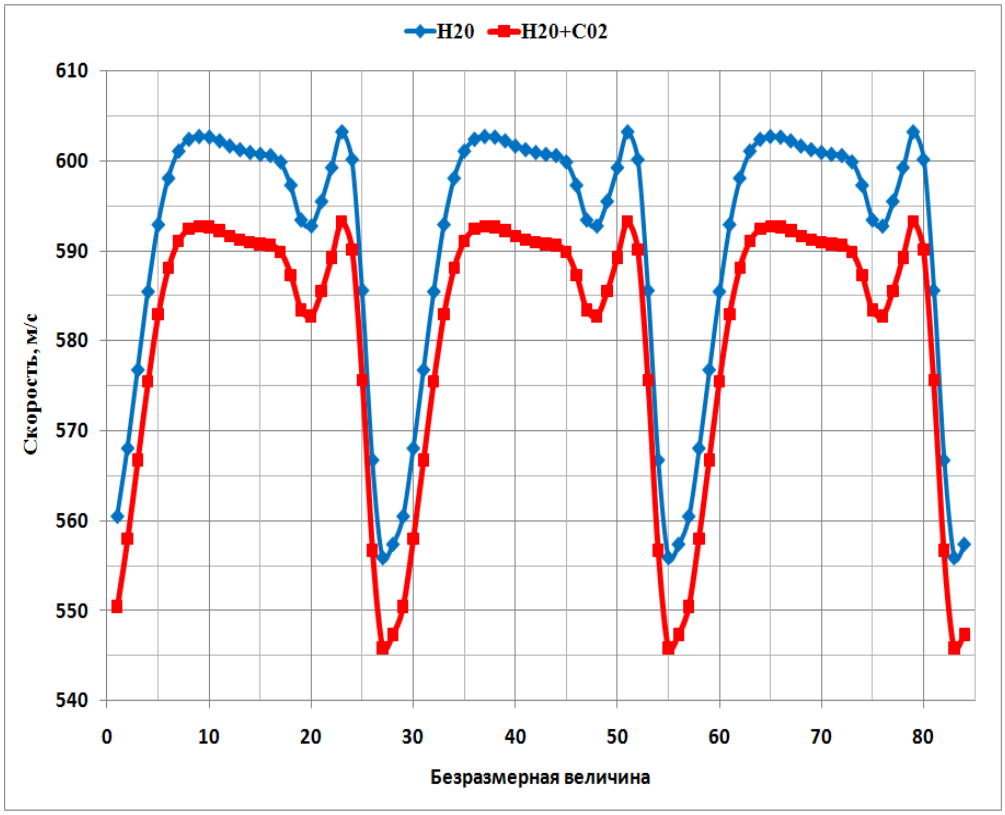


Рисунок 3. Изменения скорости в окружном направлении на среднем диаметре в выходных сечениях СА.

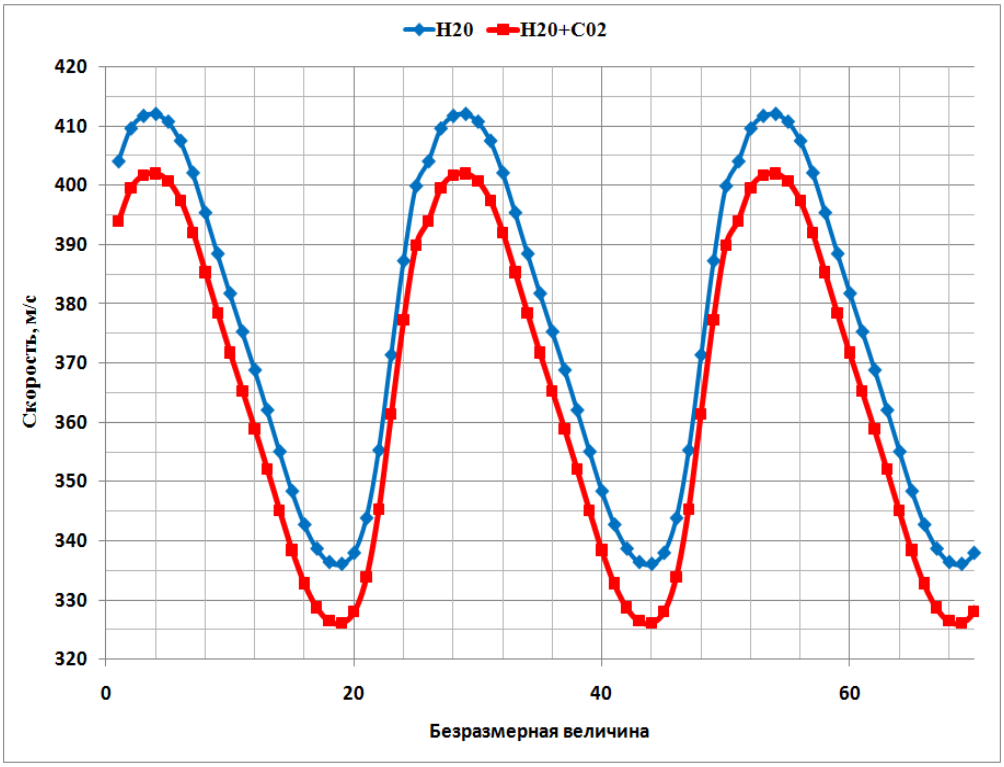


Рисунок 4. Изменения скорости в окружном направлении на среднем диаметре в выходных сечениях РК.

В таблице 1 представлены интегральные характеристики последней ступени цилиндра высокого давления, полученные при трехмерном моделировании в ANSYS CFX, и сравнение их с расчетом по средней линии (одномерный расчет). В одномерном расчете потери в лопаточном аппарате оценивались по атласу профилей

Таблица 1. Сравнение результатов расчета по средней линии и трехмерного расчета

Параметр	Расчет ступени по средней линии	3D расчет H_2O	3D расчет H_2O+CO_2
Расход пара, кг/с	102,1	102,1	99,1
Энтальпия пара на входе в СА, кДж/кг	4318	4318	4301
Коэффициент скорости СА	0,957	0,954	0,957
Коэффициент скорости РК	0,937	0,934	0,934

Энтальпия пара на выходе из РК, кДж/кг	4122	4124	4129
Располагаемый теплоперепад ступени, кДж/кг	213	212.4	190
Срабатываемый теплоперепад ступени, кДж/кг	196	194	172
Мощность ступени, МВт	19,4	19,2	18,8
КПД ступени	0,917	0,913	0,913

Расчет ступени на смесевом рабочем теле не показал принципиальных отличий от расчета на чистом паре, что хорошо согласуется с предварительными расчетами свойств смесевого тела.

Литература:

[1]. Разработка научных основ проектирования электростанций с высокотемпературными паровыми турбинами: Сборник статей. — М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. — 300 с.

[2]. Федоров В.А. Разработка энергокомплексов с высокотемпературными паротурбинными установками с созданием и испытанием опытного образца. Сборник докладов ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы». с.94-95.

[3]. Фаворский О.Н., Леонтьев А.И., В.А.Федоров, Мильман О.О. Расчетно-экспериментальное обоснование создания угольно-водородной электростанции с высокотемпературными (850-1500 °С) паровыми турбинами. Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. Т.1. с. 63-68.

Крылов Виктор Сергеевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: spray_92@mail.ru.

УДК 629.356

М.И. Ермакова

ПРИМЕНЕНИЕ ГТД С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ НА КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛАХ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время широкое применение получили карьерные самосвалы «БЕЛАЗ», предназначенные для перевозки горной массы в сложных горнотехнических условиях глубоких карьеров, на открытых разработках месторождений полезных ископаемых по технологическим дорогам в различных климатических условиях. Для повышения полезной работы и снижению эксплуатационных затрат в «БЕЛАЗе» применяется электромеханическая трансмиссия (ЭМТ), как альтернатива гидромеханическому приводу [1]. На рис. 1 представлена схема карьерного самосвала с ЭМТ.

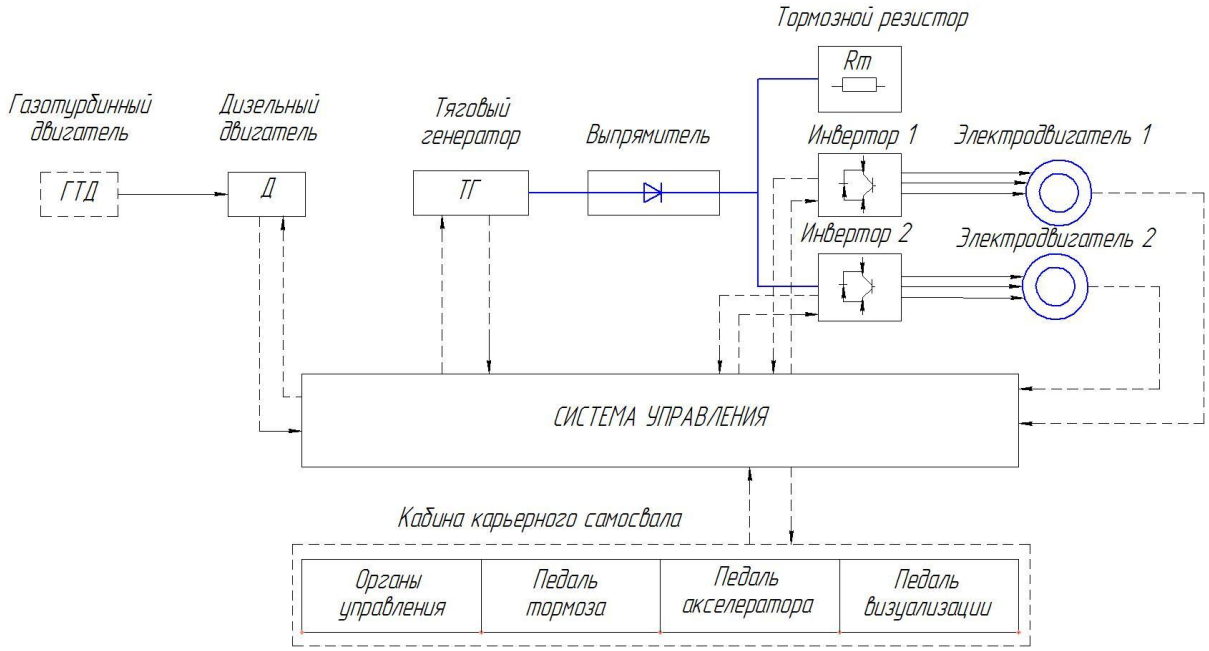


Рисунок 1- Структурная схема силового блока карьерного самосвала «БЕЛАЗ» с ЭМТ переменно-переменного тока

Основными преимуществами применения дизельного двигателя на карьерных самосвалах являются: более высокая экономичность, возможность работы на различных топливах, значительное форсирование по мощности наддува, но нельзя также не отметить недостатки двигателя: большие габаритные размеры и масса, сложная и дорогая топливная аппаратура, высокая токсичность отработавших газов, затрудненный пуск при низких температурах воздуха [2]. В настоящее время на АОА «Криоген-

маш» ведутся разработки по переводу карьерных самосвалов на газодизельный и газовый режим работы с использованием газотурбинного двигателя. Применение на транспортных машинах современных газотурбинных установок позволит устранить отмеченные недостатки транспортной поршневой силовой установки [3]. Характеризуя газовую турбину, следует отметить, что она может развивать большие обороты, это дает возможность получать значительную мощность от гораздо меньших по размерам и почти в 10 раз легких по весу двигателей. Газотурбинные двигатели (ГТД) не требуют специальных устройств для охлаждения. Отсутствие трущихся деталей при минимальном количестве подшипников обеспечивает длительную работоспособность и высокую надежность ГТД. Так же важное значение имеет то обстоятельство, что для питания газотурбинного двигателя используется керосин либо дизельные топлива, т.е. более дешевые, чем бензин. Основная причина, которая сдерживает развитие газотурбинных двигателей, заключается в необходимости ограничивать температуру газов, поступающих на лопатки турбины. [4] Это снижает коэффициент полезного действия двигателя и приводит к повышенному удельному расходу топлива.

В данной работе были рассмотрены газотурбинный и дизельный двигатели, с целью усовершенствования ГТД, для дальнейшего его использования на карьерных самосвалах с электромеханической трансмиссией.

Список использованных источников

[1]. Клименко М.А. «Карьерные самосвалы – самые большие автомобили мира»// Автомания-2010.-28 мая.

[2]. Попов Н.С., Изотов С.П., Антонов В.А. «Транспортные машины с газотурбинными двигателями» - Л.: *Машиностроение*. Ленинград. отд-ние, 1980.

[3]. Пульманов Н.В. «Газовая турбина вместо ДВС»// За рулем.-2007.-30 июня.

[4]. Первые поставки БЕЛАЗ-75603 на рынок РФ-2015.-3 фев. URL: http://www.belaz.by/press/news/2015/pervie_postavki_belaz_75603_na/ (дата обращения 10.03.2015).

Ермакова Маргарита Игоревна — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: golivod92@mail.ru.

В. О. Евтеева

ПРИМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЯЮЩИХ РЁБЕР ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ И ГЕЛИКОИДНОЙ ФОРМ ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Теплообменники играют важную роль во многих промышленных процессах, таких как очистка, химическое производство, защита окружающей среды, электроэнергетика и многих других [1..3].

Среди различных типов теплообменных аппаратов наиболее широко используются кожухотрубные теплообменники. Преимуществами данного типа теплообменных аппаратов является их надёжность, простота обслуживания и возможность модернизации.

Существуют различные варианты модернизации кожухотрубных аппаратов для удовлетворения особых требований современной промышленности по увеличению коэффициента теплопередачи с приемлемым гидравлическим сопротивлением.

Один из наиболее используемых для этих целей способов является применение различных направляющих перегородок.

Долгое время использовались различные варианты таких перегородок. Самое широкое распространение получили сегментные перегородки, которые зигзагообразно закручивали поток вокруг трубного пучка. Улучшение коэффициента теплопередачи происходило за счёт увеличения турбулентности и местного перемешивания жидкости.

Однако традиционные кожухотрубные теплообменные аппараты с сегментными перегородками имеют ряд недостатков: высокое гидравлическое сопротивление из-за внезапного суживания и расширения, сталкивания потоков жидкости, низкий коэффициент теплопередачи в областях, расположенных на углах между перегородкой и кожухом, малый расход жидкости через трубный пучок, вследствие протечек через перегородки по причине неточности изготовления и установки, снижение срока службы вследствие вибрационных нагрузок, вызываемых поперечным током жидкости, необходимость в мощных насосах для преодоления гидравлического сопротивления.

Решением данной проблемы являются направляющие перегородки витой формы.

Одним из вариантов являются перегородки геликоидной формы (рис. 1) [2]. Такие перегородки были созданы в Чешской республике на заводе АББ. Преимуществами данной конструкции являются: улучшенный коэффициент теплопередачи и гидросопротивления, уменьшенный обратный эффект, снижение загрязнений, защита от появления вибраций, снижение расходов на обслуживание.

Рис. 1. Теплообменник с геликоидной перегородкой.

Рис. 2. Параболическая направляющая перегородка.

Другим вариантом исполнения направляющих перегородок являются параболические (рис. 2) .

В работе [1] представлен обзор материала по расчёту и модернизации теплообменников с данной конструкцией направляющих перегородок.

Применение новых способов формирования течения в кожухотрубных теплообменниках позволяет повысить их эффективность с точки зрения увеличения коэффициента теплоотдачи.

Список литературы:

[1]. Sami D. Salman, Abdul Amir H. Kadhum, Mohd S. Takriff, Abu Bakar Mohamad. Heat Transfer Enhancement of Laminar Nanofluids Flow in a Circular Tube Fitted with Parabolic-Cut Twisted Tape Inserts. Hindawi Publishing Corporation The Scientific World Journal Volume 2014, Article ID 543231, 7 pages

[2]. C.Sivarajan, B.Rajasekaran, Dr.N.Krishnamohan. COMPARISION OF NUMERICAL HEAT TRANSFER IN CONVENTIONAL AND HELICALLY BAFFLED HEAT EXCHANGER. Research and Applications (IJERA) Vol. 2, Issue 2,Mar-Apr 2012, pp.1278-1282.

[3]. Veerabhadrappa Telgane. NUMERICAL ANALYSIS OF FLUID FLOWING THROUGH THE UNIFORMLY HEATED CIRCULAR TUBE FITTED WITH HELICAL INSERTS IN LAMINAR FLOW. International Journal of Latest Research in Science and Technology Volume 3, Issue 1: Page No.64-67 ,January-February 2014.

Евтеева Виктория Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zwilinge2@gmail.com.

С.Г. Смоляр, Д.И. Филинков

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТУРБИННОЙ ТЭЦ ВНЕШНЕГО ГОРЕНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В статье приводится исследование термодинамического цикла микро-ГТУ с нагревателем рабочего тела внешнего горения и использованием в качестве рабочего тела – воздуха. Установка работает по замкнутому циклу с возможностью получения электрической и тепловой энергии.

Ключевые слова: *микро ГТУ, автономное тепло-,электроснабжение, ГТД, турбокомпрессор, ТКР.*

Введение. В предыдущей статье [1] были рассмотрены ГТУ мощностью от 15кВт и выше, но, зачастую, для частных домовладений требуются установки меньшей мощности. В этом случае на помощь могут прийти микро-ТЭЦ, в основе которых – ГТУ малой мощности, размеры такой ГТУ могут приближаться к размерам турбокомпрессоров (далее ТКР) для ДВС. Подобное применение ТКР имеет свои особенности.

Особенности микро-ГТУ на основе ТКР. Связаны с применяемыми материалами, будучи спроектированными, под более низкие температуры (нежели специально создаваемые ГТУ), они требуют более низких рабочих температур.

Плюсы подобных решений:

1. Использование ранее спроектированных агрегатов позволяет снизить затраты на разработку, изготовление и внедрение.
2. Низкая стоимость, по сравнению с высокотемпературными микро-ГТУ.
3. Диапазон расходов: от 0,05 кг/с – до 0,4 кг/с.
4. Простота конструкции и обслуживания.

Минусы подобных решений:

1. Максимально допустимая температура рабочего тела в районе 650 ^{o}C.
2. Низкая энергетическая эффективность и низкий электрический КПД.
3. Относительно невысокая длительность службы.

На основании этого можно предложить следующее решение – использование в качестве рабочего тела воздуха, а в качестве нагревателя рабочего тела – воздухоподогревателя и/или камеры внешнего горения. Принципиальная схема подобной установки, работающей по замкнутой схеме, показана на рис.1.

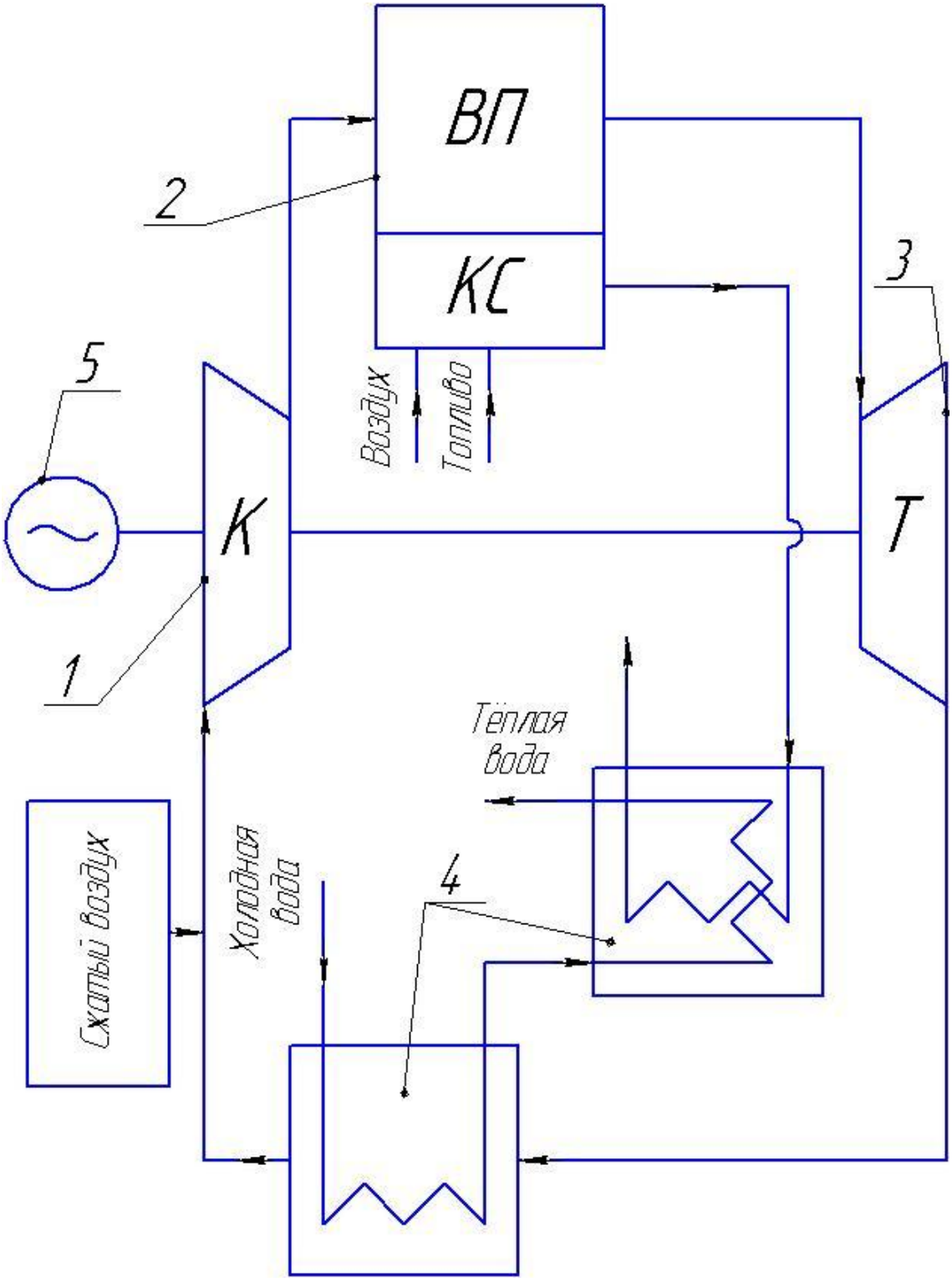


Рисунок 1 Схема установки.

Где: 1 – компрессор; 2 – воздухоподогреватель; 3 – турбина; 4 – воздухоохладитель/подогреватель воды; 5 – электрический генератор.

Причём, элементы 1 и 3 – входят в состав ТКР.

Оценка эффективности ГТУ. В нашем случае заключалась в определении КПД и удельной работы установки.

Исходные данные для оценки:

$T_0 = 35^o C$ - температура перед компрессором / за воздухоохладителем.

$P_0 = 101300 Па$ - давление перед компрессором / за воздухоохладителем.

$\pi_K = 1,5; 2; 2,5$ - степень повышения давления в компрессоре.

$\sigma_{ВП} = 0,95$ - показатель восстановления давления в воздухоподогревателе.

$\sigma_{ВО} = 0,95$ - показатель восстановления давления в воздухоохладителе.

$R = 287 \frac{Дж}{кг \cdot К}$

$k = 1,4$

$C_P = 1004,5 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ - теплофизические показатели воздуха.

$m_B = \frac{287}{1004,5} = 0,248$

$\eta_K = 0,73$ - КПД компрессора.

$\eta_T = 0,7$ - КПД турбины.

$\eta_{МЕХ} = 0,98$ - механический КПД.

$T_3 = 400; 500; 600^o C$ - температура за воздухоподогревателем.

$g_{УТ} = 0,0125$ - утечка рабочего тела.

Методика расчёта:

Температура воздуха, после сжатия в компрессоре:

$$T_2 = T_0 \cdot \pi_K^m$$

Давление воздуха после сжатия в компрессоре:

$$P_2 = P_0 \cdot \pi_K$$

Удельная работа, затрачиваемая на привод компрессора:

$$l_K = C_P \cdot T_0 \cdot \frac{\left(\pi_K^m - 1\right)}{\eta_K}$$

Давление газа на выходе из воздухоподогревателя:

$$P_3 = P_2 \cdot \sigma_{ВП}$$

Давление газа перед воздухоохладителем / за турбиной:

$$P_4 = \frac{P_0}{\sigma_{ВО}}$$

Степень понижения давления в турбине:

$$\pi_T = \frac{P_3}{P_4}$$

Работа турбины:

$$l_T = C_P \cdot T_3 \cdot \left(1 - \pi_T^{-m}\right)$$

Удельная мощность установки:

$$N_{еУД} = l_T \cdot \eta_{МЕХ} - l_K$$

КПД установки:

$$\eta = \frac{N_{eУД}}{C_P(T_3 - T_2)}$$

По данной методике расчёта были приблизительно оценены мощности и КПД подобных установок, результаты приведены на графиках 1 и 2. Стоит заметить, что в процессе расчёта пренебрегают некоторыми потерями, например потерями давления и понижением температуры при движении рабочего тела от воздухоподогревателя к турбине и т.п., поэтому графики носят приблизительный характер.

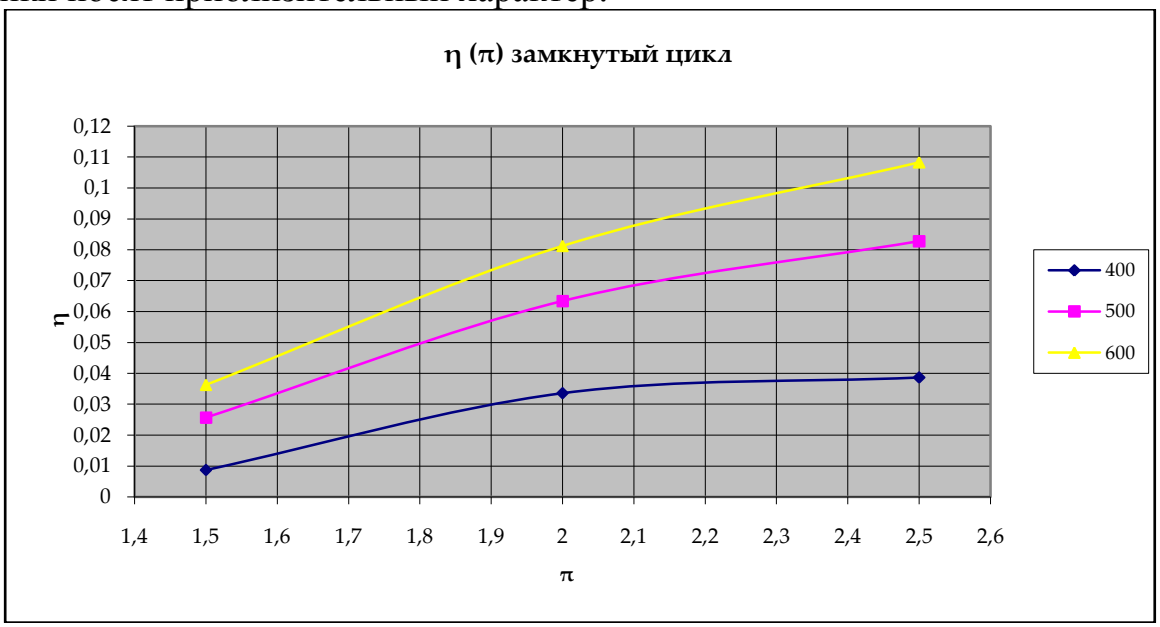


График 1. Зависимость КПД от степени повышения давления.

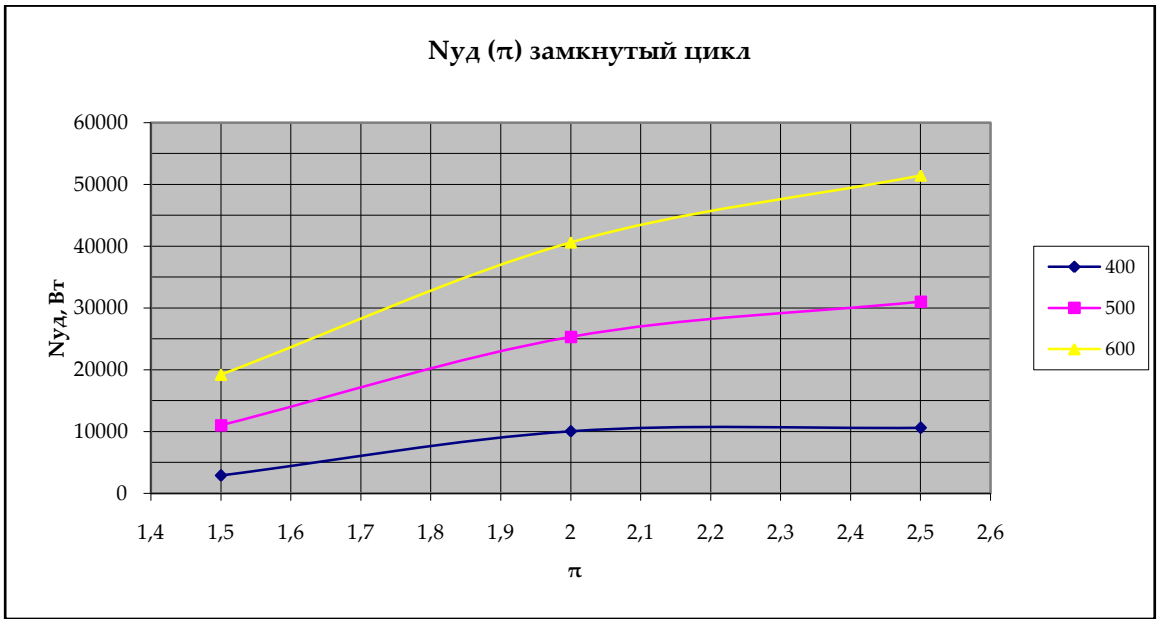


График 2. Зависимость удельной мощности от степени повышения давления.

Заключение. Решения на основе ТКР могут покрыть диапазон мощностей от нескольких сотен ватт, до ≈15кВт, это обуславливает их гибкость и подстройку под самые различные нужды. Однако с понижением температуры до ≈450 ^{o}C КПД установки снижается до 3-4%, при максимальной степени сжатия. Применение в качестве рабочего тела воздуха, менее агрессивного, чем продукты сгорания, позволяет увеличить срок службы установок. Применение воздухоподогревателей и/или камер внешнего сгорания позволяет использовать самые различные источники тепла и широкий спектр различных видов топлива.

Список использованных источников

[1]. С.Г. Смоляр, Д.И. Филинков, А.В. Землянский - Применение микротурбинных установок в ТЭЦ малой мощности. Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25–27 ноября 2014 г. Т. 1. – М. :Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 216 с.

[2]. Воронежский механический завод [Электронный ресурс]. - http://vmzvrn.ru/. – (дата обращения: 19.02.2015)

[3]. Газопоршневые электростанции, установки, агрегаты, станции, мини-тэц. Мини-ТЭС [Электронный ресурс]. - http://www.r-gaz.ru/ . – (дата обращения: 15.03.2015)

[4]. Открытое Акционерное Общество "Борисовский завод агрегатов" [Электронный ресурс]. - http://bza.by/. – (дата обращения: 25.02.2015)

Смоляр Сергей Григорьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: smolyar_sergei@mail.ru.

Филинков Дмитрий Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: demon_0178@mail.ru.

С.Г. Смоляр, Д.И. Филинков

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТУРБИННОЙ ТЭЦ ВНЕШНЕГО ГОРЕНИЯ ПОЛУЗАМКНУТОГО ЦИКЛА.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В статье приводится исследование термодинамического цикла микро-ГТУ с нагревателем рабочего тела внешнего горения и использованием в качестве рабочего тела – воздуха. Установка работает по открытому циклу с возможностью получения электрической и тепловой энергии.

Ключевые слова: *микро ГТУ, автономное тепло-,электроснабжение, ГТД, турбокомпрессор, ТКР.*

Введение. В предыдущей статье [1] были рассмотрены ГТУ мощностью от 15кВт и выше, но для частных домовладений требуются установки меньшей мощности. На помощь могут прийти микро-ТЭЦ, в основе которых – ГТУ малой мощности, размеры такой ГТУ могут приближаться к размерам турбокомпрессоров (далее ТКР) для ДВС.

Достоинства и недостатки микро-ГТУ на основе ТКР.

Плюсы:

1. Использование ранее спроектированных агрегатов позволяет снизить затраты на разработку, изготовление и внедрение.
2. Низкая стоимость, по сравнению с высокотемпературными микро-ГТУ.
3. Диапазон расходов: от 0,05 кг/с – до 0,4 кг/с.
4. Простота конструкции и обслуживания.

Минусы:

1. Максимально допустимая температура рабочего тела в районе 650 ^{o}C.
2. Низкая энергетическая эффективность и низкий электрический КПД.
3. Относительно невысокая длительность службы.

Исходя из этого, возможно следующее решение – использовать в качестве рабочего тела воздух, а в качестве нагревателя рабочего тела – воздухоподогреватель и/или камеру внешнего горения. Принципиальная схема установки, работающей по открытой схеме, показана на рис.1 .

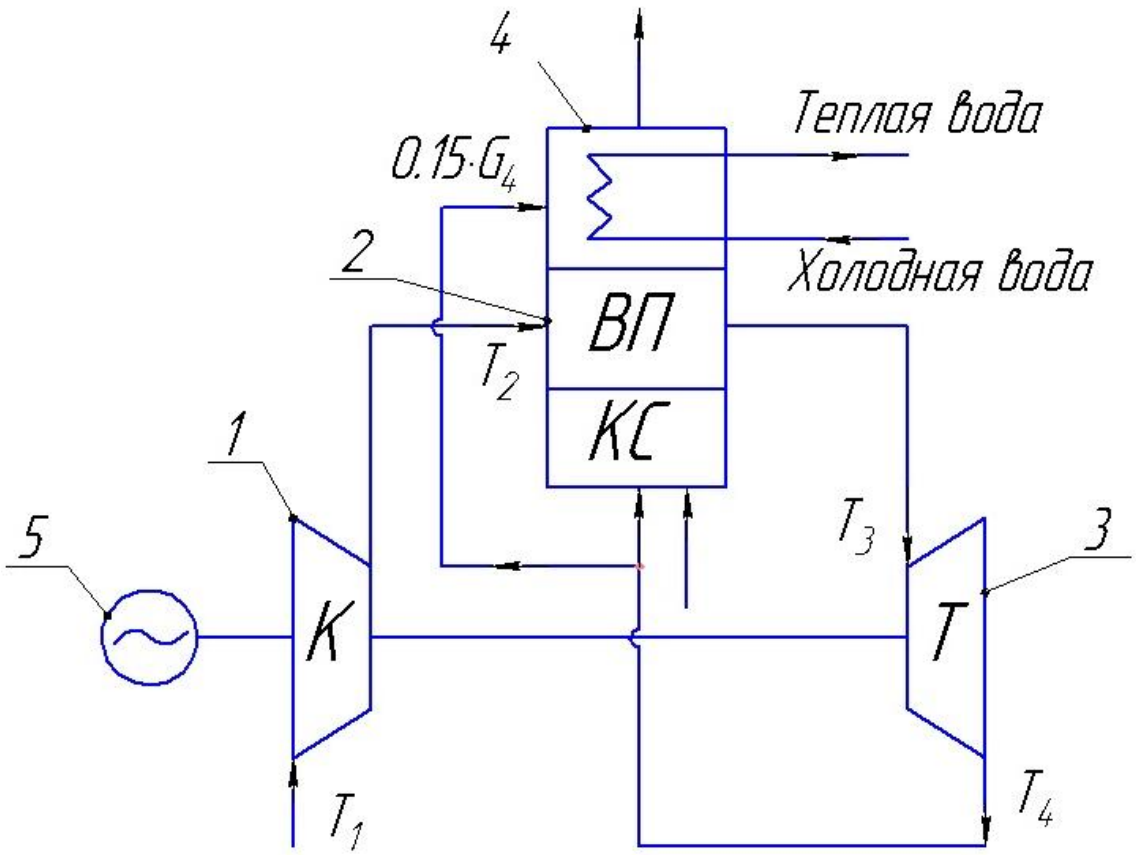


Рис. 1 Схема установки.

Где: 1 – компрессор; 2 – воздухоподогреватель; 3 – турбина; 4 – воздухоохладитель/подогреватель воды; 5 – электрический генератор.

Причём, элементы 1 и 3 – входят в состав ТКР.

Оценка эффективности ГТУ. В нашем случае заключалась в определении КПД и удельной работы установки.

Исходные данные для оценки:

$T_1 = 15^o C$ - температура перед компрессором.

$P_1 = 101300 Па$ - давление перед компрессором.

$\pi_K = 1,5; 2; 2,5$ - степень повышения давления в компрессоре.

$\sigma_{ВП} = 0,95$ - показатель восстановления давления в воздухоподогревателе.

$\sigma_{ВО} = 0,95$ - показатель восстановления давления в воздухоохладителе.

$\sigma_{КС} = 0,98$ - показатель восстановления давления в камере сгорания.

$R = 287 \frac{Дж}{кг \cdot К}$

$k = 1,4$

$C_P = 1004,5 \frac{Дж}{кг \cdot К}$ - теплофизические показатели воздуха.

$m_B = \frac{287}{1004,5} = 0,248$

$\eta_K = 0,73$ - КПД компрессора.

$\eta_T = 0,7$ - КПД турбины.

$\eta_{MEX} = 0,98$ - механический КПД.

$T_3 = 400; 500; 600^o C$ - температура за воздухоподогревателем.

$g_{YT} = 0,0125$ - утечка рабочего тела.

Методика расчёта:

Температура воздуха, после сжатия в компрессоре:

$$T_2 = T_1 \cdot \pi_K^m$$

Давление воздуха после сжатия в компрессоре:

$$P_2 = P_1 \cdot \pi_K$$

Удельная работа, затрачиваемая на привод компрессора:

$$l_K = C_P \cdot T_1 \cdot \frac{\left(\pi_K^m - 1\right)}{\eta_K}$$

Давление газа на выходе из воздухоподогревателя:

$$P_3 = P_2 \cdot \sigma_{BП}$$

Давление газа перед воздухоохладителем / за турбиной:

$$P_4 = \frac{P_1}{\sigma_{BO} \cdot \sigma_{KC}}$$

Степень понижения давления в турбине:

$$\pi_T = \frac{P_3}{P_4}$$

Работа турбины:

$$l_T = C_P \cdot T_3 \cdot \left(1 - \pi_T^{-m}\right)$$

Удельная мощность установки:

$$N_{eУД} = l_T \cdot \eta_{MEX} - l_K$$

КПД установки:

$$\eta = \frac{N_{eУД}}{C_H (T_3 - T_2)}$$

По результатам расчёта были приблизительно оценены мощности и КПД подобных установок, результаты приведены на графиках рис.2 рис.3.

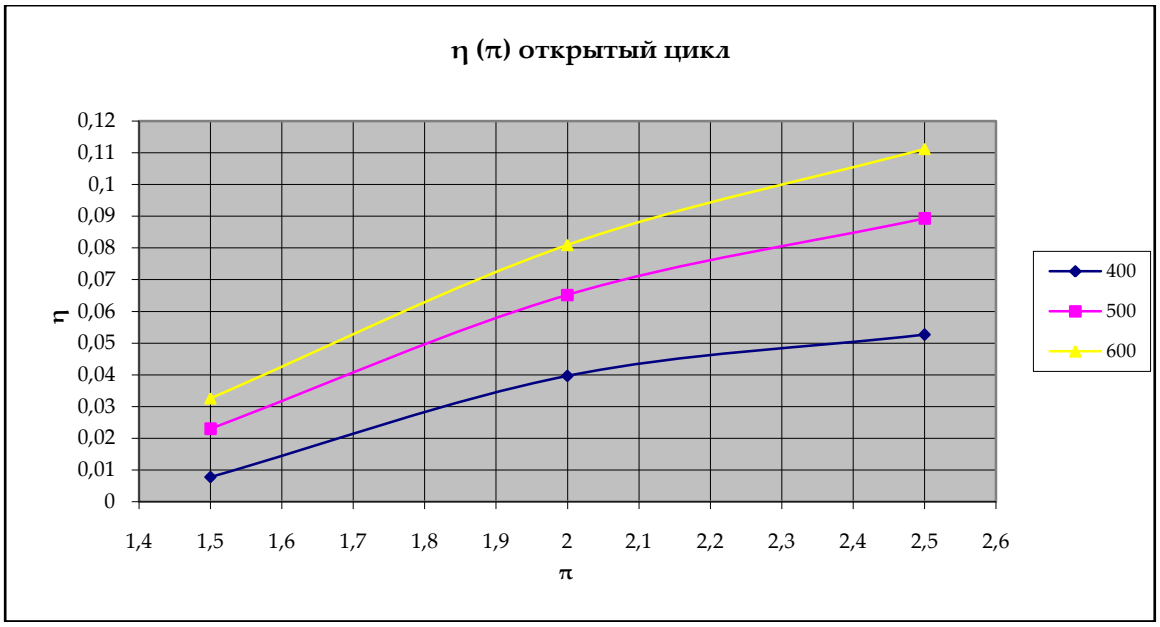


Рис. 2. Зависимость КПД от степени повышения давления.

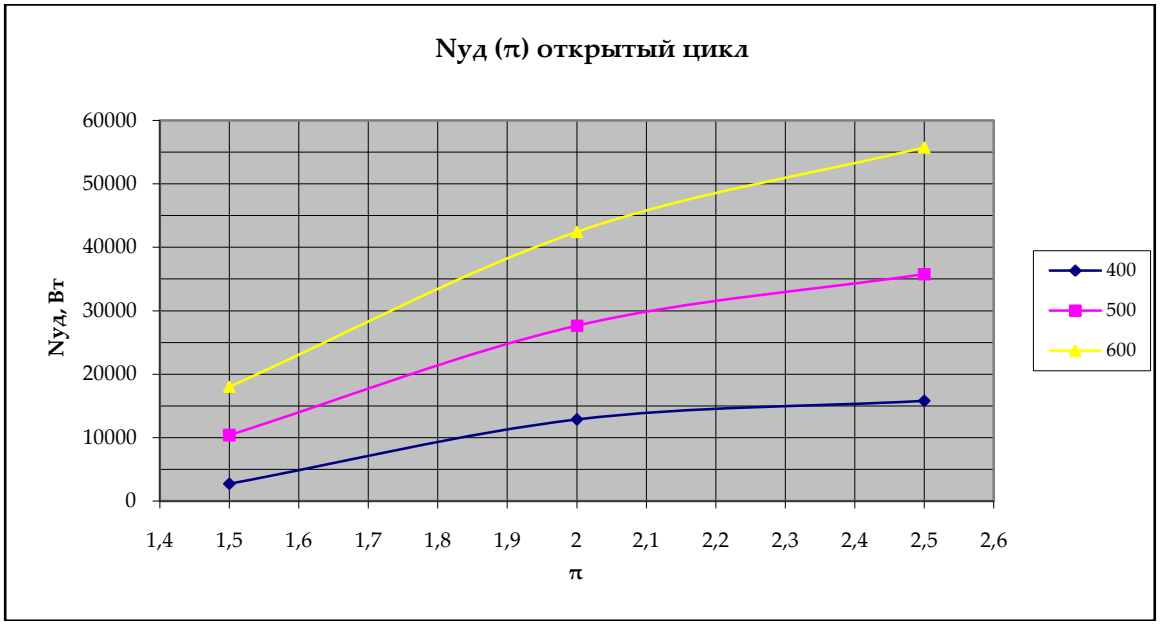


Рис. 3. Зависимость удельной мощности от степени повышения давления.

Заключение. Решения на основе ТКР могут покрыть диапазон мощностей от нескольких сотен ватт, до ≈15кВт. Однако с понижением температуры до ≈450 ^{o}C КПД установки снижается до 5-11%. Применение в качестве рабочего тела воздуха позволяет увеличить срок службы установок. Применение воздухоподогревателей и/или камер внешнего сгорания позволяет использовать самые различные источники тепла и широкий спектр различных видов топлива.

Список использованных источников

[1]. С.Г. Смоляр, Д.И. Филинков, А.В. Землянский - Применение микротурбинных установок в ТЭЦ малой мощности. Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25–27 ноября 2014 г. Т. 1. – М. :Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 216 с.

[2]. Воронежский механический завод [Электронный ресурс]. - http://vmzvrn.ru/. – (дата обращения: 19.02.2015)

[3]. Газопоршневые электростанции, установки, агрегаты, станции, мини-тэц. Мини-ТЭС [Электронный ресурс]. - http://www.r-gaz.ru/ . – (дата обращения: 15.03.2015)

[4]. Открытое Акционерное Общество "Борисовский завод агрегатов" [Электронный ресурс]. - http://bza.by/. – (дата обращения: 25.02.2015)

Смоляр Сергей Григорьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: smolyar_sergei@mail.ru.

Филинков Дмитрий Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: demon_0178@mail.ru.

УДК 620.424.1

И.А.Хомяков

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК»

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Основной задачей, при создании данной работы, являлась попытка осветить технические и экономические особенности магистрального газопровода «Северный поток». А также, подход к решению технических и технологических проблем, особенностям конструирования таких объектов как КС «Портовая», установки применяемые на ней и, непосредственно, сам газопровод от Выборга (Ленинградская область) до Грайфсвальда (земля Мекленбург-Передняя Померания).[1]

«Северный поток» (*NordStream*, ранее **Северо-Европейский газопровод**) —магистральный газопровод между Россией иГерманией, проходящий по дну Балтийского моря. Газопровод «Северный поток» — самый длинный подводный маршрут экспорта газа в мире. Владелец и оператор — компания NordStream AG.

В проекте участвуют Россия, Германия, Голландия и Франция; против его реализации выступали страны-транзитёры российского газа и страны Прибалтики. Цели проекта — увеличение поставок газа на европейский рынок и снижение зависимости от транзитных стран. [2]

Прокладка трубопровода начата в апреле 2010 года. В сентябре 2011 года начато заполнение технологическим газом первой из двух ниток. [3]

8 октября 2012 года начались поставки газа по двум ниткам газопровода в коммерческом режиме. Вторая нитка газопровода начала перекачку части топлива, которое ранее перекачивалось только по первой нитке.

Российские газовые месторождения способны обеспечить около четверти дополнительного импорта газа. Природный газ имеет самый низкий уровень выброса CO_2 из всех видов ископаемого топлива и успешно заменяет уголь, у которого уровень выброса на 50 % больше. Таким образом, увеличение поставок природного газа вписывается в концепцию европейской программы по борьбе с изменением климата, согласующейся с рамочной конвенцией ООН.

"Газпром" намеревался расширить "Северный поток" с двух до четырех веток и продлить его до Британии. Газ поступает в Европу по двум веткам совокупной мощностью 55 млрд куб. м газа в год (эквивалентен энергии, вырабатываемой на 14 АЭС и 50 угольных электростанциях), однако газопровод используют на 50% мощности из-за ограничения доступа "Газпрома" к европейскому газопроводу OPAL. [4]

КС «Портовая» обеспечивает надежные поставки газа по магистральному газопроводу Грязовец - Выборг в газопровод NordStream для европейских потребителей. Она расположена в Выборгском районе Ленинградской области, в приграничной зоне с Финляндией.Общая мощность станции составляет 366 МВт и производительностью 55 млрд. куб. м/год. [5]

19 июля 2011 года на переговорах между Дмитрием Медведевым и Ангелой Меркель обсуждалась возможность строительства *третьей* ветки Северного потока. Немецкая сторона не согласилась на дальнейшее увеличение импорта из России. Однако, вскоре к проекту может присоединиться еще один давний стратегический партнер России —Великобритания. Всего в планах Газпрома значится строительство ещё двух веток газопровода.[6]

Используемая литература

[1]. www.gazprom.ru/about/production/projects/pipelines/nord-stream/ (28.10.2014)

[2]. expert.ru/dossier/story/severnyij-potok/ (14.12.2014)

[3]. www.nord-stream.com/the-project/construction/ (23.09.2014)

[4]. www.vestifinance.ru/articles/52513 (28.01.2015)

[5]. www.invest.gazprom.ru/about/projects/seg/ (10.02.2015)

[6]. www.gas-journal.ru/online/ /index.php?ELEMENT_ID=42665&sphrase_id=1606 (23.09.2014)

Хомяков Иван Андреевич — студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Homjakov.i.a@gmail.com.

УДК 621.438

Е.Г. Липихин, Д.В. Шевелёв, А.В. Шашкин

УСТАНОВКИ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрены варианты установок для совместного производства тепловой и электрической энергии. В работе проведен обзор основных видов применяемых двигателей, уделено внимание их главным достоинствам и недостаткам. На основе анализа характеристик рассмотренных устройств был сделан вывод, что микроГТУ является наиболее подходящим двигателем для когенерационных установок малой мощности.

Ключевые слова: *когенерация, микроТЭЦ, микротурбины, микроГТУ*

Электроэнергию можно получать не только от централизованных сетей, солнечных батарей и ветряков, но и при помощи когенерационных установок, которые способны обеспечить коттедж, производственное или складское помещение одновременно теплом, горячей водой и электричеством. Когенерационные установки получили широкое распространение в "большой" энергетике, где они создаются на базе мощных газовых или паровых турбин. При этом тепловая энергия производится с помощью тепла выхлопных газов газовой турбины или пара из отборов паровой турбины. Когенерационные установки, созданные по данному типу, получили название теплоэлектроцентралей, ТЭЦ (Рисунок 1а). Приоритетным в данной схеме является производство электрической энергии, а тепловая энергия является "побочным" продуктом, производство которого обычно невозможно или экономически нецелесообразно при остановке паровой или газовой турбины.

В случае когенерационных установок малой мощности – порядка десятков или сотен киловатт (микроТЭЦ), приоритетной, в ряде случаев, видится тепловая нагрузка, а электрическая выступает уже побочным продуктом. В этом случае микроТЭЦ представляет собой бойлер с энергетической надстройкой, в которой, используя тепло дымовых газов, производится электрическая энергия порядка нескольких киловатт (Рисунок 1б).

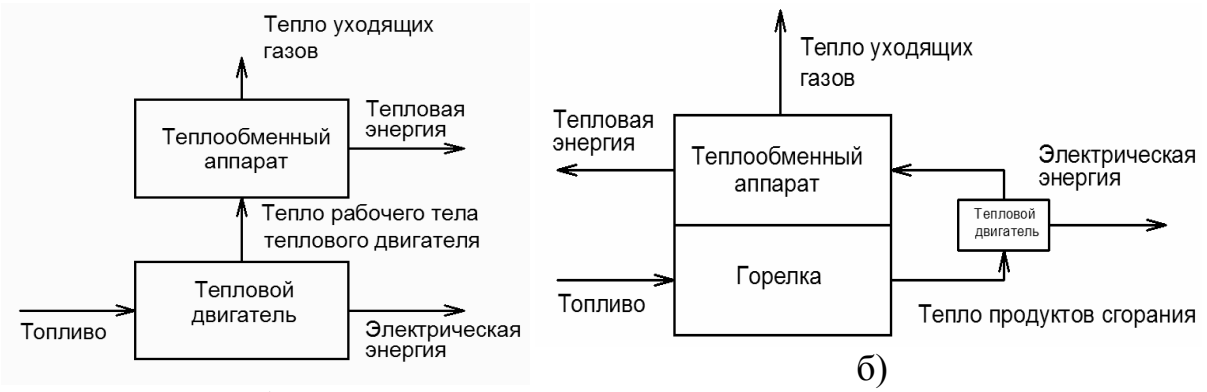


Рисунок 1 – Схемы когенерационых установок

К достоинствам микро-ТЭЦ относятся [1]:

- Высокая энергоэффективность;
- Снижение вредного воздействия на окружающую среду, что связано с более эффективным использованием энергии топлива;
- Модульный принцип микро-ТЭЦ позволяет подстраиваться под индивидуальные требования потребителей, а так же упрощает монтаж и время подготовки к работе;
- Разнообразие используемых топлив;
- Использование сети из микро-ТЭЦ повышает надежность энергоснабжения;
- Гибкость в условиях изменения нагрузки.

В малоразмерных когенерационных установках получили основное распространение тепловые двигатели следующих типов [2]:

1. поршневые двигатели внутреннего сгорания;
2. двигатели Стирлинга;
3. паровые микротурбины;
4. газовые микротурбины;

Поршневые двигатели внутреннего сгорания являются наиболее распространенным типом первичного двигателя. Широкое распространение получили двигатели реализующие цикл Отто и цикл Дизеля. К основным достоинствам таких двигателей следует отнести высокий КПД, простота конструкции, низкая стоимость. КПД современных установок составляет величину порядка 25…30% для бензинового двигателя и порядка 40% для дизельного [3]. В качестве топлива, в таких двигателях используются различные марки жидкого топлива и природный газ. К недостаткам двигателей внутреннего сгорания следует повышенную шумность и вибрации, большой расход масла, малый межремонтный ресурс (порядка 3000 часов). Также, к недостаткам двигателей внутреннего сгорания следует отнести малый расход и температуру выхлопных газов, что затрудняет создание на их основе когенерационных установок. Использование поршневых двигателей возможно только в когенерационных установках построенных по

схеме а), представленной на Рисунке 1, так как цикл основан на подводе тепла к рабочему телу непосредственно в камере сгорания.

Двигатель Стирлинга относится к двигателям внешнего сгорания, что позволяет использовать различные виды топлива. Двигатель имеет герметичный замкнутый контур с газообразным рабочим телом - воздухом, водородом или гелием. Подвод и отвод тепла в цикл осуществляется с помощью двух теплообменников - рекуператоров. К достоинствам двигателей Стирлинга следует отнести их бесшумность, большой ресурс (десятки тысяч часов), простоту конструкции, высокий КПД (до 35%). Так как подвод тепла в двигатель Стирлинга осуществляется через теплообменный аппарат, то возможно создание на его основе когенерационных установок как схемы а) так и схемы б). К недостаткам следует отнести большую материалоемкость и громоздкость из-за наличия двух теплообменников и высокого давления рабочего тела (более 100 атм), инерционность характеристик [4].

Паровая турбина также может использоваться в составе микроТЭЦ, [5]. Небольшой перепад температур в цикле обуславливает использование в качестве рабочего тела - органического теплоносителя с низкой температурой кипения. Органический носитель сжимается и двигается в замкнутом контуре с помощью насоса. Он испаряется в трубчатом теплообменнике, поглощая тепловую энергию продуктов сгорания. Полученный пар расширяется в специальной турбине, которая приводит в движение электрический генератор, и конденсируются в другом теплообменнике с помощью охлаждающего носителя – воды. После этого конденсат снова сжимается с помощью циркуляционного насоса, который закрывает термодинамический цикл. Электрический кпд такой установки составляет величину порядка 20-25%, К достоинствам относится высокий ресурс паровой турбины, обусловленный низкой частотой её вращения, безредукторный привод электрогенератора, возможность работы на любом виде топлива. К недостаткам относится сложность тепловой схемы, наличие двух теплообменных аппаратов - испарителя и конденсатора, низкая надежность установки в целом.

К микроГТУ относятся газотурбинные двигатели имеющие мощность от единиц до десятков киловатт. В микроГТУ возможна реализация как простого так и регенеративного цикла Брайтона, открытого, закрытого и полуоткрытого цикла. МикроГТУ отличает компактность, простота конструкции, возможность работы без масла, полезное использование теплоты уходящих газов в основном теплообменнике бойлера [6]. Использование микроГТУ в качестве энергетической надстройки водогрейного котла видится особенно выгодном в том плане, что в случае подвода тепла в цикл с помощью теплообменного аппарата позволяет отказаться от камеры сгорания и использовать только штатную горелку водогрейного котла. Выбор оптимальной схемы микроГТУ в составе микроТЭЦ требует исследования

удельных параметров цикла в зависимости от таких параметров как степень повышения давления, начальная температура рабочего тела перед турбиной, удельная работа цикла.

ПРИСТАТЕЙНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[1]. Micro-CHP Systems for Residential Applications Final Report. U.S. Department of Energy, 2006, 114 p.

[2]. Small and micro combined heat and power (CHP) systems Advanced design, performance, materials and applications. Robert Beith. Woodhead Publishing limited, 2011, 528 p.

[3]. Д.Д. Матиевский, В.В. Логвиненко, А.Г. Кузьмин. Перспективы использования поршневых ДВС в качестве источника тепловой и электрической энергии для энергоснабжения промышленных объектов. Ползуновский вестник №1-2, 2003, с. 4-8.

[4]. Кириллов Н.Г. Область применения машин Стирлинга – системы автономного энергоснабжения. Вестник машиностроения. - №10. 2005. с.3-7.

[5]. А.А. Кишкин, Д.В. Черненко, А.А. Ходенков, А.В. Делков, Ф.В. Танасиенко. Разработка установок-утилизаторов низкопотенциального тепла на основе органического цикла Ренкина. Альтернативная энергетика и экология. -№14. 2013. с.57-62.

[6]. M. J. Moore. Micro turbine generators. Micro-turbine Generators is John Wiley & Sons. April 2005, 108 p.

Липихин Евгений Геннадьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Evgeny.Lipihin@yandex.ru.

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: denis.v.shevelev@gmail.com.

Шашкин Алексей Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Evgeny.Lipihin@yandex.ru.

СЕКЦИЯ 5.

КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ

УДК 62.5

Ю.И. Мышляев, А.В. Финошин, Я.А. Долгов, А.А. Зюзин

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К УПРАВЛЕНИЮ НЕЛИНЕЙНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ НА ПРИМЕРЕ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРЕВЕРНУТОГО МАЯТНИКА НА ТЕЛЕЖКЕ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ПРИВОДА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В статье рассматривается задача стабилизации неустойчивого положения тележки с маятником, управляемой приводом. Тележка с маятником является механической системой, состоящей из маятника, прикрепленного к тележке, которая катится свободно по плоской поверхности. Особенность рассматриваемой процедуры синтеза является использование системы с переменной структуры, приводящей маятник к колебательному движению с последующей стабилизацией в верхнем положении. Рассмотренная система управления является двухкаскадной, где входным каскадом является привод, а выходным механическая подсистема. Цель управления зависит от фазовых переменных выходного каскада, целесообразно воспользоваться первым и третьим этапами метода скоростного биградиента. Управление механической подсистемой осуществляется на основе энергетического подхода с частичной линеаризацией с использованием ПД-регулятора с компенсацией нелинейности. В работе приводится процедура синтеза и результаты моделирования, подтверждающие достижение заданной цели управления.

Ключевые слова: *управление энергией, метод скоростного биградиента, линеаризация, система с переменной структурой*

Введение. Задачи управления нелинейными колебаниями (swing-up control) возникают во многих приложениях, таких как поддержание заданных колебаний рабочего тела и идентификация углового положения, скорости основания вибрационных гороскопов, синхронизация колебаний звеньев робота, раскачивание с последующей стабилизацией неустойчивого положения маятниковых объектов или систем, описывающих схожей динамикой: перевернутый маятник на тележке, самолет, модель опрокидывающего автомобиля и т.д.[1, 2, 3] Особый интерес в задачах управления колебаниями представляет возможность достижений целей управления (стабилизация, синхронизация, возбуждение колебаний) с помощью малых управляющих воздействий [4]. Свойство «минимального вмешательства» в

ход естественных процессов [5] обеспечивается за счет использования подхода, основанного на введение энергетической целевой функции[6]. Цель управления достигается с сохранением характера собственных движений системы и с минимальными затратами.

Часто исполнительное устройство, приводящее в движение механические системы, оказывает ощутимое влияние на качество управления, поэтому пренебрежение его динамикой недопустимо. Поэтому ставится задача синтеза управления колебаниями не просто механической системой, а каскадной электромеханической системой, состоящей из привода и механической подсистемы. Задача возбуждений колебаний перевернутого маятника рассмотрена в [7].

Постановка задачи. Тележка с маятником является механической системой, состоящей из маятника, прикрепленного к тележке, которая катится свободно по плоской поверхности. Тележка с маятником имеет две степени свободы.

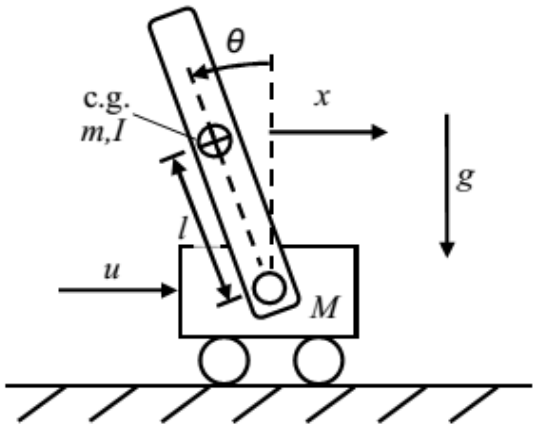


Рис. 1. Система тележка с маятником.

Уравнение системы в лагранжевой форме:

$$\begin{pmatrix} M+m & -ml\cos\theta \\ -ml\cos\theta & I+ml^2 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{\theta} \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} 0 & ml\dot{\theta}\sin\theta \\ 0 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{\theta} \end{pmatrix}+\begin{pmatrix} 0 \\ -mgl\sin\theta \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} f\,, \quad (1)$$

где M – масса тележки, m – масса маятника, l – длинна маятника, I – момент инерции маятника, f – управляющая сила.

Уравнение (1) описывает нелинейную динамическую систему четвертого порядка с переменными состояния $\mathbf{x}=\begin{bmatrix} x & \dot{x} & \theta & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T$ и входным управляющим воздействием f. Вертикальному (неустойчивому) положению равновесия соответствует значение $\theta^*=0$ (точнее, $\theta^*=\pm 2\pi n, n=0,1,\ldots$).

Уравнение (1) можно записать в матричной форме:

$$H(q)\ddot{q}+C(q,\dot{q})\dot{q}+\varphi(q,\dot{q})=Bf\,, \quad (2)$$

где $q=\begin{bmatrix} x & \theta \end{bmatrix}^T$ – вектор обобщенных координат, H – симметричная положительно определенная матрица масс, C – матрица центростремительных

сил и сил Кориолиса, φ – вектор потенциальных сил, B – матрица из единицы и нуля с соответствующим размером.

Не умоляя общности, будем считать, что динамика привода описывается интегратором. Уравнение привода, генерирующего силу, приводящую тележку в движение:

$$\dot{f} = u, \tag{3}$$

где u – управление.

Цель управления (ЦУ): ограниченность всех траекторий замкнутой системы и стабилизация маятника в верхней точке равновесия

$$\theta(t) \to \theta^* \text{ при } t \to \infty \tag{4}$$

Синтез алгоритма управления. Рассмотренная система управления является двухкаскадной, где входным каскадом является привод, а выходным механическая подсистема. Т.к. ЦУ зависит от фазовых переменных выходного каскада, воспользуемся первым и третьим этапами метода скоростного биградиента (МСБГ) [8]. По постановке задачи параметры считаются заданными, отпадает необходимость использовать второй этап МСБГ.

Этап 1. Синтез виртуального управления выходным каскадом. На первом этапе синтезируется виртуальное управление маятником на тележке в предположении, что оно совпадает с выходом привода. Введем линеаризующую обратную связь по следующей схеме.

Перепишем уравнение (2) в скалярной форме с точностью до замены входа механической подсистемы f виртуальным управлением f^{virt}

$$H_{11}\ddot{q}_1 + H_{12}\ddot{q}_2 + C_{11}\ddot{q}_1 + C_{12}\dot{q}_2 + \varphi_1 = f^{virt}, \tag{5}$$

$$H_{21}\ddot{q}_1 + H_{22}\ddot{q}_2 + C_{21}\dot{q}_1 + C_{22}\dot{q}_2 + \varphi_2 = 0. \tag{6}$$

Используя линеаризацию с обратной связью, исключим $\ddot{q}_2$ из уравнения (5), в результате получим:

$$H_{11}^*\ddot{q}_1 + C_{11}^*\ddot{q}_1 + C_{12}^*\dot{q}_2 + \varphi_1^* = f^{virt}, \tag{7}$$

где $H_{11}^* = H_{11} - H_{12}H_{22}^{-1}H_{21}, C_{11}^* = C_{11} - H_{12}H_{22}^{-1}C_{21}, C_{12}^* = C_{12} - H_{12}H_{22}^{-1}C_{22}$,
$\varphi_1^* = \varphi_1 - H_{12}H_{22}^{-1}\varphi_2$

Линеаризующий вход для (7)

$$f^{virt} = H_{11}^*\ddot{q}_{1d} + C_{11}^*\ddot{q}_1 + C_{12}^*\dot{q}_2 + \varphi_1^*,$$

который для тележки с маятником имеет вид

$$f^{virt} = \frac{\left((M+m) - m^2l^2g\cos\theta^2\right)}{\left(ml^2 + I\right)}\ddot{x}_d + ml\ddot{\theta}^2\sin\theta - \frac{\left(m^2l^2g\cos\theta\sin\theta\right)}{\left(ml^2 + I\right)}, \tag{8}$$

Для тележки с маятником данная линеаризация дает следующее

$$\ddot{x} = \ddot{x}_d(t), \tag{9}$$

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} - mgl\sin\theta = ml\cos\theta\ddot{x}_d(t), \tag{10}$$

ЦУ зависит от фазовых координат, входящих в уравнение (10). Поэтому исходная задача сводится к решению задачи стабилизации маятника (10).

Существует два подхода к решению задачи стабилизации маятника (10) с двумя разными целевыми функциями и, как следствие, законами управления.

Энергетический подход. При использовании энергетического подхода маятнику «навязывается» присущее ему свободное движение. При постепенном раскачивании маятника можно рассчитывать на небольшой расход энергии.

Гамильтониан (первый интеграл) маятника:

$$E = \frac{1}{2}\left(I + ml^2\right)\dot{\theta}^2 + mgl\cos\theta \tag{11}$$

Целевая функция

$$Q_E = \frac{1}{2}\left(E - E_*\right)^2, \tag{12}$$

где E_* – эталонное значение гамильтониана. Из (11) видно, что в верхнем положении $E_* = 0$.

Желаемый вход маятника

$$\ddot{x}_d = -\gamma_1 \tilde{E}\cos\theta\dot{\theta} \tag{13}$$

где $\gamma_1 > 0$.

Для стабилизации положения тележки введем ПД-регулятор. С учетом регулятора управление (13) будет иметь вид:

$$\ddot{x}_d = -\gamma_1 \tilde{E}\dot{\theta}\cos\theta - k_p x - k_d \dot{x}, \tag{14}$$

Недостатком данного подхода является несравненно высокий уровень управления для удержания маятника в верхнем положении.

Стабилизация маятника – ПД-регулятор с компенсацией нелинейности

$$\ddot{x}_d = \frac{1}{\xi_2\cos\theta}\left(\xi_1\sin\theta + k_0\tilde{\theta} + k_1\dot{\theta}\right), \tag{15}$$

где $\xi_1 = \frac{mgl}{I + ml^2}, \xi_2 = \frac{ml}{I + ml^2}$, $\tilde{\theta}$ - приведенный к диапазону $\left[-\pi, \pi\right)$ угол поворота маятника, является одним из возможных результатов синтеза при использовании целевой функции

$$Q_\theta = \frac{1}{2}\tilde{\theta}^2, \tag{16}$$

Данный метод позволяет «навязать» маятнику не свойственную ему вынужденную динамику, что может привести к значительным энергетическим затратам как на раскачку, так и на торможение.

Для объединения достоинств обоих подходом будем использовать комбинированный алгоритм с порогом переключения $\varepsilon = 0.01$ рад:

Если $\left|\tilde{\theta}\right| > \varepsilon$, то $\ddot{x}_d = -\gamma_1 \tilde{E} \cos\theta\dot{\theta}$, иначе $\ddot{x}_d = \dfrac{1}{\xi_2 \cos\theta}\left(\xi_1 \sin\theta + k_0\tilde{\theta} + k_1\dot{\theta}\right)$.

Будем использовать одно переключение. Для недопущения резкого нежелательного скачка при переключении управления будем использовать сглаживающий фильтр.

Этап 2. Синтез алгоритма управления, обеспечивающего сходимость отклонения выхода привода от виртуального управления к нулю. Введем дополнительную цель управления (ДЦУ)

$$f \to f^{virt},$$

Гладкое управление, обеспечивающее достижение ДЦУ [7]

$$u = -\gamma(f - f^{virt}),\ \gamma > 0 \qquad (18)$$

Результаты моделирования. Проведем моделирование замкнутой системы управления (2), (3), (8), (15), (18), со следующими параметрами.

Условия моделирования:

M = 3êã; m = 0.5êã; l = 0.5ì ; I = 2êã· ì ².

Начальные условия:

$$x(0) = 0,\ \dot{x}(0) = 0,\ \theta(0) = \frac{\pi}{2}\ \text{ðàä},\ \dot{\theta}(0) = \frac{\pi}{3}\ \text{ðàä / ñ}. \qquad (19)$$

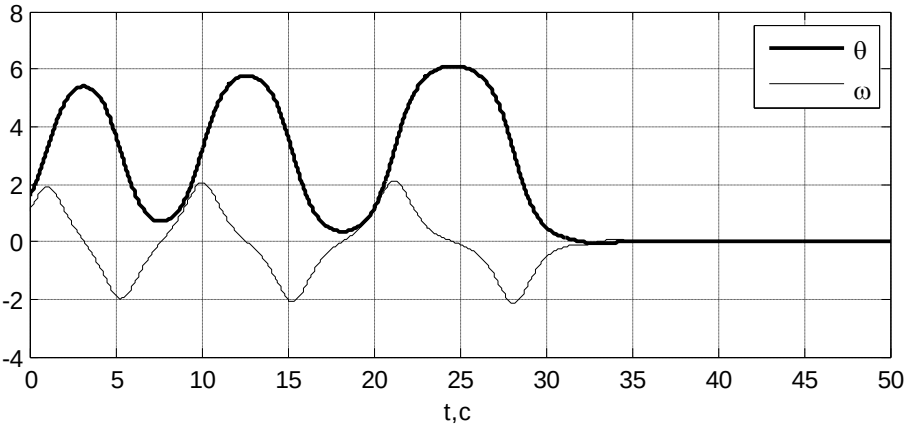


Рис. 2. Угловое перемещение и угловая скорость маятника $\omega = \dot{\theta}$.

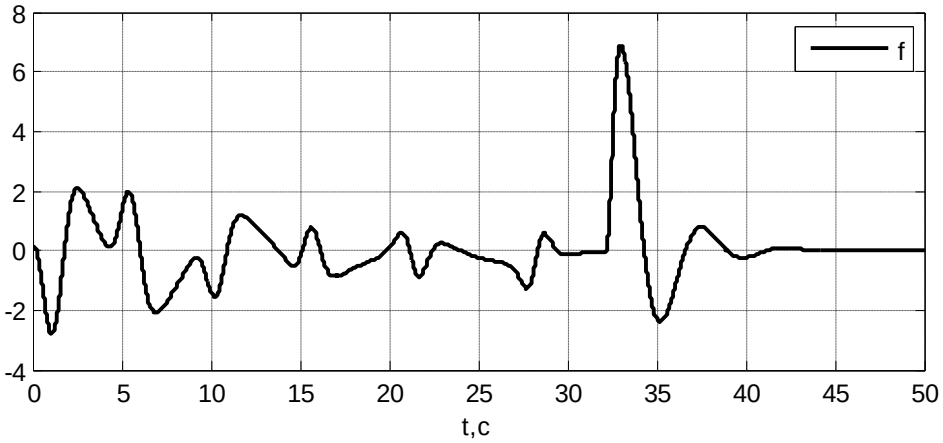


Рис. 3. Вход тележки

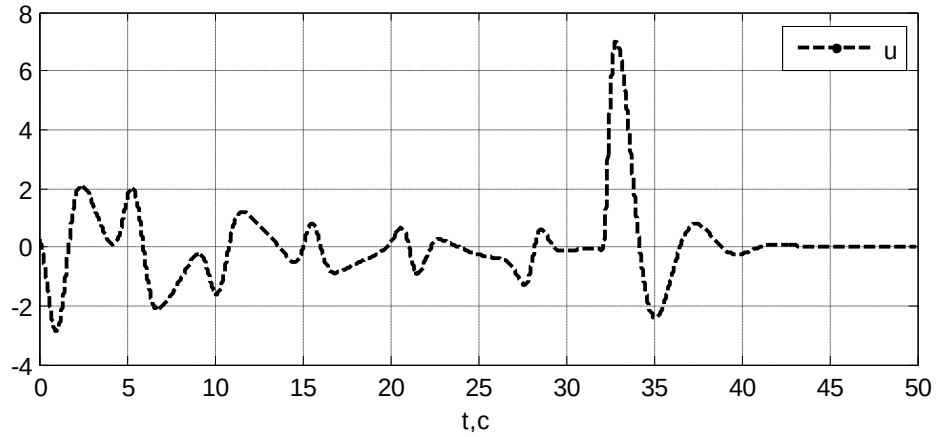


Рис. 4. Управление

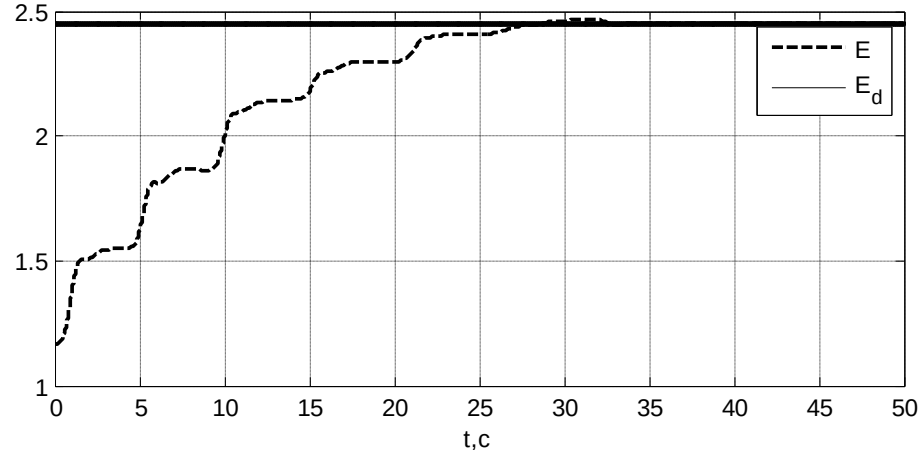


Рис. 5. Энергия маятника и желаемый уровень энергии

Вывод. Приведена методика и алгоритм синтеза алгоритма стабилизации неустойчивого положения тележки с маятником, управляемой приводом. Особенность рассматриваемой процедуры синтеза является использование системы с переменной структурой, приводящей маятник к колебательному движению с последующей стабилизацией в верхнем положении. Результаты моделирования подтверждают достижение системой заданного качества.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Калужской области Правительство (грант № 14-48-03115).

Список литературы

[1]. Spong M.W. Energy Based Control Of A Class Of Underactuated Mechanical Systems, FAC World Congress, 1996, URL: http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.49.9401(accessed 26.03.2015)

[2]. Андриевский Б.Р., Гузенко П.Ю., Фрадков А.Л., "Управление нелинейными колебаниями механических систем методом скоростного градиента", Автомат. и телемех., 1996, № 4. URL:

[3]. Peters S.C., Bobrow J.E., Iagnemma K. Stabilizing a vehicle near rollover: An analogy to cart-pole stabilization. Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5509367 (accessed 26.03.2015)

[4]. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами, СПб.: Наука, 2000, 548 с.

[5]. Фрадков А.Л. Кибернитеская физика: принципы и примеры. СПб.: Наука, 2003, 208 с., 47 ил.

[6]. Мышляев Ю.И., Финошин А.В. Алгоритмы управления гамильтоновыми системами в условиях параметрической неопределенности [Электронный ресурс]. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, №12. URL:http://technomag.bmstu.ru/doc/282904.html (дата обращения 26.03.2015)

[7]. Мышляев Ю.И., Финошин А.В., Зюзин А.А., Долгов Я.А. Управление колебаниями системы "маятник-тележка" с приводом методом скоростного биградиента // Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе : материалы Всероссийской научно-технической конференции, 25–27 ноября 2014 г. Т. 2. — М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. С. 105-111.

[8]. Мышляев Ю.И. Схема бискоростного градиента. Сборник трудов международной технической конференции «Приборостроение – 2002», Винница-Алушта, с. 180-184. http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=at&paperid=3173&option_lang=rus (дата обращения 26.03.2015)

Мышляев Юрий Игоревич – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: uimysh@mail.ru.

Финошин Александр Викторович – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: earlov@gmail.com.

Долгов Ярослав Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yaroslaw2710@mail.ru.

Зюзин Александр Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wendid@yandex.ru.

Y.I. Myshlyaev, A.V. Finoshin, Y.A. Dolgov, A.A. Zyuzin

AN APPROACH TO THE CONTROL OF NON-LINEAR OSCILLATIONS ON THE EXAMPLE OF THE STABILIZATION OF THE INVERTED PENDULUM ON A CART, TAKING INTO ACCOUNT THE DYNAMICS OF THE DRIVE

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

The problem of swing-up control of the cart-pole with drive is considered. A cart-pole is a mechanical system consisting of a pendulum attached to a cart that rolls freely on a flat surface. Feature of this synthesis procedure is to use a variable structure system, which leads to the oscillatory motion of the pendulum, followed by stabilization in the upper position. Control of mechanical subsystem is based on the energy approach with partial feedback linearization using a PD controller with compensation of nonlinearity. Energy approach is useful in the task of stabilizing the unstable equilibrium position of the pendulum systems and swing-up control. The design procedure and simulation results that confirm the achievement of the specified control objectives are presented.

Keywords: *linearization, energy shaping, speed bi-gradient, system with variable structure*

Myshlyaev Y. I., Ph. D., Assoc. Professor of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: uimysh@mail.ru.

Finoshin A. V., assistant lecturer of Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. E-mail: earlov@gmail.com.

Dolgov Y. A., student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: yaroslaw2710@mail.ru.

Zyusun A.A., student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: wendid@yandex.ru.

Д.А. Кузнецов, А.В. Жарков, А.В. Финошин, К. Е. Чистяков

СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ СТАБИЛИЗАЦИИ, СЛЕЖЕНИЯ И ВОЗБУЖДЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ МАЯТНИКА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Цель работы: моделирование систем управления с обратной связью на примере управления маятником.

В работе рассмотрены различные задачи управления нелинейной системы на примере маятника и приведены результаты моделирования систем управления.

Модель обратного маятника удобна в изучении свойств систем управления неустойчивыми объектами. С одной стороны, эта модель сравнительно простая и наглядная, с другой она отражает понятия «Теории автоматического управления», такие как управляемость, наблюдаемость, управление неустойчивым объектом. Данные понятия, можно применить и к наиболее сложным техническим объектам, таким как: самолет, асинхронный электродвигатель, различные роботы. В рассматриваемой задаче положением маятника управляют перемещением его опоры в одном направлении, что делает процесс достаточно инерционным.

Реализация модели обратного маятника была сделана в программном пакете Matlab фирмы The MathWorks

Задача управления маятником, представляет интерес по ряду причин:

- Маятники входят в состав реальных физических объектов.
- Изучая управление маятником можно переносить многие его свойства и на другие, неустойчивые в отсутствие управления, объекты.
- Обратный маятник, представляя собой неустойчивый объект управления, сравнительно просто моделируется, как и система управления им.

Уравнение маятника с потерями типа вязкого трения описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -k_1 \sin x_1 + k_2 u, \end{cases} \quad (1)$$

где выходами являются угловое перемещение x_1 и угловая скорость x_2, вход представляет собой управляющий момент u, а k_1 и k_2 – параметры маятника. Вектор переменных состояния $\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) & x_2(t) \end{bmatrix}^T$.

Теперь перейдем к постановке задач управления и методам синтеза алгоритмов управления маятником.

1. Стабилизация относительно устойчивого положения равновесия $\mathbf{x}^* = \begin{bmatrix} 0 & 0 \end{bmatrix}^T$.

Т.к. в модели маятника (1) не учитывалась сила трения, то при отсутствии внешнего воздействия (т.е. при $u = 0$) и ненулевых начальных условиях маятник будет колебаться с постоянной амплитудой сколь угодно долго. Для стабилизации маятника в нижнем положении равновесия достаточно подать управление, равносильное приложению момента трения:

$$u = -\gamma x_2, \tag{2}$$

где $\gamma > 0$ – постоянный коэффициент.

Также для синтеза алгоритма управления (2) может быть использован алгоритм скоростного градиента (АСГ). АСГ предназначен для решения задач управления непрерывными по времени системами, в которых цель управления задана при помощи целевой функции (ЦФ) Q.

Введем ЦФ Q, которая будет служить мерой отклонения текущего состояния системы $\mathbf{x}(t)$ от желаемого $\mathbf{x}^*$. Как правило, в качестве целевой функции использует квадратичный критерий:

$$Q = \frac{1}{2} x_1^2 + \frac{1}{2} x_2^2. \tag{3}$$

АСГ в общем виде имеет вид:

$$u = -\gamma \nabla_u \dot{Q}, \tag{4}$$

где $\dot{Q}$ – производная целевой функции в силу системы, $\gamma > 0$ – постоянный коэффициент.

Для ЦФ (3) и системы управления (1) имеем

$$\dot{Q} = x_1 \dot{x}_1 + x_2 \dot{x}_2 = x_1 x_2 + x_2 \left(-k_1 \sin x_1 + k_2 u \right),$$

$$\nabla_u \dot{Q} = k_2 x_2.$$

Тогда алгоритм управления (6) примет вид:

$$u = -\gamma k_2 x_2. \tag{5}$$

Т.к. положительный коэффициент γ выбирается произвольно, то законы управления (2) и (5) можно считать аналогичными.

2. Достижение заданного уровня энергии.

Для достижения маятником колебаний с заданным уровнем энергии E_* введем ЦФ

$$Q = \frac{1}{2} \left(E - E_* \right)^2$$

и используем алгоритм скоростного градиента (4) в виде:

$$u = -\gamma \left(E - E_* \right) x_2, \tag{6}$$

где E – текущий уровень энергии маятника, $\gamma > 0$ – произвольная постоянная.

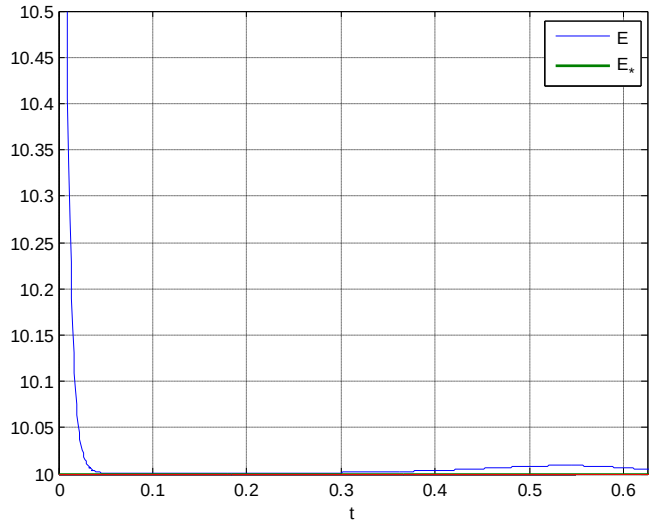


Рис.1. График энергии

Из рисунка 1 видно, что E стремится в E*, то есть энергия стремится к желаемой энергии, что и является целью управления. Следовательно, цель управления достигнута

3. Слежение (отклонение маятника на заданный угол и удержание в этом положении).

Задача отклонения маятника на заданный угол r формулируется следующим образом

$$\lim_{t\to\infty}\left(\mathbf{x}(t)-\mathbf{x}^{*}(t)\right)\to 0,$$

где $\mathbf{x}^{*}(t)=\begin{bmatrix} r & 0 \end{bmatrix}^{T}$.

Используя алгоритм линеаризации называемый *линеаризация обратной связью* для системы (1) получаем: линейную систему управления:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = v. \end{cases} \tag{7}$$

где v – новый вход.

Синтезируем новый вход с помощью модального управления:

$$v=(\alpha_1+\alpha_2)x_2-\alpha_1\alpha_2 x_1+\alpha_1\alpha_2 r, \tag{13}$$

где $\alpha_1,\alpha_2<0$.

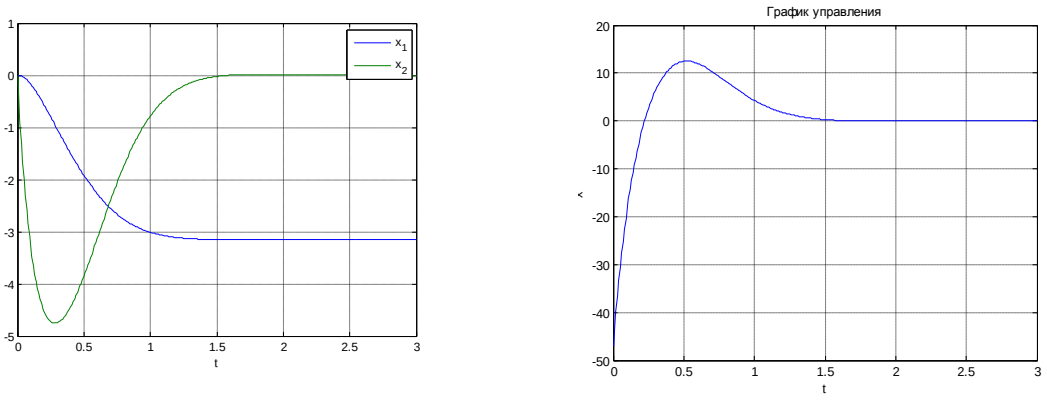


Рис.2. Графики управления и фазовых координат.

Из рисунка 1 видно, что x1 стремится к pi, а это значит, что положение равновесия устойчивое. Следовательно, цель управления достигнута.

В ходе данной работы была выполнена цель работы-моделирование систем управления с обратной связью на примере управления маятником, получили результаты моделирования системы управления маятником, линеаризованную модель маятника,дифференциальную модель маятника, получили целевую функцию для достижения заданного уровня энергии. Решили задачу отклонения маятника на заданный угол и удержания в этом положении.

Список литературы

[1]. Федосов Б.Т. Управление неустойчивыми объектами. Обратный маятник. [Электронный ресурс] URL: http://model.exponenta.ru/bt/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm#L021 (дата обращения: 20.03.2015).

[2]. Материал из Википедии — свободной энциклопедии. Обратный маятник. [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Обратный_маятник (дата обращения: 20.03.2015).

[3]. Кондратенко М.А., Пастухова Е.А., Федоров В.А. ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАЯТНИКА НА БАЗЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ТР-802 ФИРМЫ FESTO. [Электронный ресурс] URL: http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2011/C01/V02/178.pdf (дата обращения: 20.03.2015).

[4]. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Методы классической и современной теории автоматического управления. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – Т.3,421 с.

Кузнецов Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru.

Жарков Александр Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Zharkov_A_V@inbox.ru.

Финошин Александр Викторович – ассистент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: earlov@gmail.com.

Чистяков Константин Евгеньевич – преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: KEChist@gmail.com.

Аунг Чжо Со, А.М. Макаренков

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРИВОДА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Повышение точности силовых приводов, являющихся важной частью систем автоматического управления, применяемых в таких областях как робототехника, авиация и ракетостроение, является актуальной проблемой. В большинстве подобных приложений используется электрогидравлический следящий привод (ЭГСП), обладающий высокой удельной мощностью и быстродействием. В то же время для ЭГСП характерна заметная чувствительность к свойствам рабочей жидкости, температуре окружающей среды, технологическому разбросу параметров и другим факторам, носящим в основном случайный характер [1]. При разработке современных систем автоматического управления требуется учет упомянутых факторов как случайных параметров математической модели системы, и в этой связи возникает задача идентификации данных параметров в смысле определения их статистических характеристик. Решению данной задачи посвящена настоящая работа, в которой рассматривается вопрос применения усредненных проекционных моделей стохастических систем [2] для идентификации дисперсий случайных параметров математической модели ЭГСП в рамках вычислительного эксперимента.

Рассматривается следующая линеаризованная математическая модель ЭГСП [3, с. 237]:

$$\left.\begin{aligned}
&L\frac{di(t)}{dt}+R_a i(t)=u_{вх}(t),\quad u_{вх}(t)=k_{ус}\left(u(t)-k_{ос}y(t)\right),\\
&J_{я}\frac{d^2\varphi_{я}(t)}{dt^2}+h_{я}\frac{d\varphi_{я}(t)}{dt}+k_{M\varphi}\varphi_{я}(t)=k_{Mi}i(t)-k_{мос}x(t),\\
&k_{Q_y p_y}p_y(t)=k_{Q_y\varphi}\varphi_y(t)-F_{з}\frac{dx(t)}{dt},m_{з}\frac{d^2x(t)}{dt^2}+h_{з}\frac{dx(t)}{dt}+2C_{гд}x(t)=F_{з}p_y(t),\\
&\frac{V}{2E}\frac{dp(t)}{dt}+k_{Qp}p(t)=k_{Qx}x(t)-F\frac{dY(t)}{dt},M\frac{d^2y(t)}{dt^2}+h\frac{dy(t)}{dt}+Cy(t)=Fp(t),
\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

В модели (1) в качестве случайных параметров будем рассматривать $h_{з}$, $h_{я}$, E, $k_{ус}$. Также будем полагать, что позиционная нагрузка отсутствует ($C=0$), что больше соответствует целевому использованию ЭГСП, например, в качестве рулевой машины летательного аппарата. Все перечисленные параметры представляют собой случайные величины с нормальным законом распределения плотности вероятности.

Для решения задачи идентификации методом, рассматриваемым ниже, необходимо представить модель (1) в виде одного дифференциального уравнения следующего вида:

$$a_8 y^{(8)} + a_7 y^{(7)} + a_6 y^{(6)} + a_5 y^{(5)} + a_4 y^{(4)} + a_3 y''' + a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = b_0 u\,, \quad (2)$$

где все или некоторые коэффициенты a_i и b_j являются случайными величинами, определяемыми как

$$a_i = m_{a_i} + \tilde{a}_i\,,\ i = \overline{0,\ n-1}, \qquad b_j = m_{b_j} + \tilde{b}_j\,,\ j = \overline{0,\ m}, \quad (3)$$

где m_{a_i}, m_{b_j} – математические ожидания случайных коэффициентов a_i, b_j; $\tilde{a}_i$, $\tilde{b}_j$ – центрированные случайные величины, определяемые как

$$\tilde{a}_i = \sigma_{a_i} V\,,\ \tilde{b}_j = \sigma_{b_j} V\,, \quad (4)$$

где σ_{a_i}, σ_{b_j} – среднеквадратические отклонения случайных коэффициентов a_i, b_j, определяемые через их дисперсии, то есть $\sigma_{a_i} = \sqrt{D_{a_i}}$, $\sigma_{b_j} = \sqrt{D_{b_j}}$; V – нормально распределенная случайная величина, имеющая нулевое математическое ожидание и единичную дисперсию ($m_V = 0$, $D_V = 1$).

Таким образом, предполагается жесткая статистическая связь всех случайных коэффициентов уравнения (2) с одной случайной величиной V. При этом данный случайный параметр модели (1) определяется аналогично случайным коэффициентам уравнения (2), то есть в виде

$$K = m_K + \sigma_K V\,, \quad (5)$$

где m_K и σ_K – соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайного параметра K, определяемое через его дисперсию как $\sigma_K = \sqrt{D_K}$.

Чтобы представить систему автоматического управления с одним случайным параметром K моделью (2), необходимо выразить математические ожидания и дисперсии случайных коэффициентов уравнения (2) через m_K и D_K, что позволит представить эти коэффициенты в виде (3). Это несложно сделать путём усреднения выражений для коэффициентов уравнения (2), определяющих функциональную зависимость данных коэффициентов от случайного параметра K. Пример можно найти в [3, с. 242].

Для модели (1) с одним случайным параметром K, в качестве которого может рассматриваться один из следующих параметров: $h_з$, $h_я$, E, $k_{ус}$, требуется найти дисперсию параметра K. При этом предполагается, что данный параметр имеет нормальный закон распределения плотности вероятности и его математическое ожидание является известным, то есть требуется идентификация одной из двух статистических характеристик, пол-

ностью определяющих его закон распределения. Также предполагается наличие жесткой (функциональной) статистической связи между коэффициентами дифференциального уравнения (2) и случайным параметром K.

Особенностью рассматриваемого метода параметрической идентификации является использование проекционной аппроксимации непрерывной модели (2) с применением техники матричных операторов [3, с. 40-97]. Под проекционной аппроксимацией понимается конечномерная аппроксимации исходной непрерывной модели, выполняемая с использованием разложения по некоторому ортогональному базису $\mathbf{\Phi}(t)=\left[\varphi_1(t),\ldots,\varphi_p(t)\right]^{\mathrm{T}}$, где $\varphi_i(t),\quad i=\overline{1,p}$ – элементы системы ортонормированных функций, в качестве которой будем использовать систему функций Уолша. В результате получается так называемая проекционная модель в форме матрично-операторного уравнения, связывающего векторы проекционных характеристик входного и выходного сигналов системы управления через матрицу проекционной характеристики (матричный оператор) системы. Для стохастических систем проекционная модель должна быть усреднена. Метод усреднения основан на приближенном представлении случайного оператора системы матричным рядом с его последующим почтённым аналитическим усреднением. Описание данного подхода можно найти в [2] и [3, с. 98-170].

Проекционная аппроксимация модели (2) позволяет построить параметризованную модель стохастической системы, которая в операторной форме устанавливает связь статистических характеристик входа, выхода и случайных параметров, демонстрируя относительную вычислительную эффективность по сравнению с методом статистических испытаний. Это дает возможность построить следующий функционал:

$$J(D_K)=\left[\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p}\left[c_{ij}^{\varepsilon m}(D_K)\right]^2\right]^{1/2}+\left[\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{p}\left[c_{ij}^{\varepsilon R}(D_K)\right]^2\right]^{1/2}, \qquad (6)$$

где $c_{ij}^{\varepsilon m}(D_K)$ и $c_{ij}^{\varepsilon R}(D_K)$ – элементы (коэффициенты разложения соответствующих функций времени по ортогональному базису $\mathbf{\Phi}(t)$) квадратных матриц проекционных характеристик $\mathbf{C}^{\varepsilon m}(D_K)$ и $\mathbf{C}^{\varepsilon R}(D_K)$ соответственно, вычисляемых как

$$\mathbf{C}^{\varepsilon m}(D_K)=\mathbf{C}^{m_x^u}\left(\mathbf{C}^{m_x^u}\right)^{\mathrm{T}}-\mathbf{C}^{m_x^p}(D_K)\left(\mathbf{C}^{m_x^p}(D_K)\right)^{\mathrm{T}}, \qquad (7)$$

$$\mathbf{C}^{\varepsilon R}(D_K)=\mathbf{C}^{R_{xx}^u}-\mathbf{C}^{R_{xx}^p}(D_K), \qquad (8)$$

где $\mathbf{C}^{m_x^u}$ – проекционная характеристика функции математического ожидания измеренного выходного сигнала системы $m_x^u(t)$; $\mathbf{C}^{m_x^p}(D_K)$ – рас-

чётная проекционная характеристика математического ожидания выходного сигнала системы, вычисленная по ее усредненной проекционной модели для некоторого значения дисперсии случайного параметра D_K; $\mathbf{C}^{R^u_{xx}}$ – проекционная характеристика автокорреляционной функции измеренного выходного сигнала системы $R^u_{xx}(t_1,t_2)$; $\mathbf{C}^{R^p_{xx}}(D_K)$ – расчётная проекционная характеристика автокорреляционной функции выходного сигнала системы, вычисленная по ее усредненной проекционной модели для некоторого значения дисперсии случайного параметра D_K.

Минимизация функционала (6) дает решение задачи параметрической идентификации в сформулированной постановке, то есть позволяет найти дисперсию случайного параметра модели (1) как

$$D_K^* = arg \min_{D_K \in \mathbb{R}} J(D_K). \qquad (9)$$

Приведем результаты решения задач идентификации дисперсий значений некоторых физических параметров модели (1). Во всех примерах при вычислении $\mathbf{C}^{m^p_x}(D_K)$ и $\mathbf{C}^{R^p_{xx}}(D_K)$ в (7) удерживалось три члена матричного ряда в приближенном представлении матричного оператора стохастической системы [2]. Число членов разложения по ортогональному базису, в качестве которого использовался базис функций Уолша, составляло $p = 64$.

Все вычислительные эксперименты выполнялись на персональном компьютере со следующими техническими характеристиками: CPU Intel Core 2 6600 @ 2.40GHz, RAM 3.0 GB. При этом время решения задачи идентификации для всех рассматриваемых ниже примеров не превышало 12 секунд.

Программа идентификации, написанная на языке MATLAB, выполнялась в системе MATLAB версии 7.5.0.342 (R2007b) под управлением 32-разрядной ОС Windows XP SP2. Для минимизации функционала (6) использовалась стандартная функция fminsearch с параметрами оптимизации, заданными по умолчанию.

Ниже представлены результаты идентификации дисперсии некоторых из вышеперечисленных параметров. В частности, результаты идентификации дисперсии коэффициента вязкого трения на золотнике ЭГУ, представленные в табл. 1, демонстрируют зависимость точности решения задачи идентификации от числа реализаций (N) сигнала $y(t)$ и интервала исследования T (интервала времени, на котором выполнялось моделирование). При вычислении реализаций сигнала $y(t)$ методом статистических испытаний для случайного параметра h_3 задавалось математическое ожидание $m_{h_3} = 0,25$ и дисперсия $D_{h_3} = 0,0011$.

Таблица 1

T, c	D_{h_3}					
	$N=400$	$N=2000$	$N=1000$	$N=500$	$N=250$	$N=100$
0.200	0.0011	0.0011	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011
0.150	0.0011	9.3750e-4	0.0012	0.0012	0.0013	0.0012
0.100	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	9.3750e-4	0.0017
0.050	0.0013	0.0012	9.3750e-004	0.0013	9.3750e-4	0.0034
0.010	0.0026	9.3750e-4	0.0018	0.0094	0.0053	0.0021
0.005	0.0124	0.0041	0.0029	0.0064	0.0069	0.0037
0.001	0.0071	0.0026	0.0098	0.0056	0.0023	0.0092

Результаты идентификации дисперсии коэффициента передачи электронного усилителя сигнала ошибки представлены в табл. 2. При вычислении реализаций сигнала $y(t)$ методом статистических испытаний для случайного параметра k_{yc} задавалось математическое ожидание $m_{k_{yc}}=50$ и дисперсия $D_{k_{yc}}=25$.

Таблица 2

T, c	$D_{k_{yc}}$					
	$N=400$	$N=2000$	$N=1000$	$N=500$	$N=250$	$N=100$
0.200	25.0297	25.2918	25.0297	24.4757	24.8003	25.4096
0.150	24.9602	24.7403	25.1214	25.1524	25.0701	25.0044
0.100	25.1893	25.0133	24.9127	25.0762	24.6026	24.7621
0.050	24.8917	25.1104	24.9356	25.0299	24.8483	25.0679
0.010	25.1383	24.8304	25.1522	24.7217	24.9664	25.2461
0.005	25.0918	25.2252	24.9314	24.9864	24.9228	24.7298
0.001	25.1254	25.0866	24.8913	24.7816	24.8369	25.0168

Анализ вышеприведенных таблиц показывает, что точность идентификации остается удовлетворительной даже при существенном уменьше-

нии интервала исследования по сравнению с полным временем переходного процесса, которое при данных параметрах модели составляет около 0.3 с по математическому ожиданию и более 0,5 с по дисперсии. Кроме того, можно заметить, что число испытаний также может быть заметно меньше $N = 2000$, при котором доверительная вероятность и относительное отклонение оценок $m_x^u(t)$, $R_{xx}^u(t_1, t_2)$ составляют не менее $d = 0.9$ и не более $\nu = 0,05$ соответственно.

Список литературы

[1]. Месропян А.В. Идентификация и адаптивное управление струйных гидравлических рулевых машин [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.gpa.ugatu.su/index_science.shtml?www/science/ident_sist/ident_i_adap_ypr_sgrm/ident_i_adap_ypr_sgrm.

[2]. Макаренков А.М. Учет влияния случайных параметров в проекционных моделях систем автоматического управления // Известия ТулГУ. Серия Вычислительная техника, информационные технологии, системы управления. Вып.3. Системы управления. Том.2. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. — С.30-38.

[3]. Пупков К.А., Егупов Н.Д., Макаренков А.М. и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. — М.: Физматлит, 2003. — 400 с.

Аунг Чжо Со – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aungkyawsoe48@gmail.com.

Макаренков А.М. – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: amm2005@rambler.ru.

Д.А. Кузнецов, А.А. Брынза

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ARDUINO В КАЧЕСТВЕ ПЛАТФОРМЫ БЫСТРОЙ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Arduino — это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для новичков и профессионалов. Платформа пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду. Устройство программируется через USB без использования программаторов.

Arduino позволяет компьютеру выйти за рамки виртуального мира в физический и взаимодействовать с ним. Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков, а также могут управлять различными исполнительными устройствами.

Микроконтроллер на плате программируется при помощи языка Arduino (основан на языке Wiring) и среды разработки Arduino (основана на среде Processing). Проекты устройств, основанные на Arduino, могут работать самостоятельно, либо же взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере (напр.: Flash, Processing, MaxMSP).

Программисту доступны некоторые специальные возможности портов ввода-вывода микроконтроллеров, например широтно-импульсная модуляция (ШИМ), аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), интерфейсы UART, SPI, I2C. Количество и возможности портов ввода-вывода определяются конкретным вариантом микропроцессорной платы.

Помимо портов на платах микроконтроллеров иногда устанавливается периферия в виде интерфейсов USB или Ethernet.

Опциональный набор внешней периферии на модулях расширения включает в себя:

1) USB Device (чаще всего как виртуальный COM порт через FTDI FT232, имеются также версии с эмуляцией USB HID Class клавиатур и мышек).
2) Проводной и беспроводной Ethernet как на основной плате так и на платах расширения.
3) Модуль GSM и другие беспроводные интерфейсы.
4) USB Host.
5) SD card.
6) Модуль управления низковольтным мотором на базе L298. Поддерживаются шаговый и коллекторный двигатели с напряжением до 12В и током до 2А на канал. Могут подключаться также реле, электромагниты и т. п. Модуль не имеет гальванической развязки.
7) Графический ЖКИ индикатор.
8) Модуль с макетным полем.

Сторонние производители выпускают широкую гамму датчиков и исполнительных устройств, подключаемых к Arduino. Например, гироскопы, компасы, манометры, гигрометры,термометры, релейные модули, индикаторы, клавиатуры и т. п.

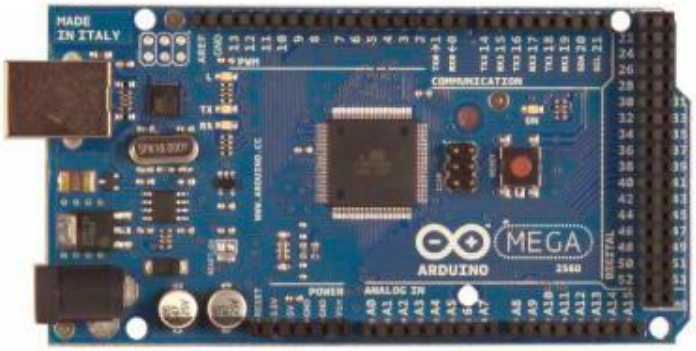


Рис.1. Внешний вид платы Arduino

В настоящее время, Arduino все больше завоевывает популярность.

На данный платформе, с подключением различных модулей, возможно решение различных задач, таких как:

1. Построение системы технического зрения.

Системами технического зрения (computer vision) обычно называют совокупность аппаратных и программных средств получения, передачи, хранения и обработки изображений, включая автоматический анализ изображений и формирование решений (например, измерение параметров объектов на изображении) или выработку сигналов управления, которые подаются на исполнительные механизмы (например, при организации движения мобильных роботов и манипулировании наблюдаемыми объектами) [1]. Данные системы находят применение в космических, авиационных, наземных, надводных и подводных мобильных средствах, т.е. там, где необходим анализ внешней обстановки в режиме реального времени. В качестве примера, можно привести систему Eyeduino, за авторством Эдуарда Петренко,которая выиграла второе место в международном робоконкурсе Winners of RobotChallenge 2014.[2]

2. Создание станка с числовым программным управлением.

На данным момент, существует множество реализаций станков ЧПУ на данной платформе, зачастую с открытым кодом и инструкцией. Разумеется, для промышленных целей такие станки не следует использовать, однако для штучного изготовление каких-либо изделий и освоение принципа работы механики и программного обеспечения, их использование актуально.

3. Вычисление координат объекта на основе GPS сигнала в режиме реального времени.

С подключением GPS модуля, решается задачи вычислениям координат объекта, так же платформа позволяет обрабатывать и передавать сигнал, содержащий координаты объекта.

4. Измерительные устройства.

Счетчики расхода воды, вольтметры, анализаторы спектра звука - всё это возможно осуществить на данной платформе, используя различные периферийные устройства и датчики.

5. Создания различных роботов.

Существует множество роботов, созданных на данной платформе, и задачи решаемые такими роботами различны. Существуют сортировочные роботы, роботы способные прокладывать путь и составлять карту пройденного пути, анализировать состав газа. Сферы в которых могут применяться данные роботы различны. Отдельно стоит упомянуть робот, «An under floor doctor», автором которого является Naoki Fujiharax[3]. Данный робот обладает малыми габаритами, легко сможет перемещаться в условиях стесненного пространства, изучать с помощью камеры и установленных на борту датчиков состояние подвалов, распылять яды и раскладывать ловушки в необходимых местах для вредителей, таких как: крысы, мыши, тараканы. Управлять роботом оператор сможет дистанционно.

Arduino породил международную революцию в сфере международных электронных самодельных плат и целую отрасль домашнего производства для любителей электроники. В настоящее время по всему миру насчитывается более двухсот дистрибьюторов продукции Arduino.

Основное преимущество данной платформы заключается в её цене, при необходимости, вы можете купить недостающие компоненты технической системы. Вся информация находится в открытом доступе, на сайте разработчика присутствует множество программных кодов для реализации тех или иных целей. По этой причине Arduino стал самой влиятельной аппаратной системой своего времени.

Список литературы

[1]. Андреев В.П. Разработка новых принципов построения информационно-измерительных систем технического зрения мобильных роботов. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat // http://www.dissercat.com/content/razrabotka-novykh-printsipov-postroeniya-informatsionno-izmeritelnykh-sistem-tekhnicheskogo--#ixzz3Vi3Klp3F (28.03.2014)

[2]. Winners of RobotChallenge 2014 [Электронный ресурс] URL: http://www.robotchallenge.org/robotchallenge/resultate-2014/ (дата обращения: 20.03.2015).

[3]. Arduino blog [Электронный ресурс] URL: http://blog.arduino.cc/2014/02/11/time-to-hack-the-arduino-robot-second-phase/ (дата обращения: 20.03.2015).

Кузнецов Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru.

Брынза Андрей Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wolf_93_21@mail.ru.

Д.А. Кузнецов, О.А. Черникова, А.В. Жарков, С.В. Сытов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЫ ATEVK1100 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время наблюдается широкое внедрение всевозможных автоматических систем не только в промышленности, но и в повседневной жизни любого человека. Такую систему разумно строить на основе микроконтроллера, так как это значительно повышает возможности системы благодаря вычислительным способностям микроконтроллера и стоимости системы в целом. Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Типичный микроконтроллер сочетает в себе функции процессора и периферийных устройств, содержит ОЗУ и ПЗУ. По сути, микроконтроллер представляет собой однокристальный компьютер, предназначенный для решения ряда простых задач. Использование одной микросхемы, вместо целого набора, как в случае обычных процессоров, применяемых в персональных компьютерах, значительно снижает размеры, энергопотребление и стоимость устройств, построенных на основе микроконтроллеров. В современной жизни, Микроконтроллеры имеют невероятно много областей применения. Они применяются в промышленной автоматики, бытовых приборов, в системах управления ядерными станциями, автомобилях, и телефонах.

В качестве объекта исследований была выбрана ATEVK1100 – отладочная плата 32-разрядных контроллеров фирмы Atmel AVR32UC3. Структурная схема платы представлена на рисунке 1. Данная отладочная плата комплектуется одним из наиболее производительных бюджетных процессоров, ethernet интерфейсом, внешняя Flash-память данных 64Мбит, RS-232,Алфавитно-цифровым дисплеем, датчиками света и температуры, потенциометром, джойстиком, кнопками и светодиодами.

Данная комплектация обеспечивает возможность использование такой платы в качестве стенда для лабораторных работ по программированию микроконтроллеров, использование его в системах управления в качестве управляющего устройства, а так же мобильный платформы для организации системы технического зрения.

На плате ATEVK1100 возможно решение следующих задач:

1. Реализация лабораторных задач мигания несколькими светодиодами с различной частотой.
2. Вывод буквенноцифровой информации на ЖКИ-модуль.
3. Вывод информации с использованием COM-порта.
4. Формирование цифрового сигнала с различной частотой.

5. Обработка кнопок по прерыванию и по опросу.

6. Считывание напряжения в режиме непрерывного преобразования и вывод информации на ЖКИ-модуль.

7. Подключение устройств ввода информации для дальнейшей работы.

8. Другие задачи.

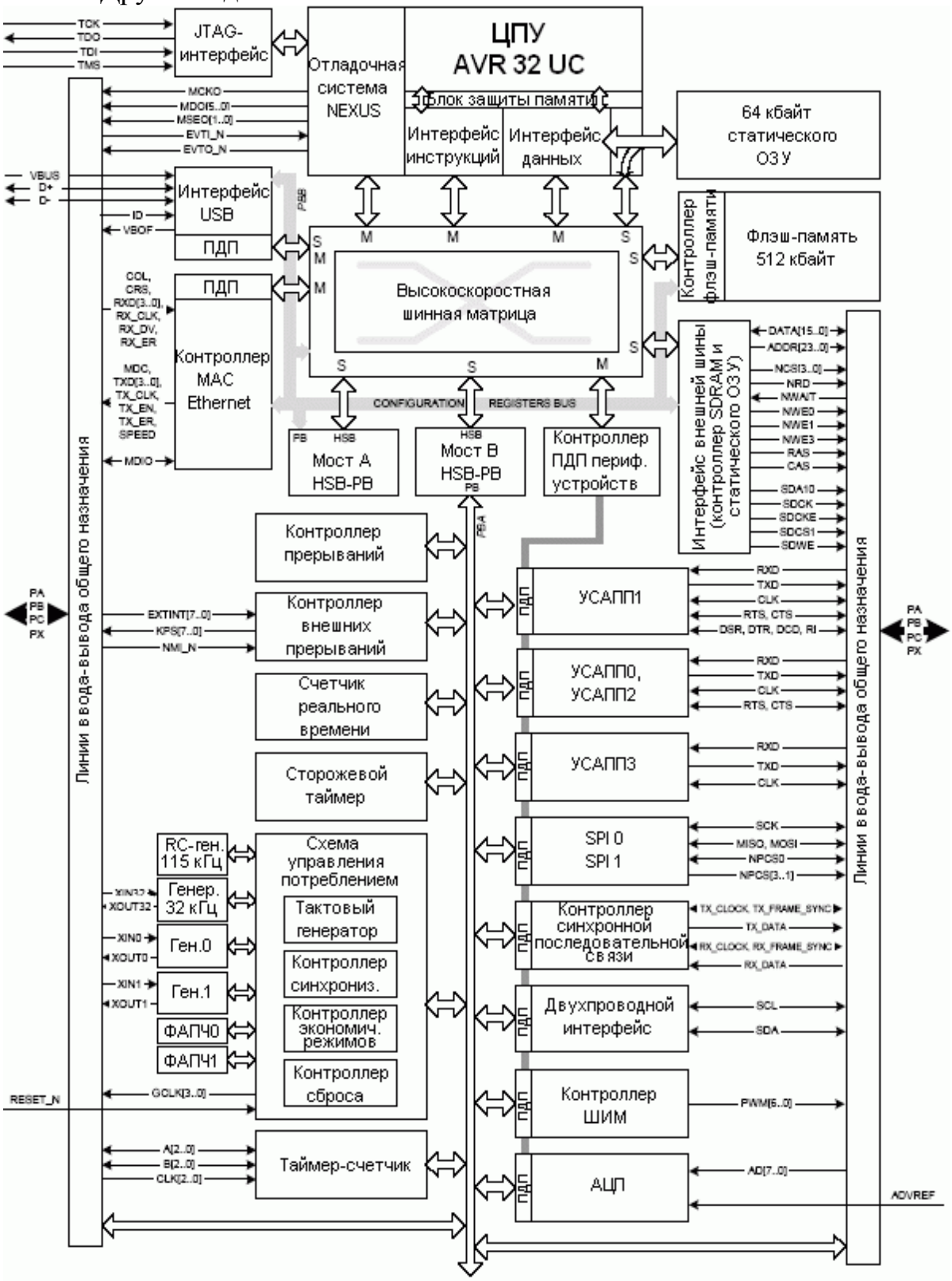


Рис. 1. Структурная схема AT32UC3

В ходе нашей работы мы выяснили, что отладочная плата ATEVK1100 полностью совместима с фирменным эмулятором JTAGICE mkII, что существенно облегчает процесс разработки и отладки программ пользователя. Процессор содержит блок зашиты памяти, а также быстродействующий и гибкий контроллер прерываний, что обеспечивает совместимость с современными операционными системами и операционными системами реального времени. Вычислительные возможности усилены за счет поддержки многих инструкций цифровой обработки сигналов. ATEVK1100 содержит флэш-память и статическое ОЗУ для защищенного и быстрого доступа. На данной плате может быть реализовано огромное множество задач и данная плата может помочь в решении поставленных задач.

Список литературы

[1]. Курилин А. И., Золотухо Р. Н. AVR-микроконтроллеры: семь ярких лет становления. Что дальше? Часть 3. Программные и аппаратные средства поддержки разработок для микроконтроллеров AVR // Компоненты и технологии. 2005. № 1.

[2]. Курилин А. И., Ламберт Е. В. Отладочные средства для микроконтроллеров AVR в 2007 году //Компоненты и технологии. 2007. № 3.

[3]. Оффициальный сайт компании Atmel- Устройства для AVR32 Studio 2.6 URL:www.atmel.no/beta_ware (дата обращения 19.11.14).

[4]. Раздел FAQ на сайте support.atmel.no (дата обращения 19.11.14).

[5]. Редькин П.П. Микроконтроллеры Atmel архитектуры AVR32 семейства AT32UC3. Руководство пользователя - М.: Техносфера, 2010.

Кузнецов Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru.

Черникова Ольга Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Olysik-keti@yandex.ru.

Жарков Александр Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Zharkov_A_V@inbox.ru.

Сытов Сергей Владимерович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Hadhiro_pain@mail.ru.

УДК 681.5

Ларина Т.В.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Аннотация:в данной статье рассматриваются методы классификации изображений. В качестве признаков классификации выступают, значения полученные при вейвлет-пребразовании.

Ключевые слова: *Вейвлет-преобразования,изображения, классификация.*

Введение.При помощи компьютерных технологий автоматизируется широкий круг процессов, которые в недалеком прошлом возлагались на человека. Одним из таких процессов является обработка информации. Множество практических задач решается на основе приближенной информации об измеряемом объекте. При наличии полной информации процесс обработки, хранения и восстановления экспериментальных данных уже хорошо изучен. Иная ситуация может возникнуть, когда информация об изучаемом объекте представлена неполно.

В качестве изучаемого объекта, выступают буквы, встречающиеся на государственных регистрационных знаках, в предположении, что для измеряемого объекта существует ограниченное число образцов (классов), к одному из которых он может принадлежать. В работе к рассмотрению предлагается метод обработки исследуемого объекта, основанный на вейвлет-преобразовании.

Постановка задачи и методы решения. Предположим, что исходный объект может принадлежать к одному из классов $K_1, K_2, ..., K_n$, образующих разбиение множества объектов и имеются теоретические значения соответствующих функций $f^k\left(x_i, y_j\right), k = 1, ..., n$ в точках $\left(x_i, y_j\right)$ эталонных образцов каждого класса K_k. Пусть $g\left(x_i, y_j\right)$ - измеренные значения экспериментального двумерного изображения в тех же самых точках. На основе значений $g\left(x_i, y_j\right)$ требуется определить, к какому классу принадлежит измеряемый объект. Для принятия такого решения необходимо предварительно преобразовать дискретно-значные функции $f^k\left(x_i, y_j\right)$ и $g\left(x_i, y_j\right)$ с последующим сравнением полученных характеристик.Преобразование основано

на вейвлет-преобразовании соответствующих функций с использованием вейвлетаДобеши 2-го порядка и сравнением получающихся коэффициентов.

Основную модель вейвлет-преобразования можно описать следующим образом. Сначала выбирается подходящий анализирующий (т.н. отцовский) вейвлет $\varphi(x)$. Затем на его основе строится масштабирующий (материнский вейвлет) $\psi(x)$. Из функций $\varphi(x)$ и $\psi(x)$ путём сдвига и растяжения, получаем копии, называемые вейвлетными функциями.[1] Практически выходное изображение задается матрицей S. При разложении этого изображения получаются указанные выше четыре типа коэффициентов[2]. Аппроксимирующие, горизонтально, вертикально и диагонально детализирующие.

В данной работе рассматриваются два вида классификации.

Для нахождения расстояния между образцами выберем l_2-норму:

$\left\| f^k(x,y) - g(x,y) \right\| = \sqrt{\sum \left(\left(cA_j\left(f^k\right) - cA_j(g) \right)^2 \right)}$, где $cA_j\left(f^k\right)$ - соответствующие коэффициенты базисного разложения функции f^k по вейвлет – базису, аналогичные обозначения и для функции g.[3] В случае, когда g относится к f, эта норма будет иметь наименьшее значение по сравнению с аналогичными нормами при использовании других эталонных функций.[3]

В качестве второго вида применяем классификацию основанную на методе «один против всех».Пусть исследуемые объекты $\bar{x}(x_1, x_2, ..., x_n), x_i -$ вейвлет-коэффициенты. Базис из букв $\bar{e}^{(j)}\left(e_1^{(1)}, e_2^{(1)}, ..., e_n^{(1)}\right), e_i -$ вейвлет-коэффициенты эталонных образцов.Необходимо определить к какому классу относится исследуемый объект.Для решения данной задачинеобходимо сравнить исследуемый объект с выбранным $\bar{e}^{(j)}$ и с объектом $\bar{f} = \dfrac{\bar{e}^{(1)} + ... + \bar{e}^{(j-1)} + \bar{e}^{(j+1)} + ... + \bar{e}^{(n)}}{n-1} -$ усредненное значение остальных эталонных образцов. Для сравнения воспользуемся логистической регрессией, для нахождения вероятности принадлежности к каждому классу. Классификатор с самым высоким значением вероятности присваивает новый объект к определенному классу.

Результаты. В качестве примера работы алгоритма были рассмотрены изображения букв кириллического алфавита, встречающихся на государственных регистрационных знаках автомобиля.

В качестве объекта g(x,y) было взято изображение буквы У при наличие неполной информации (Рис. 2).

Рис. 2

В качестве классов принадлежности взяты буквы А, В, Е, К, М, Н, О, Р, С, Т, У, Х.В эксперименте исследуемыми сигналами были все буквы, встречаемые на государственных регистрационных знаках, но представлены наиболее различные и схожие буквы.

Таблица 1 –Сравнительный анализ

Буква	l_2-норма	«Один против всех»
А	**2110**	**73**
В	6145	41
Е	6964	32
К	6042	23
М	7031	29,2
Н	6223	26,3
О	7267	36
Р	6252	24,8
С	6813	30,4
Т	5950	33
У	5921	41
Х	4868	45

Обсуждение. В данной работе предлагается метод классификации изображений. В методе «Один против всех» показано значение вероятности принадлежности объекта к данному классу, из таблицы 1 видно, что максимальная вероятность у буквы А. Можно сделать вывод, что во многих случаях независимо от помех в измерениях, по коэффициентам вейвлет-разложения можно определить, к какому классу (какой букве) он относится. Данный методы могут быть применен при обработке видеосигналов, полученных с регистрирующих устройств в условиях недостаточной видимости или при низком разрешении видеокамеры. Описанный выше метод обработки информации не требует проведения сложных вычислений, и может применяться при решении практических задач.

Список литературы

[1]. *Смоленцев Н.К*. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. — М.: ДМК Пресс, 2005. — 304 с.

[2]. *Сергиенко А.Б*. Цифровая обработка сигналов. — СПб.: Питер, 2006. — 751 с.

[3]. *Паклин Н.Б., Орешков В.И*. Бизнес-аналитика: от данных к знаниям.—СПб.: Питер, 2013—706 с.

Ларина Татьяна Вячеславовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Larinatv1991@gmail.ru.

Тун Тун Чжо, А.М. Макаренков, Тин Эй Чжо

КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СЛУЧАЙНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ РАСЧЁТЕ PID-РЕГУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе предлагается методика компенсации влияния фактора случайности параметров объекта в замкнутом контуре системы управления с последовательно включенным PID-регулятором. Обычно при расчете PID-регуляторов такую возможную случайность не учитывают, то есть пренебрегают одним из факторов, влияющих на качество разработки систем автоматического управления. Но если к точности системы управления предъявляются повышенные требования, влияние указанного фактора случайности должно быть учтено, поскольку случайность параметров элементов системы управления порождает дополнительную регулярную составляющую в математическом ожидании ее выходного сигнала.

Рассматривается задача оптимизации параметров PID-регулятора в контуре управления электрогидравлического следящего привода (ЭГСП). Данная система описываемой математической моделью следующего вида:

$$y^{(9)}(t)+a_8y^{(8)}(t)+a_7y^{(7)}(t)+a_6y^{(6)}(t)+a_5y^{(5)}(t)+a_4y^{(4)}(t)+$$
$$+a_3y^{(3)}(t)+a_2y''(t)+a_1y'(t)+a_0y(t)=b_2u''(t)+b_1u'(t)+b_0u(t), \qquad (1)$$

которой соответствует структурная схема, представленная на рис. 1.

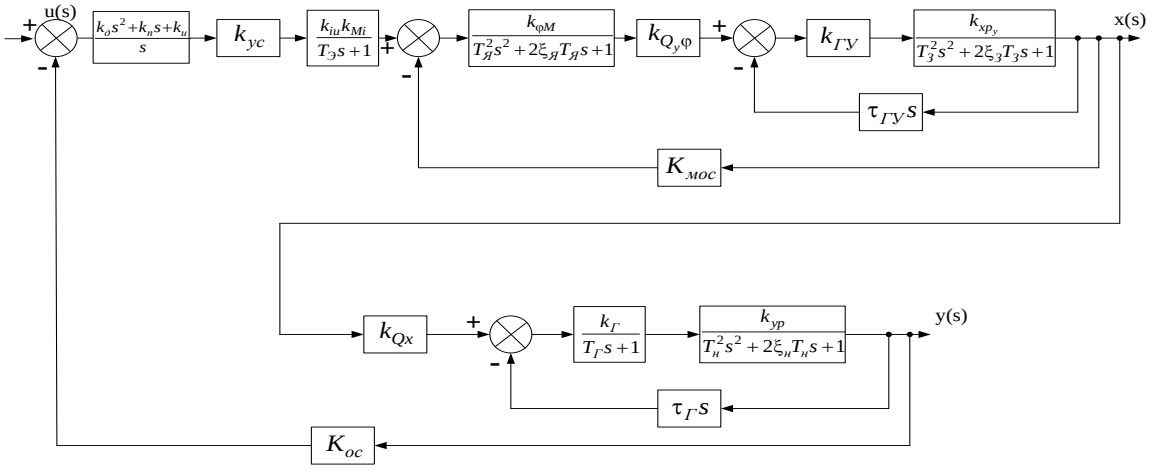


Рис. 1

Требуемые динамические характеристики системы управления заданы функцией эталонного (желаемого) переходного процесса $y_Э(t)=4\cdot10^{-3}\left(1-e^{-20t}\right)$, который должен иметь место при подаче на вход системы ступенчатого сигнала $u(t)=5\cdot1(t)$.

Задача оптимизации параметров регулятора формулируется следующим образом. Требуется определить оптимальные параметры PID-регулятора, обеспечивающие заданные динамические характеристики системы управления при условии, что параметры объекта управления могут изменяться случайным образом относительно своих номинальных значений.

В качестве случайного параметра будем рассматривать приведенный коэффициент вязкого трения нагрузки электрогидравлического привода, обозначаемый далее как H. Чтобы учесть влияние данного случайного параметра положим, что он являются нормально распределенной случайной величиной, для которой определены математическое ожидание $m_H = 12500$ и дисперсия $D_H = 17\text{e+}6$.

В [1] показано, что если требуется обеспечить заданное качество переходного процесса по математическому ожиданию выходного сигнала системы со случайными параметрами при ограничении на его дисперсию, то задача оптимизации параметров регулятора может быть сведена к минимизации функционала следующего вида

$$J(\mathbf{K}) = \sum_{i=1}^{p} [c_i^{m_{X_Э}} - c_i^{m_{X_P}}(\mathbf{K})]^2 , \qquad (2)$$

где элементы $c_i^{m_{X_P}}(\mathbf{K})$ вектора проекционной характеристики математического ожидания выходного сигнала $\mathbf{C}^{m_{X_P}}(\mathbf{K})$ вычисляются с помощью компьютерной модели, описывающей объект и корректирующее устройство как систему со случайными параметрами [1]; $\mathbf{K}$ – вектор оптимизируемых параметров регулятора, который для PID-регулятора состоит из трех компонентов – $k_П, k_И, k_Д$. Элементы $c_i^{m_{X_Э}}$ являются элементами вектора $\mathbf{C}^{m_{X_Э}}$ проекционной характеристики математического ожидания эталонного переходного процесса.

Минимизация функционала (2) выполняется при ограничении

$$\max_{0 \le t \le T} D_X(t, \mathbf{K}) \le D_{\max} ,$$

обеспечивающем допустимый уровень дисперсии выходного сигнала. Дисперсия $D_X(t, \mathbf{K})$ также вычисляется с помощью компьютерной модели стохастической системы, которая строится с использованием усредненной проекционной модели [1]. Данный подход основан на конечномерной аппроксимации исходной непрерывной математической модели системы, выполняемой с использованием методов теории матричных операторов.

Оптимизацию параметров $k_П, k_И, k_Д$ будем выполнять в следующем порядке. На первом этапе найдем значения данных параметров, обеспечивающие наилучшее приближение выходного сигнала системы к эталонному переходному процессу $y_Э(t)$ при условии, что объект управления не

имеет случайных параметров. Принимая за начальные значения $k_П = 1., k_И = 0., k_Д = 0.$, т.е. $\mathbf{K} = [1., 0., 0.]$, находим методом Нелдера-Мида значения $k_П = 1.2267$, $k_И = 0.1459$, $k_Д = 0.1375$.

Решая задачу анализа модели ЭГСП (1) методом усреднения проекционных моделей [1] с учетом случайности коэффициента H для найденных на предыдущем этапе значений параметров PID-регулятора ($k_П = 1.2267$, $k_И = 0.1459$, $k_Д = 0.1375$), найдем математическое ожидание выходного сигнала ЭГСП, представленное на рис. 2 пунктирной линией.

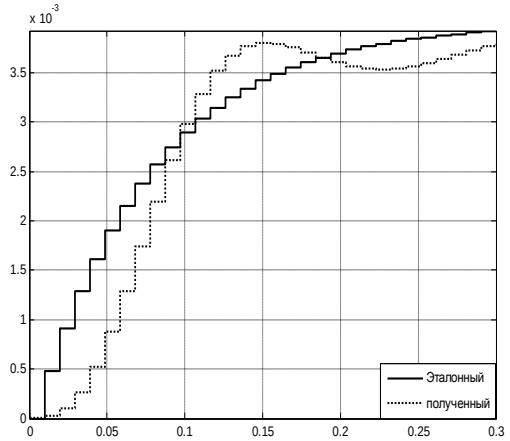


Рис. 2

Далее выполним второй этап, на котором попытаемся минимизировать влияние фактора случайности параметра H. Для этого еще раз минимизируем функционал (2), приняв за начальные значения вектора $\mathbf{K}$ значения, найденные на первом этапе, когда мы полагали, что параметр H не является случайным, т.е. примем $\mathbf{K} = [1.2267, 0.1459, 0.1375]$. В результате находим следующие скорректированные, т.е. оптимальные в смысле минимизации отклонения выходного сигнала ЭГСП от желаемого значения параметры PID-регулятора: $k_П = 1.3069$, $k_И = 0.0004$, $k_Д = 0.1262$. График математического ожидания выходного сигнала ЭГСП при данных значениях параметров PID-регулятора представлен на рис. 4 пунктирной линией.

Видно, что скорректированные значения параметров PID-регулятора отличаются от найденных ранее, за счет чего обеспечивается компенсация влияния фактора случайности параметра H.

На рис. 3 пунктирной линией изображен график разности $y(t) - m_y^*(t)$, где $y(t)$ – выходной сигнал ЭГСП без случайного параметра для найденных на первом этапе параметров PID-регулятора; $m_y^*(t)$ – математическое ожидание выходного сигнала ЭГСП с учетом фактора случайности параметра H. На этом же рисунке непрерывной линией показан график этой

же разности, где $m_y^*(t)$ – математическое ожидание выходного сигнала ЭГСП после описанной выше коррекции значений параметров PID-регулятора.

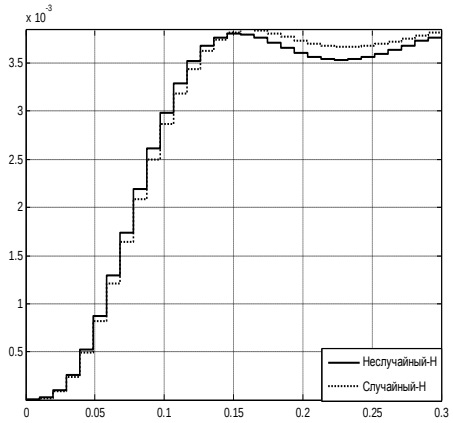


Рис. 3 До оптимизации

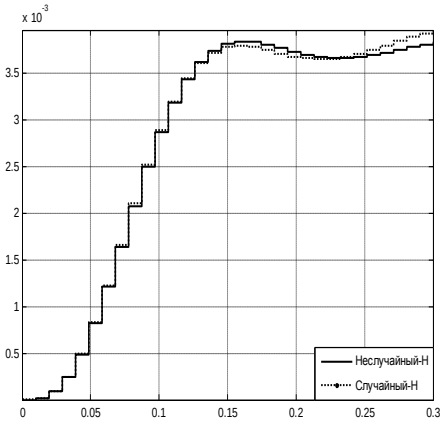


Рис. 4 После оптимизации

Таким образом, предлагается метод оптимизации параметров элементов систем автоматического управления, позволяющий учесть влияние случайности параметров объекта управления. По сравнению с традиционным подходом к синтезу последовательных корректирующих устройств, предлагаемый метод обеспечивает лучшее качество регулирования и, как следствие, более высокую точность работы системы управления в целом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (гранты № 14-41-03071 и № 14-48-03013).

Список литературы

[1]. *Пупков К.А., Егупов Н.Д., Макаренков А.М.* и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. — М.: Физматлит, 2003. — 400 с.

Тун Тун Чжо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: htaminnkyaw@gmail.com.

Макаренков А.М. – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: amm2005@rambler.ru.

Тин Эй Чжо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tinayekyaw87@gmail.com.

А.А. Брынза, Д.А. Кузнецов, М.О. Корлякова

ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Рассмотрен подход к построению системы технического зрения для решения задачи распознавания движущихся объектов в поле зрения системы технического зрения. Предложена схема решения задачи распознавания и проведено ее моделирование в среде Matlab.

Ключевые слова: *техническое зрение, распознавание образов.*

Современные системы безопасности с использованием распознавание образов сцены набирают всё большую и большую популярность. Данные системы могут работать за счет пространственных методов анализа среды на основе детектирования изменения обстановки [1].

Для создания подобной системы необходимым условием является наличие камеры, в нашем случае используется веб-камера, с разрешением 640x480 пикселей. Представим схему процедуры детектирования с использованием прикладных библиотек системы MatLab в следующем виде:

1) Преднастройка оборудования, захват изображения с устройства, предобработка. Захват осуществляется каждые 0.5 секунды, производится вычисление текущего коэффициента изображения.

Рис.1. Полученное фоновое изображение.

2) Определяются коэффициенты последующих изображений в потоке, благодаря которым производится определение попадания объекта в поле видимости. В случае определенного отклонения от допустимого значения фиксируется изображение и осуществляется обработка с целью выделения данного объекта.[2]

3) Выделение объекта. Пост обработка, преобразование с помощью функции imabsdiff. Она вычитает каждый элемент изображения Y из соответствующего элемента изображения X и помещает абсолютную разницу этих элементов в результирующий массив Z. Изображения X и Y должны представлять собой неразреженный числовой массив одного формата и размерности. Массив Z имеет тот же формат и размерность, что и X и Y. Когда изображения X и Y представляются массивом вещественных чисел, результирующие элементы усекаются, поскольку они превышают границы.[3]

Рис. 2-3. Результат работы, определение появившегося объекта

4) Для дальнейшей обработки полученного фрагмента, выполняется процедура порогового отсечения по уровню интенсивности для разности кадров, которая позволит убрать не интересующие объекты (в.т.ч. шумы). С помощью признака BoundingBox выделяем полученный объект.[4]
5)

Рис.4. Результат работы процедуры отсечения.

6) После определения факта попадания постороннего объекта в поле видимости устройства, производится сброс значений, для того чтобы не было переполнения буфера. Осуществляется возврат к началу, и так до тех пор, пока программе не будет дан отбой.

Данные процедуры не требуют высокой вычислительной сложности, алгоритм достаточно прост для реализации стандартными функциями среды Matlab'a. Современные вычислители обеспечивают высокую производительность, что гарантирует возможность эффективного решения поставленной задачи.

Список литературы

[1] S. Ozbay and E. Ercelebi, Automatic Vehicle Identification by Plate Recognition A Neural Network// World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 9, (2005), стр.222-225

[2] Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б. : Управление движением мобильного робота с использованием данных визуального одометра // Робототехника и техническая кибернетика, №1,2013 стр.22-26.

[3] Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б., «Визуальный одометр»// Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012.- стр. 68-82

[4] Сырямкин В.И., Шидловский В.С. Корреляционно – экстремальные радионавигационные системы. – Томск: Изд-во Том. Ун-та, 2010. – 316 с.

Брынза Андрей Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wolf_93_21@mail.ru.

Кузнецов Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru.

Корлякова Мария Олеговна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mkorlyakova@yandex.ru.

Д.А. Кузнецов, А.А. Брынза, М.О. Корлякова

ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье будет рассмотрен подход к построению системы технического зрения с микроконтроллера «ATmega».

Современные системы управления все чаще функционируют самостоятельно, создается производственное оборудования, такие как роботы-манипуляторы или аппараты для извлечения бракованной продукции. Такое оборудование на основе технического зрения, предназначено для выполнения узкоспециализированных задач, таких как подсчет объектов на конвейере, чтение серийных номеров или поиск поверхностных дефектов. Польза таких систем заключается в высокой скорости работы с увеличением оборота, возможности 24-часовой работы и точности повторяемых измерений

Системами технического зрения (computer vision) обычно называют совокупность аппаратных и программных средств получения, передачи, хранения и обработки изображений, включая автоматический анализ изображений и формирование решений (например, измерение параметров объектов на изображении) или выработку сигналов управления, которые подаются на исполнительные механизмы (например, при организации движения мобильных роботов и манипулировании наблюдаемыми объектами). Данные системы находят применение в космических, авиационных, наземных, надводных и подводных мобильных средствах, т.е. там, где необходим анализ внешней обстановки в режиме реального времени.[1]

Актуальность данной статьи в том, что использование микроконтроллеров в системах технического зрения позволит добиться высокой точности, беспрерывности цикла работы, возможность применять техническое зрение во вредных и опасных зонах, автоматизированное чтение текста.

Для построения системы компьютерного зрения необходимы следующие компоненты:

1. Одна или несколько цифровых или аналоговых камер (черно-белые или цветные) с подходящей оптикой для получения изображений, вебкамеры

2. Микроконтроллер.

3. Программное обеспечение машинного зрения, которое предоставляет инструменты для разработки отдельных приложений программного обеспечения.

4. Оборудование ввода-вывода или каналы связи для доклада о полученных результатах[2]

Для реализации данной системы, было решено использовать ATEVK1100 – отладочная плата 32-разрядных контроллеров фирмы Atmel AVR32UC3.

Тактовая частота микроконтроллера-до 66МГц, что вполне позволяет нам обрабатывать полученное с камер изображение.

В качестве программного обеспечения машинного зрения было решено использовать библиотеку OpenCV (англ. Open Source Computer Vision Library библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом) — библиотеку алгоритмов компьютерного зрения, обработки изображений и численных алгоритмов общего назначения с открытым кодом. Реализована на языке программирования C/C++. Данная библиотека будет использована нами для операций обработки изображений, которая включает в себя следующие этапы:

Первый этап - Снижение цифрового шума изображения.

Цифровой шум — дефект изображения, вносимый фотосенсорами и электроникой устройств, которые их используют (цифровой фотоаппарат, теле-/видеокамеры и т. п.) вследствие несовершенства технологий.

Существуют всевозможные способы подавления цифрового шума на уровне сенсора, и на конечном цифровом изображении. Алгоритмы выявления уровня цифрового шума основаны на отклонении шума от фона. Темновой ток нескольких миллионов фотодиодов сенсора корректируется методом привязки к «уровню чёрного» от группы пикселей, находящихся в полной темноте. Вычисляется систематическая поправка — «уровень чёрного» темнового тока (среднее значение), которая вычитается из тока каждого фотодиода для данного фото изображения. Подавление цифрового стохастического шума при постобработке проводится усреднением яркости пикселя по некоторой группе пикселей, который алгоритм считает "похожими". Обычно при этом ухудшается детальность изображения, оно становится более "мыльным". Кроме этого, могут проявится ложные детали, которых не было на исходной сцене. Например, если алгоритм будет искать "похожие" пиксели недостаточно далеко, то мелкозернситый и среднезернистый шум может быть подавлен, а слабый, но всё равно довольно заметный неестественный "крупный" шум останется видимым. Цифровой шум заметен на изображении в виде наложенной маски из пикселей случайного цвета и яркости.[3]

Для снижения уровня цифрового шума, используется функция cvSmooth библиотеки OpenCV.

Второй этап - контрастирование изображения . Задача контрастирования связана с улучшением согласования динамического диапазона изображения и экрана, на котором выполняется визуализация. Изображения, вводимые в ЭВМ, часто являются малоконтрастными, т.е. у них вариации функции яркости малы по сравнению с ее средним значением. Реальный динамический диапазон яркостей для таких изображений оказывается намного меньше допустимого диапазона (шкалы яркости). Задача контрасти-

рования заключается в «растягивании» реального динамического диапазона на всю шкалу. Данная операция необходима для распознавания объектов с высокой точностью .Для контрастирования изображений, используется функция equalizeHist, библиотеки OpenCV.

Этап третий - Поиск особых точек. Особые точки - уникальные характеристики объекта, которые позволяют сопоставлять объект сам с собой или с похожими классами объектов. Существует несколько десятков способов позволяющих выделить такие точки. Некоторые способы выделяют особые точки в соседних кадрах, некоторые через большой промежуток времени и при смене освещения, некоторые позволяют найти особые точки, которые остаются таковыми даже при поворотах объекта.

Есть несколько алгоритмов решающих задачу нахождения особых точек изображения. Это алгоритм Speeded Up Robust Features (SURF) и Scale Invariant Feature Transform (SIFT)[4]. Которые мы и будем использовать.

Такой подход, с использованием библиотеки с открытым исходным кодом, позволяет существенно снизить время разработки программ, а так же, в случае неэффективного нахождения особых точек, позволяет использовать другие алгоритмы их нахождения.

Список литературы

[1]. Ивашина Е.А, Корлякова М.О., Пилипенко А.Ю., Филимонков А.А. Нейросетевой подход к формированию систем технического зрения мобильных объектов \\ Труды ФГУП "НПЦАП". Системы и приборы управления. 2013. № 3. С. 43-53

[2]. Девятериков Е.А., Михайлов Б.Б. Система технического зрения для измерения пути мобильного робота.Сб. тр. науч.-техн. конф. «Техническое зрение в системах управления-2011». Москва, ИКИ РАН, 2012,с. 219–224

[3]. Википедия – свободная энциклопедия. Цифровой_шум_изображения. [Электронный ресурс] URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Цифровой_шум_изображения (дата обращения: 20.03.2015).

[4]. Ивашина Е.А., Корлякова М.О., Пилипенко А.Ю. Формирование признаков для нейросетевого поиска направления перемещения объекта в сцене.XV Всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика-2013» Сб. науч. тр.Москва, НИЯУ МИФИ, 2013, ч. 2, с. 40–49

Кузнецов Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: OrionJM@yandex.ru.

Брынза Андрей Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: wolf_93_21@mail.ru.

Корлякова Мария Олеговна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mkorlyakova@yandex.ru.

УДК 519.24

Е.Ю. Корнюшина

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ СЖАТИЯ ДВУХМЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Данная статья представляет собой краткие теоретические сведения по применению вейвлет-преобразования для сжатия двумерной информации.

***Ключевые слова**:вейвлет-преобразование, сжатие.*

Идеи теории вейвлетов возникли, когда появилось достаточное количество рядов экспериментальных данных, обработка которых стандартным и хорошо развитым методом преобразований Фурье показала его ограниченность для поиска закономерностей в них. Свою роль сыграло и бурное развитие вычислительной техники, что позволило численно решать такие задачи, которые до этого были просто неподъёмными

Одна из областей использования вейвлет-преобразования – применение его для сжатия двухмерной информации, представляющей собой рисунок, фотографию и т.д. При этом обычно отфильтровывают информацию, представляющую собой либо шум, либо информацию о мелких деталях, наличие которых в изображении не существенно, побочным эффектом такого сжатия информации является сглаживание изображения.

Преимущество вейвлетов по сравнению с другими алгоритмами сжатия изображения заключается, во-первых, в том, что вейвлет-алгоритмы работают с целым изображением, а не с его частью (т.е.изображение не разбивается на блоки). Во-вторых, с их помощью легко анализировать прерывистые сигналы и сигналы с острыми всплесками, благодаря интегрированию, включённому в алгоритм. В-третьих, даже при 100-кратном вейвлет-сжатии изображения его качество почти не изменяется.

Результат вейвлет-преобразования – разделение сигнала на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты [1]. После этого наступает этап порогового преобразования: отбрасываются коэффициенты, значение которых близко к нулю. При этом происходит необратимая потеря информации, ведь отброшенные коэффициенты участвуют в формировании изображения. Поэтому выбранное пороговое значение коэффициентовсильно влияет на качество изображения – задание слишком высокого порога повлечет за собой падение качества.

На Рис. 1. продемонстрирован пример сжатого вейвлет-преобразованием дактилоскопического изображения, на котором удалена шумовой части информации, представляющая собой малые и случайные изменения, несущественные при идентификации личности при дактилоскопии. Исходная фотография (слева) и восстановленноеизображение(справа) после вейвлет преобразования

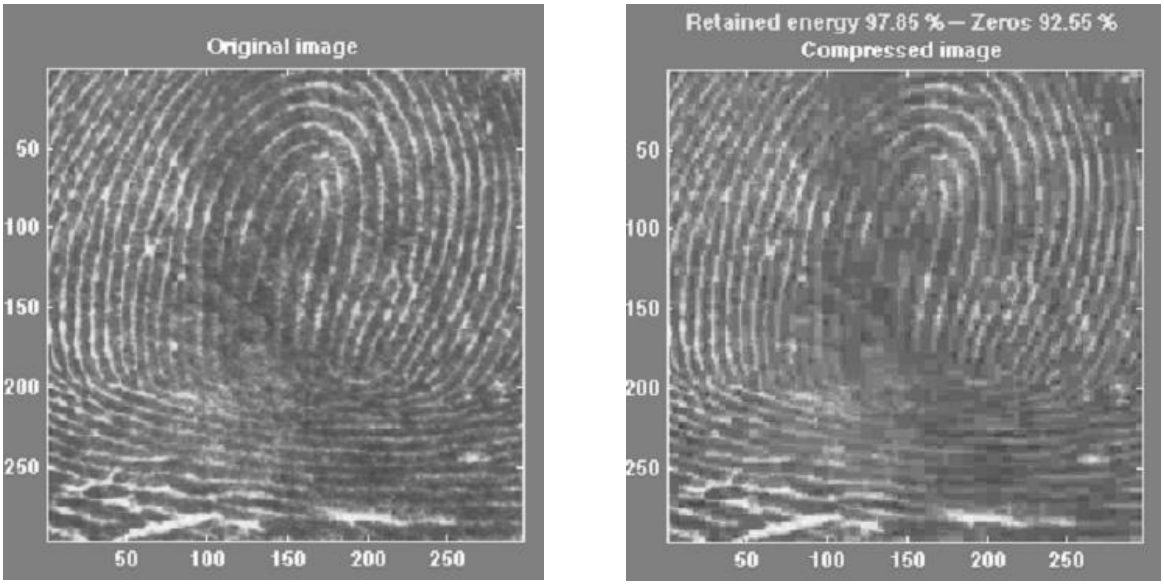


Рис.1. Применение вейвлет-сжатия для хранения информации при дактилоскопии.

Применение вейвлет-преобразования для сжатия видеосигналапрактически не отличается от алгоритма вейвлет-сжатия фотографий. Итак, видеокомпрессия происходит в два этапа – на первомосуществляется сжатие с потерей информации (вейвлет-преобразование), на втором – обычная архивация данных. Для восстановления информации необходимо произвести все действия в обратномпорядке: сначала восстанавливаются значения коэффициентов, азатем по ним, применяя обратное вейвлет-преобразование, получают изображение (сигнал).

Вейвлет-преобразование легло в основу международных стандартов MPEG-4, JPEG2000, видеокодеков фирмы AnalogDevices,стандарта на сжатие отпечатков пальцев [2]

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Нагорнов О.В., Никитаев В.Г *Вейвлет-анализ в примерах*: Учебное пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.

[2]. Смоленцев Н.К. *Основны теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB.* М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.,ил.

Корнюшина Елизавета Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: liza.kornyushina@gmail.com.

E Yu. Korniushina

APPLICATION OF WAVELET TRANSFORM FOR COMPRESSION OF TWO-DIMENSIONAL INFORMATION.

Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Kaluga, 248000, Russia

This article presents a brief theoretical information on the application of wavelet transform for compression of two-dimensional information.

***Keywords**: wavelet transform, compression.*

REFERENCES

[1]. Nagornov O.V., Nikitaev V.G. *Wavelet analysis in the examples*: Textbook. M .: MEPhI, 2010. - 120 p.

[2]. Smolentsev N.K. *The basic theory of wavelets. Wavelets in MATLAB*. M .: DMK Press, 2005. - 304 p.

Kornyushina E.Yu. – student of the Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University. E-mail: liza.kornyushina@gmail.com.

УДК 681.5

Кузнецов Д.В., Пчелкин О.П.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ МОТОР-МАЯТНИКА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье рассматривается вопрос разработки адаптивной системы управления вынужденными колебаниями лабораторного стенда «Мотор-маятник». Адаптивный алгоритм позволяет системе самостоятельно идентифицировать параметры, необходимые для построения математической модели и совершать вынужденные колебания с заданной амплитудой и частотой колебаний.

Ключевые слова: *Мотор-маятник, вынужденные колебания, адаптивный алгоритм, синтез алгоритма управления.*

Введение. Мотор-маятник представляет собой лабораторную установку, структурную схему которой можно представить следующим образом (Рис.1):

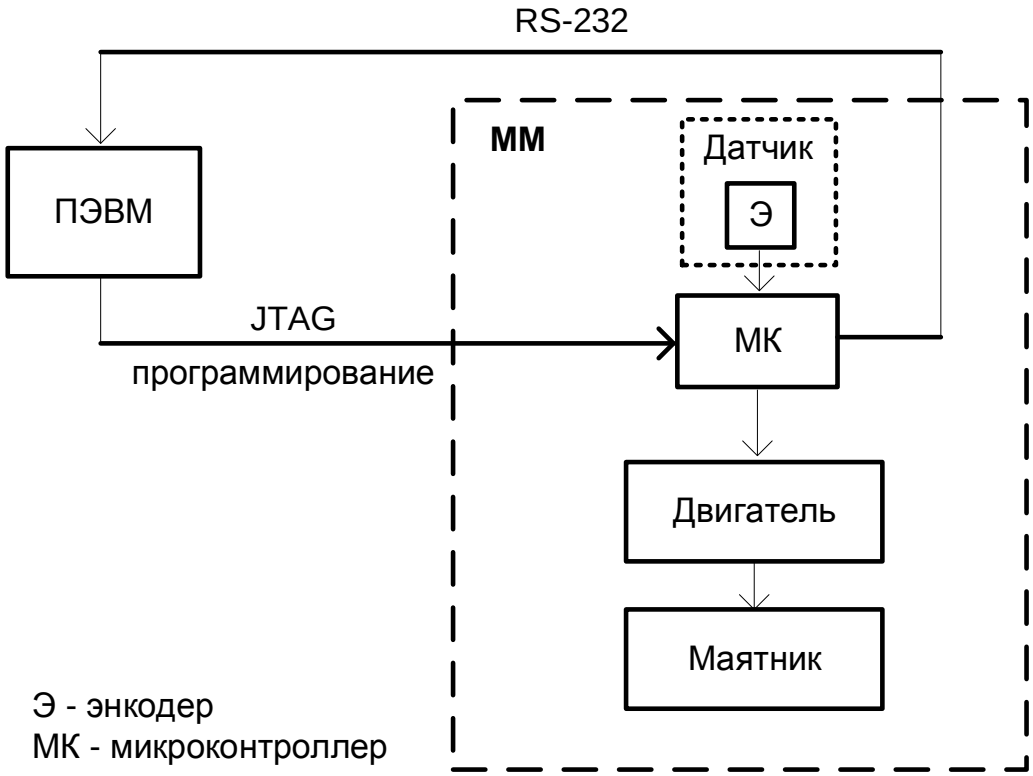


Рис.1

Маятник отклоняется на соответствующий угол при подаче на двигатель напряжения. Напряжение подается от регулируемого источника напряжения. Для считывания информации о положении маятника используется энкодер. Для регулирования напряжения на двигателе используется ШИМ-сигнал, реализованный посредством электронной платы с микроконтроллером ATmega128 фирмы AVR. Данная плата посредством программатора JTAG-ICE соединена с ПЭВМ. Передача данных на ПЭВМ обеспечивается через интерфейс RS-232.

Математическая модель системы. Ранее [1] практическим путем были получены такие основные параметры системы, как период и частота собственных колебаний и коэффициент затухания системы. На основании полученных параметров была построена и уточнена [4] математическая модель системы, уравнение которой может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = -179,96x_1 - 4,2x_2 + 18,53u \end{cases}. \quad (1)$$

Данный метод определения параметров системы не универсален, поскольку для управления вынужденными колебаниями мотор-маятника (ММ) груз маятника должен быть фиксированным. В противном случае изменятся параметры системы, что повлечет за собой изменение математической модели. Также данный способ недостаточно точен, поскольку в системе управления присутствует человеческий фактор (для определения параметров системы маятник отводится вручную). В связи с этим был разработан универсальный адаптивный алгоритм позволяющий в режиме реального времени рассчитывать параметры системы. Принцип работы алгоритма следующий: на маятник подается постоянное ШИМ-напряжение (ступенька) 10В, вследствие чего маятник отклоняется на некоторый угол, после чего совершает свободные колебания. Данные об отклонении маятника от положения равновесия регистрируются энкодером в режиме реального времени, после чего передаются на компьютер с частотой 28.8 кГц посредством таймера, реализованного в микроконтроллере. Для перевода импульсов в радианы используется формула:

$$i_{рад} = \frac{i \cdot 2\pi}{500}, \quad (2)$$

где i - целочисленное значение импульса. На основании полученных численных данных изменения амплитуды колебаний определяется период колебаний. Для этого пропускается первый максимум, и вычисляем разницу во времени между вторым и третьим максимальными значениями амплитуды. Далее на основании полученного значения периода колебаний и длительности колебаний, определяются демпфированная частота собственных колебаний и коэффициент затухания системы. На основании полученных данных определяются параметры математической модели системы. Данный эксперимент выполняется трижды (трех экспериментов достаточно,

поскольку в алгоритме отсутствует человеческий фактор и все вычисления выполняются программно), после чего вычисленные параметры математической модели усредняются.

В таблице 1 приведены результаты работы разработанного адаптивного алгоритма расчета параметров математической модели ММ. Груз находится вверху.

Таблица 1 – Результаты работы адаптивного алгоритма расчета параметров математической модели ММ

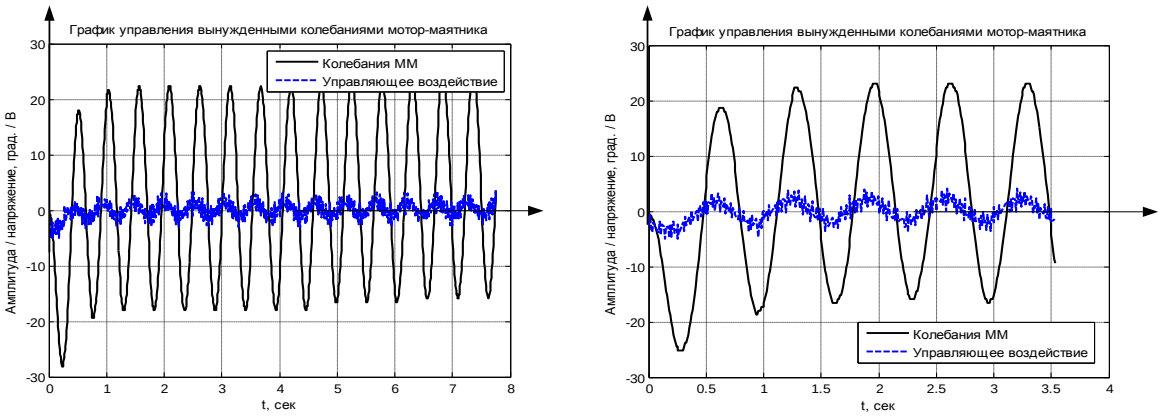
№ эксперимента	**Демпф. частота собств. колебаний (сек$^{-1}$)**	**Коэффициент затухания**	**Период колебаний (сек)**	**Параметр мат. модели a_{21}**	**Параметр мат.модели a_{22}**
1	12.3875	1.9345	0.5089	-179.85	-4.2343
2	12.3912	1.9456	0.5108	-180.45	-4.2456
3	12.3898	1.9489	0.5119	-180.17	-4.1995
Ср. знач.	**12.3895**	**1.9431**	**0.5105**	**-180.156**	**-4.2264**

На основании найденных параметров строится математическая модель системы, полученная универсальным адаптивным алгоритмом, уравнение которой может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{cases} x_1' = x_2 \\ x_2' = -180.156x_1 - 4.2264x_2 + Ku. \end{cases} \quad (3)$$

Математическая модель, полученная адаптивным алгоритмом, близка к математической модели, полученной вручную. Это говорит о том, что адаптивный алгоритм работает правильно.

Ниже приведены результаты адаптивного управления вынужденными колебаниями ММ при частотах 2 Гц (Рис.2а) и 1.5 Гц (Рис.2б) и при амплитуде колебаний 20^0.



а) б)

Рис.2

Заключение. В данной статье был разработан адаптивный алгоритм управления вынужденными колебаниями мотор-маятника. Данный алгоритм универсален, точен и позволяет рассчитывать параметры матемаческой модели в режиме реального времени. Однако в процессе колебаний наблюдается смещение положения равновесия маятника. В дальнейшем, необходимо определить причину смещения и учесть это в алгоритме управления.

Список литературы

[1]. *Краснощеченко В.И., Пчелкин О.П., Кузнецов Д.В.,* Идентификация параметров лабораторного стенда «Мотор-маятник», НТК «Студенческая научная весна 2013» — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 2 с.

[2]. *Краснощеченко В.И.,* Методические указания по выполнению курсового проекта «Методы теории оптимального управления» — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. —8 -18с.

[3]. *Шпак Ю.А.,* Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. — Киев: МК-Пресс, 2006. — 36 с.

[4]. *Краснощеченко В.И., Пчелкин О.П., Кузнецов Д.В.,* Синтез микропроцессорной системы управления вынужденными колебаниями мотор-маятника, НТК «Студенческая научная осень 2013» — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 3 с.

Кузнецов Дмитрий Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kuzdim91@gmail.com.

Пчелкин Олег Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: franticbee666@gmail.com.

УДК 681.5

Кузнецов Д.В., Пчелкин О.П.

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫНУЖДЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ МОТОР-МАЯТНИКА

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В данной статье рассматривается вопрос усовершенствования разработанного ранее алгоритма управления вынужденными колебаниями лабораторного стенда «Мотор-маятник». Усовершенствованный алгоритм учитывает особенности работы реальной системы. Адаптивный алгоритм позволяет системе самостоятельно идентифицировать параметры, необходимые для построения математической модели и совершать вынужденные колебания с заданной амплитудой и частотой колебаний.

Ключевые слова: *Мотор-маятник, вынужденные колебания, адаптивный алгоритм, синтез алгоритма управления.*

Введение. Мотор-маятник представляет собой лабораторную установку, структурную схему которой можно представить следующим образом (Рис.1):

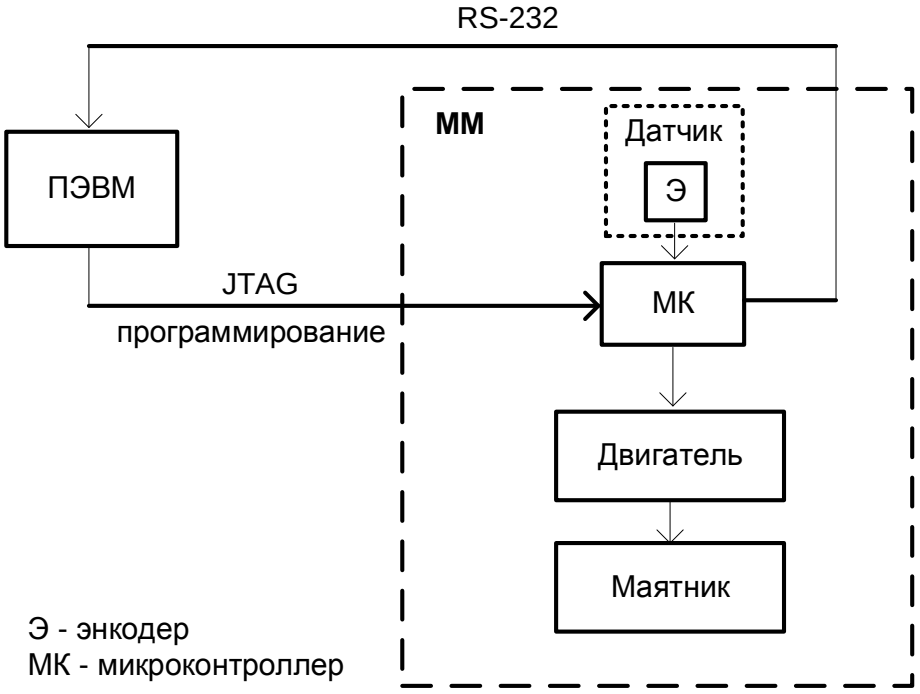


Рис.1

Маятник отклоняется на соответствующий угол при подаче на двигатель напряжения. Напряжение подается от регулируемого источника напряжения. Для считывания информации о положении маятника используется энкодер. Для регулирования напряжения на двигателе используется ШИМ-сигнал, реализованный посредством электронной платы с микроконтроллером ATmega128 фирмы AVR. Данная плата посредством программатора JTAG-ICE соединена с ПЭВМ. Передача данных на ПЭВМ обеспечивается через интерфейс RS-232.

Адаптивный алгоритм. Разработанный ранее адаптивный алгоритм [5] позволил достаточно точно строить математическую модель системы. Однако на практике оказалось, что при совершении вынужденных колебаний смещается положение равновесия маятника. С целью определения причины такого отклонения в работе системы был проведен ряд экспериментов. Результаты экспериментов приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Ход двигателя без маятника в течение 5 сек

Подаваемое ШИМ-напряжение	**№ эксперимента**	**Вращение по часовой стрелке**	**Вращение против часовой стрелки**
		Число импульсов энкодера	**Число импульсов энкодера**
5 В	1	13481	14341
	2	13570	14445
	3	13618	14480
	4	13559	14421
	5	13479	14330
Подаваемое ШИМ-напряжение	**№ эксперимента**	**Вращение по часовой стрелке**	**Вращение против часовой стрелки**
		Число импульсов энкодера	**Число импульсов энкодера**
Среднее отклонение		13541	14403
Число оборотов в секунду		5.4164	5.7612
10 В	1	26868	30251
	2	27083	30466
	3	26953	30601
	4	27153	30331
	5	26800	30633
Среднее отклонение		26971	30456
Число оборотов в секунду		10.7884	12.1824

Исходя из проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что при вращении двигателя по часовой стрелке наблюдается большее трение, по сравнению с вращением против часовой стрелки. В результате чего при вращении против часовой стрелки маятник отклоняется на больший угол (в среднем на 7^0).

Это может быть вызвано тем, что щетки двигателя износились, например, в процессе достаточно долгой работы двигателя в одну сторону, в данном случае против часовой стрелки. Чтобы компенсировать изношенность двигателя было принято решение усовершенствовать разработанный ранее адаптивный алгоритм управления вынужденными колебаниями ММ [5]. Идея заключается в следующем - рассчитывать коэффициенты ПД-регулятора для каждого из направлений колебаний ММ (по и против часовой стрелки) в отдельности.

Управляющий сигнал имеет следующий вид:

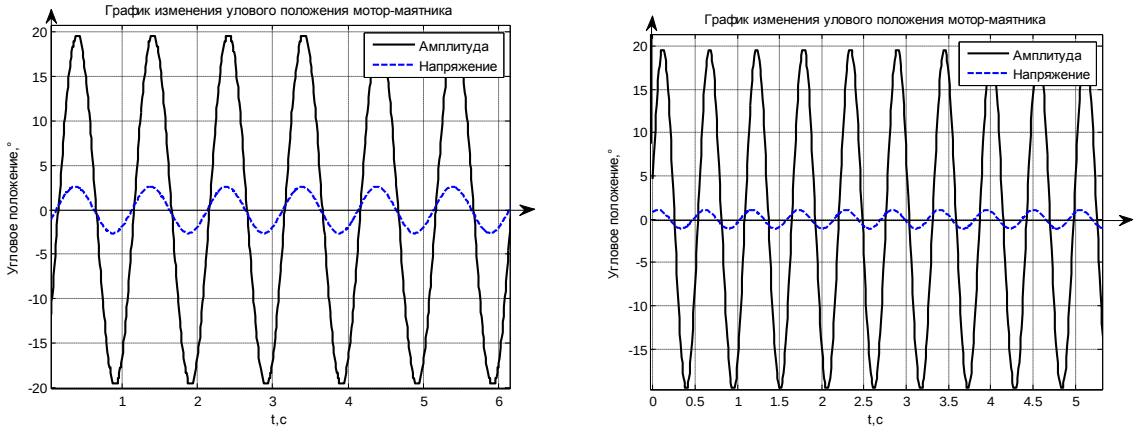
$$U(t) = K_p(\theta^*(t) - \theta(t)) + K_d(\dot{\theta}^*(t) - \dot{\theta}(t)), \quad (1)$$

где $\theta(t)$ - угловая скорость мотор-маятника, а $\theta^*(t)$ - эталонный сигнал, задаваемый в виде:

$$\theta^*(t) = A_м \cos(2\pi w_r t), \quad (2)$$

$A_м$ – желаемая амплитуда колебаний.

Ниже приведены результаты усовершенствованного адаптивного управления вынужденными колебаниями ММ при частотах 1 Гц (Рис.2а) и 1.8 Гц (Рис.2б) и при амплитуде колебаний 20^0.



а) б)

Рис.2

Заключение. В данной статье был усовершенствован адаптивный алгоритм управдения вынужденными колебаниями мотор-маятника. Были учтены особенности работы реальной системы. Данний алгоритм универсален, точен и позволяет рассчитывать параметры матемаческой модели в режиме реального времени.

Список литературы

[1]. *Краснощеченко В.И., Пчелкин О.П., Кузнецов Д.В.,* Идентификация параметров лабораторного стенда «Мотор-маятник», НТК «Студенческая научная весна 2013» — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 2 с.

[2]. *Краснощеченко В.И.,* Методические указания по выполнению курсового проекта «Методы теории оптимального управления» — КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. —8 -18с.

[3]. *Шпак Ю.А.,* Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров. — Киев: МК-Пресс, 2006. — 36 с.

[4]. *Краснощеченко В.И., Пчелкин О.П., Кузнецов Д.В.,* Синтез микропроцессорной системы управления вынужденными колебаниями мотор-маятника, НТК «Студенческая научная осень 2013» — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 3 с.

[5]. *Краснощеченко В.И., Пчелкин О.П., Кузнецов Д.В.,* Разработка адаптивной системы управления вынужденными колебаниями мотор-маятника, «Региональная НТК 2015» — МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. — 5 с.

Кузнецов Дмитрий Васильевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kuzdim91@gmail.com.

Пчелкин Олег Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: franticbee666@gmail.com.

Тун Тун Чжо, Тин Эй Чжо, Мьо Паинг Сат,
А.М. Макаренков

СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ УПРАВЛЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В работе рассматривается двухэтапный алгоритм вычисления программных управлений для объектов со случайными параметрами, описываемых линейными дифференциальными уравнениями *n*-го порядка с коэффициентами в виде случайных величин (класс стохастических систем).

Задача синтеза программных управлений рассматривается в следующей постановке. Предположим, что математическая модель стохастической системы (объекта) задана. Требуется найти управляющее воздействие $y(t)$, которое при заданных начальных условиях вырабатывает на выходе системы сигнал $x(t)$ такой, что пара $\left(m_x^*(t), m_x(t)\right)$ доставляет наименьшее значение функционалу

$$J\left(m_x^*(t), m_x(t)\right) = \int_{t_0}^{t_f} \left[m_x^*(t) - m_x(t)\right]^2 dt, \qquad (1)$$

где $m_x(t)$ – математическое ожидание выходного сигнала стохастической системы; $m_x^*(t)$ – желаемое математическое ожидание выходного сигнала.

Минимизация функционала (1) выполняется одним из численных методов с использованием проекционной модели [1], [2] для вычисления $m_x(t)$. При этом аналог функционала (1) выглядит следующим образом:

$$J\left(c_1^y, c_2^y, c_3^y, \cdots, c_p^y\right) = \left[\sum_{i=1}^{P}\left[c_i^{\triangle}\left(c_1^y, c_2^y, c_3^y, \cdots, c_p^y\right)\right]^2\right]^{1/2}, \qquad (2)$$

где $c_i^{\triangle}\left(c_1^y, c_2^y, c_3^y, \cdots, c_p^y\right)$ – элементы вектора

$$\mathbf{C}^{\triangle}\left(c_1^y, c_2^y, c_3^y, \cdots, c_p^y\right) = \mathbf{C}^{m^{x^*}} - \mathbf{C}^{m^x}\left(c_1^y, c_2^y, c_3^y, \cdots, c_p^y\right),$$

зависящего от элементов вектора проекционной характеристики синтезируемого управления $\mathbf{C}^y$, выступающих в качестве оптимизируемых параметров; p – число удерживаемых членов разложения по ортогональному базису. На практике можно ограничиться относительно небольшим числом первых элементов вектора $\mathbf{C}^y$, выступающих в роли оптимизируемых параметров.

Предлагается следующий алгоритм определения требуемого программного управления с использованием процедуры минимизации функционала

(2), включающий два этапа. На первом этапе определяется программное управление для детерминированной системы. Данный этап может быть сведен к решению обратной задачи динамики с ограничением на абсолютную величину мгновенного значения требуемого управляющего воздействия $y(t)$. На втором этапе детерминированная модель системы заменяется стохастической, что позволяет учесть влияние фактора случайности параметров системы на среднее значение ее выходного сигнала. Данное влияние проявляется в появлении дополнительной регулярной составляющей, обусловленной неизбежной корреляцией случайных коэффициентов левой части дифференциального уравнения модели системы и ее выходного сигнала. Минимизация функционала (2) позволяет скомпенсировать указанное влияние фактора случайности параметров системы путем оптимизации элементов вектора проекционной характеристики $\mathbf{C}^y$ (коэффициентов разложения по некоторому ортогональному базису) входного сигнала $y(t)$, синтезированного на первом этапе, точнее, как было отмечено ранее, первых элементов данного вектора.

В качестве примера решения задачи синтеза программного управления для объекта со случайными параметрами в работе рассматривается синтез управления для электрогидравлического привода (ЭГП), некоторые физические параметры которого являются случайными величинами. Математическая модель ЭГП имеет вид

$$x^{(8)} + a_7 x^{(7)} + a_6 x^{(6)} + a_5 x^{(5)} + a_4 x^{(4)} + a_3 x''' + a_2 x'' + a_1 x' + a_0 x = b_0 y. \quad (3)$$

В качестве параметров функционала (2) используем первые 5 коэффициентов разложения функции $y(t)$ по базису из 64-х функций Уолша. Остальные коэффициенты разложения при вычислении данного функционала считаются константами. Используется процедура прямого поиска минимума функционала (2) методом Нелдера-Мида. За начальные значения оптимизируемых параметров приминаются значения первых 5-ти элементов вектора $\mathbf{C}^y$, найденного на первом этапе описываемого алгоритма путём решения обратной задачи динамики с ограничением на управление.

Выполним второй этап алгоритма синтеза программного управления ЭГП при случайном коэффициенте вязкого трения на золотнике h_3 со следующим математическим ожиданием и дисперсией: $m_{h_3} = 2{,}5; \quad D_{h_3} = 0{,}689$. Результаты представлены на рис. 1-3.

На рис. 1 приводятся графики выходного сигнала и его математического ожидания для стохастической и детерминированной модели ЭГП. Здесь: (1) – реакция детерминированной системы на программное управление, синтезированное на первом этапе описываемого алгоритма; (2) – реакция стохастической системы (влияние случайности); (3) – реакция стохастической системы на программное управление после компенсации фактора случайности; (4) – желаемый сигнал.

На рис. 2 представлены графики программного управления до компенсации фактора случайности (1) и после его компенсации – (2).

На рис. 3 показан график разности между управлением, синтезированном на первом этапе алгоритма (график (1) на рис. 2), и управлением, оптимизированном на втором этапе (график (2) на рис. 2).

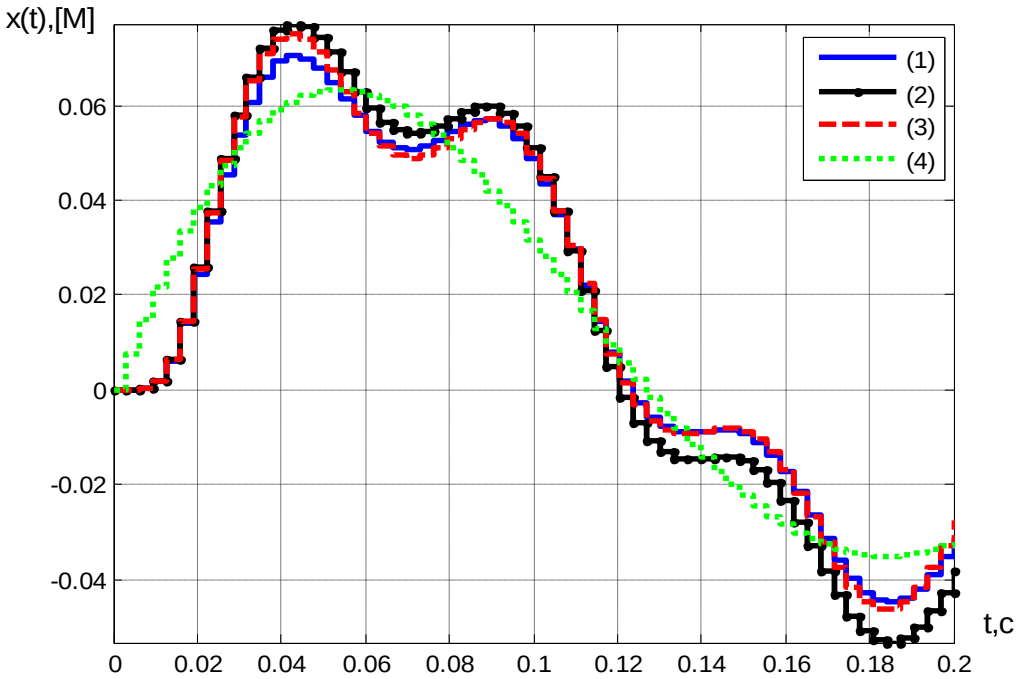


Рис. 1

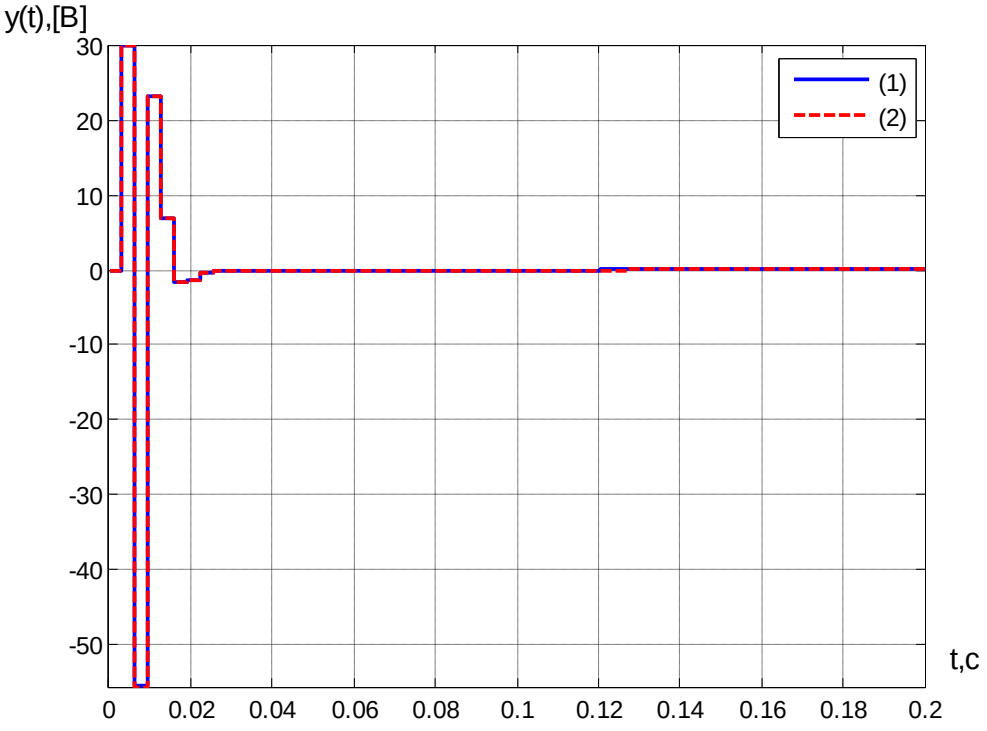


Рис. 2

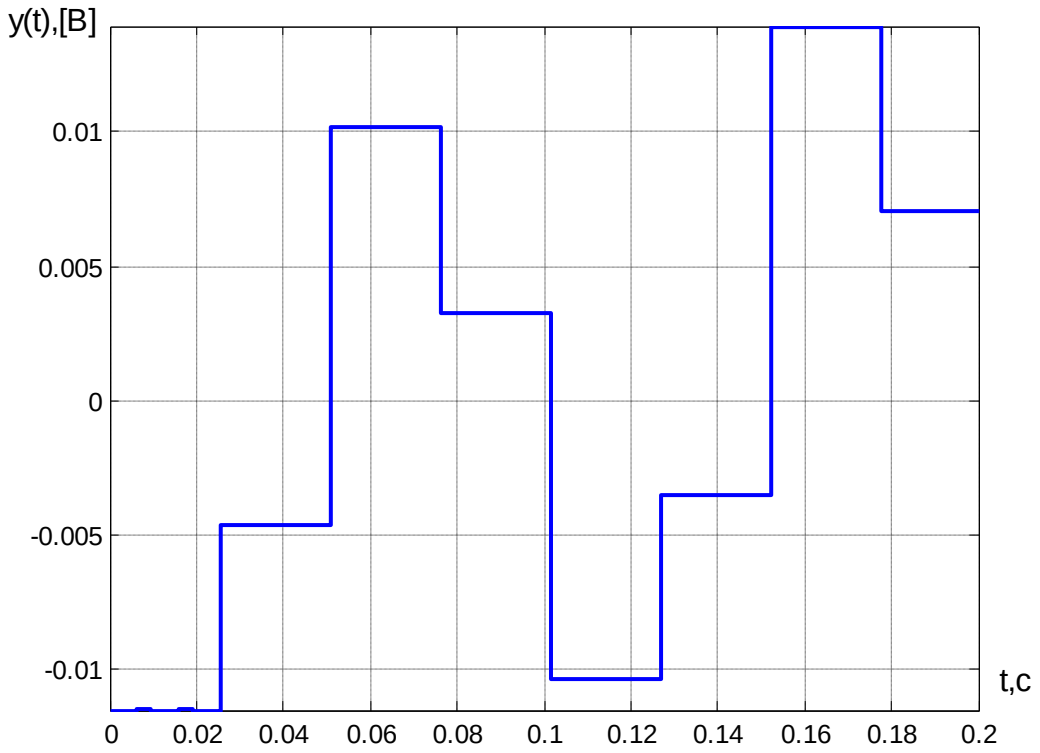


Рис. 3

Вычисление функционала (2) требует существенных затрат вычислительных ресурсов в связи с необходимостью выполнения большого числа аналитических преобразований при выводе выражений для стохастических моментов высоких порядков. В настоящее время мы работаем над реализацией параллельных алгоритмов выполнения данных операций на вычислительной платформе типа Grid с использованием возможностей пакета MATLAB.

Таким образом, в работе рассмотрен алгоритм поиска программных управлений для систем со случайными параметрами, основанный на использовании аппарата проекционных аппроксимаций и методов математического программирования. Приведен численный пример, демонстрирующий возможность практического применения данного алгоритма для расчетов элементов систем автоматического управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Калужской области (гранты № 14-41-03071 и № 14-48-03013).

Список литературы

[1]. *Пупков К.А.*, *Егупов Н.Д.*, *Макаренков А.М.* и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. — М.: Физматлит, 2003. — 400 с.

[2]. *Макаренков А.М.* Учет влияния случайных параметров в проекционных моделях систем автоматического управления // Известия ТулГУ. Серия Вычислительная техника, информационные технологии, системы управления. Вып.3. Системы управления. Том.2. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. — С.30-38.

Тин Эй Чжо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tinayekyaw87@gmail.com.

Тун Тун Чжо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: htaminnkyaw@gmail.com.

Мьо Паинг Сат – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: myopaingsatt85@gmail.com.

Макаренков А.М. – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: amm2005@rambler.ru.

СЕКЦИЯ 6.

ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Ю.М. Жукова, И.И. Куликова, А.А. Матеров, С.Н. Никулина

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ И ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Введение

Человечество всегда стремилось к увеличению водопотребления, при этом оказывая на гидросферу разнообразное влияние. В настоящее время, в связи, со стремительным развитием промышленности, урбанизацией населения, интенсификацией сельского хозяйства, и улучшением культурно-бытовых условий все более острой становится проблема загрязнения водных экосистем, что представляет огромную опасность для всех живых организмов и, в частности, для человека.

Установлено, что загрязнение воды может быть вызвано более 400 видами веществ. В наш индустриальный век в связи с резким увеличением отходов механизм самоочищения водоемов уже не справляются со столь значительным загрязнением [1]. Возникает необходимость очищать сточные воды (СВ) не только физико-химическими методами, но и рассматривать безреагентные методы очистки СВ.

На сегодня широко применяются следующие методы очистки СВ:

– Химический
– Физический
– Физико-химический
– Биологический
– Комбинированный

Отсутствие промышленных технологий лазерно-магнитной, микроволновой и другой очистки СВ объясняется недостаточно детальной проработкой специалистами режимов облучения, передвижных и стационарных промышленных установок и научно-обоснованных технических решений по их безопасному использованию [2].

Рассматривая альтернативные методы очистки безреагентными способами можно выявить основные направления очистки СВ:

– СВЧ-излучением;
– УФ-излучением;
– лазерным излучением различного спектра.

Очистка воды СВЧ излучением

СВЧ-излучение – это электромагнитное излучение, которое состоит из следующих диапазонов: дециметрового, сантиметрового и миллиметрового. Длина его волны колеблется от 1 м (частота в этом случае составляет 300 МГц) до 1 мм (частота равна 300 ГГц).

На сегодняшний момент существует экспериментальная установка очистки воды СВЧ излучением (Рис. 2). Она позволяет очистить и обеззаразить питьевую воду, а также очищает осадки сточных вод от примесей тяжелых металлов [3].

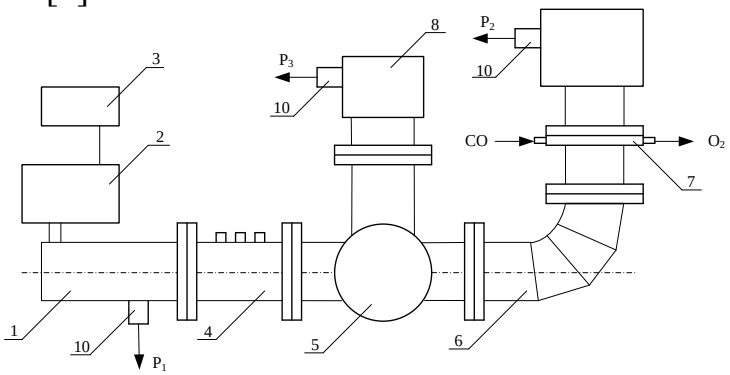


Рис. 2. Схема экспериментальной СВЧ установки

Установка включает:

1 - Коаксиально-волноводный переход

2 - Генераторный блок

3 - Блок питания генераторного блока

4 - Трехштырьковый подстроечный СВЧ трансформатор

5 - СВЧ циркулятор

6 - Волноводное поворотное устройство

7 - Технологический модуль

8, 9 - Водяные СВЧ нагрузки

10 - Измерители СВЧ мощности волны, соответственно, для падающей на исследуемый образец Р1, прошедшей через исследуемый образец Р2 и отраженной от исследуемого образца Р3.

Микроволновая обработка приводит не только к разрушению содержащихся в ней микроорганизмов, но и к активации органических включений с образованием высокомолекулярных соединений. Однако последующая фильтрация воды, обработанной в микроволновом поле, на фильтре, выполненном из спеченного ультрадисперсного порошка оксида алюминия с размерами пор порядка 30 нм, позволяет получить питьевую воду, качество которой заметно выше, чем требования соответствующих стандартов.

Очистка воды ультрафиолетом

За последние 20 лет во всем мире широкое распространение получил метод обработки воды ультрафиолетовым излучением. Этот метод относится к безреагентным, физическим методам водоподготовки. В отличие от методов очистки с применением химических реагентов, основанных на окислительных технологиях, обработка воды ультрафиолетом не приводит к образованию опасных побочных продуктов.

Ультрафиолетом называют невидимую глазом часть спектра электромагнитных волн, имеющих энергию большую, чем у видимого фиолетового света. УФ-излучение охватывает диапазон с длиной волны от 100 до 400

нм. Обеззараживающим эффектом обладает только часть спектра УФ-излучения в диапазоне волн 205–315 нм при максимальной эффективности в области 260±10 нм. Обеззараживающий эффект УФ-излучения в первую очередь обусловлен происходящими под его воздействием фотохимическими реакциями в структуре молекул ДНК и РНК, приводящими к их необратимым повреждениям. Кроме того, действие ультрафиолетового излучения вызывает нарушения в структуре мембран и клеточных стенок микроорганизмов. Все это в конечном итоге приводит к их гибели [4].

Устройство для УФ очистки воды называется ультрафиолетовым стерилизатором (Рис. 1). Оно представляет собой камеру из нержавеющей стали (камеру обеззараживания) с расположенными внутри ультрафиолетовыми лампами, заключенными в прочные кварцевые чехлы, которые исключают контакт УФ лампы с водой. Вода, проходя через камеру обеззараживания, непрерывно подвергается облучению ультрафиолетом, который убивает все находящиеся в воде микроорганизмы (бактерии, вирусы, простейшие и т.д.). Ультрафиолетовое излучение образуется в процессе испарения в корпусе лампы того или иного металла (в основном применяют ртуть) [4].

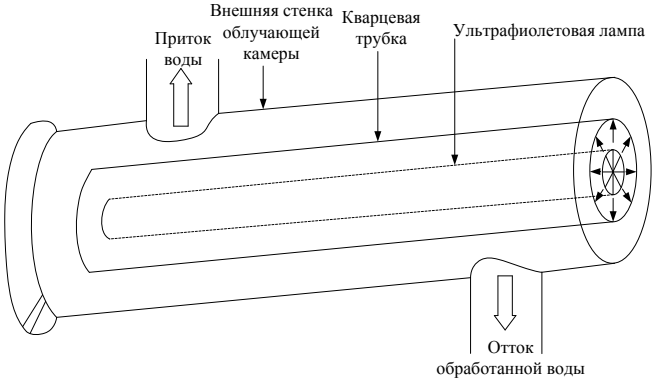


Рис. 1. УФ стерилизатор

Важнейшим качеством УФ-обработки воды является отсутствие изменения ее физических и химических характеристик даже при дозах, намного превышающих практически необходимые.

Достоинства УФ-обработки:

1. Отсутствие изменения ее физических и химических характеристик даже при дозах, намного превышающих практически необходимые.
2. Эффективное воздействие на различные микроорганизмы в воде;
3. Экологичность;
4. Экономически выгодная;
5. Низкие затраты на эксплуатацию;
6. Простота в обслуживании
7. Эффективность УФ-обеззараживания воды может быть дополнительно повышена путем сочетания с другими методами обеззараживания и с физическими воздействиями.

Недостатки:

1. Отсутствие последействия, т. е. очищенная вода может вновь загрязняться на последующих стадиях обработки или транспортировки.

2. Убивает микроорганизмы, но клеточные стенки бактерий, грибов, белковые фрагменты вирусов остаются в воде. При использовании такой воды в качестве питьевой желательно удалять их с помощью тонкой фильтрации.

Очистка воды лазерным излучением

Одной из новейших разработок в области очистки СВ является применение когерентного (лазерного) излучения. Энергетические источники лазерного излучения более выгодны и экономически целесообразны по сравнению с остальными.

Очистка лазером основана на фотомеханической реакции, происходящей при взаимодействии между пучком света, исходящим из лазера в коротких импульсах высокой интенсивности и загрязняющим слоем. Импульсы света, передаваемые лазером, поглощаются внешним слоем обрабатываемой поверхности. Мощная поглощенная энергия создает плазму (ионизированный несбалансированный газ), сильно сжатую, она разжимается, создавая ударную волну. Эта ударная волна расщепляет и удаляет тонкие частицы слоя загрязняющего вещества, которые подхватываются системой всасывания. Световой импульс достаточно короток для того, чтобы избежать возникновения термических явлений, которые могли бы повредить поверхность [5].

Когерентное излучение лазера при правильно выбранных длинах волн (λ) и дозах даёт возможность мягко и избирательно действовать на загрязнители водных объектов.

Для очистки воды от физических и тепловых загрязнений использовать лазерное излучение воды не эффективно. В первом случае в воде содержатся крупные примеси, которые не удаляются лазерным излучением. Для этого используются сооружения механической очистки, такие как отстойники, решетки, песколовки, фильтры, центрифуги и т.д. Во втором случае очистка лазером невозможна, т.к. механизм его действия лежит в другой плоскости и протекает по другим физическим законам. И, наоборот, для очистки воды от химических и биологических загрязнений применение лазерного излучения эффективно [6].

Лазерное излучение обладает такими достоинствами, как:

1) высокая эффективность против широкого спектра патогенных микроорганизмов в воде;

2) отсутствие в использовании дополнительных химических веществ (безреагентный процесс);

3) короткое время обработки сред;

4) отсутствие влияния на вкус и запах чистой воды;

5) минимум побочных продуктов, включая токсичные вещества.

Выводы

В настоящее время для очистки сточных вод от примесей тяжелых металлов и органики практически отсутствуют альтернативы традиционным химическим технологиям, требующим применения больших объемов разнообразных химических реагентов. При этом процесс утилизации продуктов химической очистки сточных вод остается практически открытым. Поэтому исследования в области очистки сточных вод различными видами излучения очень актуально и необходимо.

Также хочется отменить, что методы очистки сточных вод СВЧ-, УФ- и лазерным излучением намного более эффективны в комбинации с другими методами очистки (например, с тонкой фильтрацией).

Список используемых источников

[1]. Исмагилов Р. Р. Проблема загрязнения водной среды и пути ее решения / Р. Р. Исмагилов // Молодой ученый, 2012, №11, с. 127-129.

[2]. Жукова Ю.М., Коржавый А.П., Никулина С.Н. Проблемы реализации в практику безреагентных способов очистки загрязненных вод.// Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе, 2014, Т.2, с. 241-244.

[3]. Новая безреагентная технология для очистки питьевой воды и осадков сточных вод. // www.ecoanalyt.ru: Сайт фирмы ЭкоАналитика. URL: http://www.ecoanalyt.ru/ek2009-71/ (дата обращения 17.02.2015)

[4]. Обработка воды ультрафиолетом // mediana-filter.ru: Сайт компании Медиана Фильтр. URL: http://www.mediana-filter.ru/water_filter_uf.html (дата обращения 15.02.2015)

[5]. Никулина С.Н., Жукова Ю.М., Дыхно Я.Н., Куликова И.И., Санютина Я.А. Воздействие лазерного излучения на процесс обеззараживания воды и очистку родниковых вод г. Калуги.// Наукоемкие технологии, 2015, Т.16, №1, с. 79-85.

[6]. Яковлева О.В., Никулина С.Н. Воздействие лазерного излучения на процесс обеззараживания воды и очистку сточных вод после гальваники.// Наукоемкие технологии, 2012, Т.13, №2, с. 79-83.

Жукова Юлия Михайловна – канд. техн. наук, заместитель заведующего кафедрой по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zjuliam@hotmail.com.

Куликова Ирина Игоревна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: queenirinka@mail.ru.

Матеров Андрей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: materov.andrey@mail.ru.

Никулина Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru.

Е.О. Пименова, О.В. Яковлева, Е.А. Гаврилина

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЮЖНОГО ВОДОЗАБОРА ГОРОДА КАЛУГИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Проблема питьевого водоснабжения всесторонне затрагивает жизнь человеческого общества в течение всей истории его существования. Рост городов, развитие промышленности, сельского хозяйства и ряд других факторов все больше усложняет проблемы обеспечения водой необходимого качества и в необходимом количестве. Поэтому качество воды источников водоснабжения приобретает актуальность на сегодняшний день.

Проблема обеспечения населения водой высокого питьевого качества важна для любого города, в том числе и для Калуги. Одним из источников водоснабжения г. Калуги является Южный водозабор.

Целью исследования являлось проведение локального мониторинга качества воды, поступающей из подземных источников на Южный водозабор в городе Калуге.

Перед выполнением работы были поставлены задачи:

- изучить источники водоснабжения для Южного водозабора;
- оценить качество и проследить динамику изменения исходной воды, поступающей на очистку в течение 2014 года.

Для полного представления о снабжении Южного водозабора водой, при изучении было установлено, что забор воды осуществляется из подземного Упинского карбонатного комплекса от 19 артезианских скважин и 1 скважины Бобриковско - Тульского терригенного комплекса, которые являются основными артезианскими водоносными горизонтами, использующимися в хозяйственно-питьевом водоснабжении.

Упинский водоносный горизонт связан с известковыми толщами нижнего карбона, Тульский с кварцевыми песками.

Воды этих горизонтов гидрокарбонатно-кальциевые с повышенным содержанием железа. Воды Упинского горизонта жесткие и сильножесткие; Тульского – умеренно жесткие и жесткие.

Подземные воды Упинского комплекса имеют различную степень естественной защищенности от поверхностного загрязнения. Подземные воды Упинского и Бобриковско-Тульского комплексов относятся к категории защищенных от поверхностного загрязнения[1]. Все скважины обеспечивают водой станцию обезжелезивания Южного водозабора и далее, после водоподготовки, с насосной станции II-го подъема вода поступает в сеть.

Качество воды подземных водных источников считается достаточно стабильным. Артезианские и родниковые воды поступают из горизонтов, защищенных от поверхности земли водонепроницаемыми породами, в связи с чем, они характеризуются высокими санитарными показателями [2]. Антропогенного воздействия на подземные источники не отмечается.

Оценка качества исходной воды источников водоснабжения проводиться в соответствии с ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения».

Качество воды водозаборных скважин проверяется с кратностью 1 раз в квартал. Проверяемые показатели: органолептические – запах, привкус, цветность, мутность; обобщенные показатели - водородный показатель, жесткость, окисляемость перманганатная, аммиак, железо и микробиологические – термотолерантные колиформные бактерии, общие колиформные бактерии, общее микробное число[3].

Работа заключалась в обобщении и анализе годовых наблюдений за качеством воды подземных источников в городе Калуге. Графическими методами на основе непосредственно измеренных параметров, строилась зависимость изменения концентрации веществ в течение года для различных скважин водозабора. По результатам были сделаны выводы о зависимости качества воды от сезонов года. Кроме того возможно спрогнозировать дальнейшие изменения показателей качества воды.

Для анализа была прослежена динамика изменения концентрации содержания в воде артезианских скважин вредных примесей в течение 2014 года, и сравнение с предельно допустимой концентрацией. Под контроль взяты скважины №12,13,15 – расположенные вдоль реки Оки, скважина №20 – расположенная на территории Южного водозабора и эксплуатирующая Нижне-Тульский водоносный горизонт, в отличие от остальных скважин, эксплуатирующих Упинский горизонт и скважина №16 - расположенная у реки Оки и являющаяся самой производительной.

После обработки данных были получены результаты исследования по показателям цветности, мутности, жесткости, содержанию аммиака, запаха, сероводорода, железа, хлоридов и сульфатов. Наиболее характерные показатели по загрязнениям представлены на рисунках 1-5.

Так, проанализировав полученные данные, были сделаны выводы о том, что цветность воды находится в пределах нормы (рисунок 1). На четырех скважинах относительно стабильные показатели в течение года, на скважине №15 – весной наблюдается резкое уменьшение цветности воды. В среднем наименьшие показатели цветности в течение года замечены на скважине №12, наибольшие – на скважине №20.

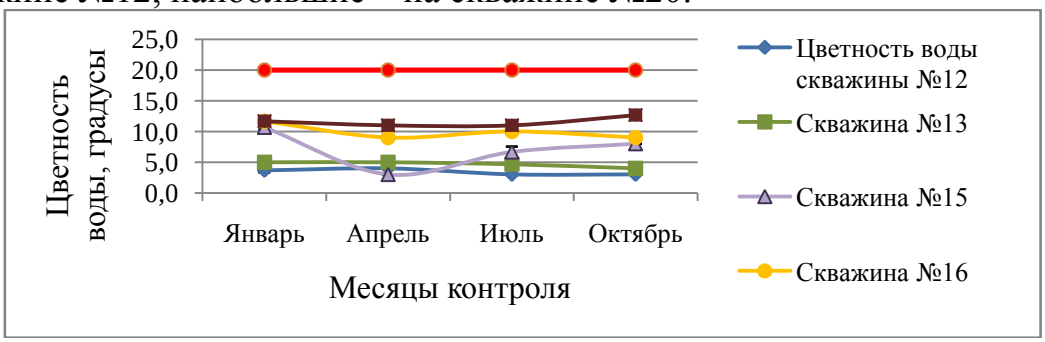


Рис. 1. Изменение цветности воды скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

Показатели мутности, исходя из данных на рисунке 2, превышены на всех скважинах в течение года. Наибольшие колебания наблюдаются на скважинах №15,20. На скважине №12 с начала года до осени показатели удовлетворяют ПДК, но в октябре наблюдается превышение данного показателя. Наибольшее значение отмечено в июле на скважине №20, наименьшее – в начале года на скважине №15.

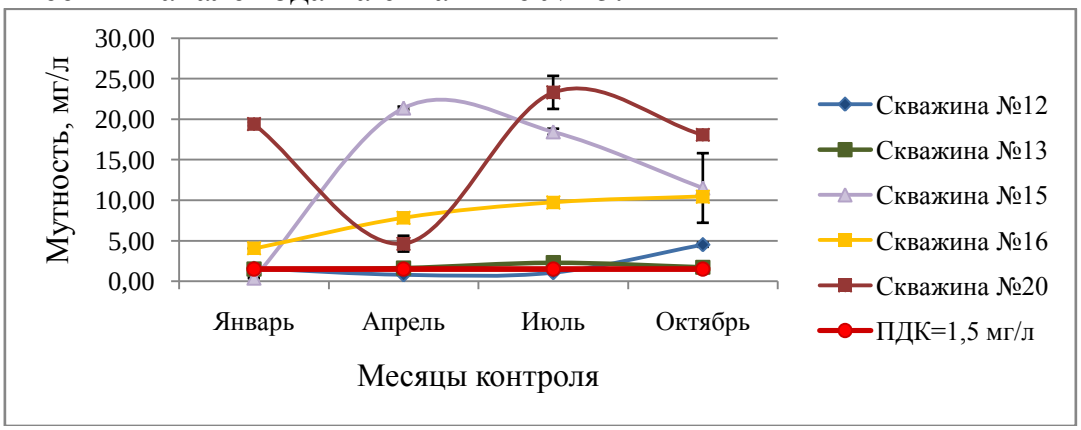


Рис. 2. Изменение мутности воды скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

Железо превышено на всех скважинах в течение года, что наблюдаем на рисунке 3. Превышения железа являются характерными для подземных вод.

На скважинах №12 – превышение в 5 раз, №13 – в 6,5 раз, №15 – в 16,5 раз, №16 – в 20 раз, №20 – в 20 раз (наибольшие превышения). Наибольшее содержание железа отмечается в воде весной, в апреле. Наименьшее содержание железа в воде отмечено в апреле на скважине №12.

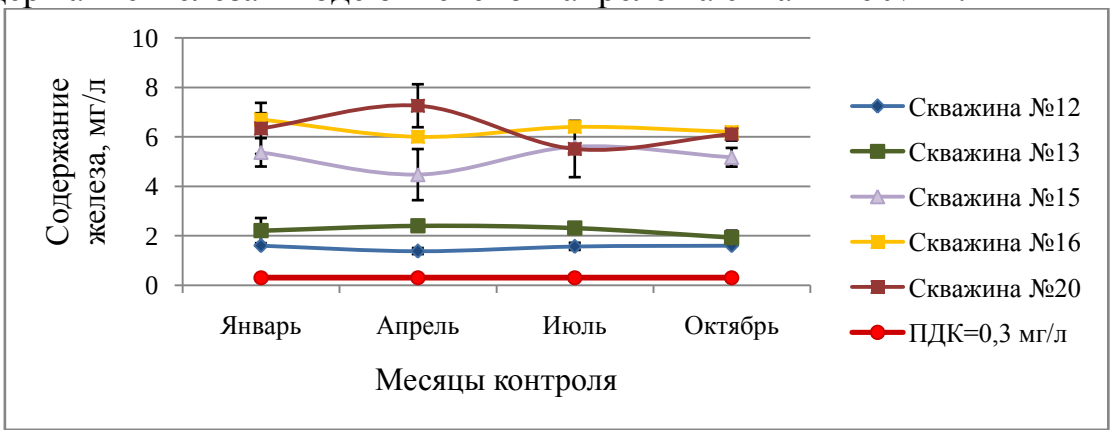


Рис. 3. Изменение содержания железа в воде скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

Показатели по мутности и по содержанию в воде скважин железа являются для станции обезжелезивания особо актуальными. Это связано с технологией водоподготовки, которая применяется на Южном водозаборе.

Согласно рисунку 4, жесткость воды на четырех скважинах изменяется незначительно, в пределах нормы. Превышение наблюдается на скважине №12 в течение года, наибольшее значение приходится на осень.

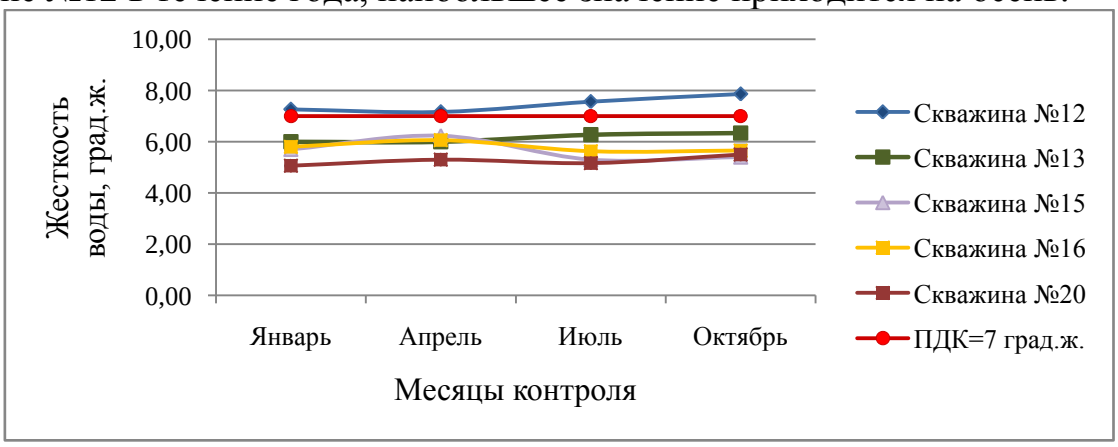


Рис. 4. Изменение жесткости воды скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

По аммиаку (рисунок 5) показатели ниже норматива ПДК. Наибольшее содержание аммиака в воде наблюдается в июле на скважине №20, наименьшее – в июле на скважине №15. Нужно отметить, что содержание аммиака в воде скважины №20 выше на протяжении всего года по сравнению с другими скважинами.

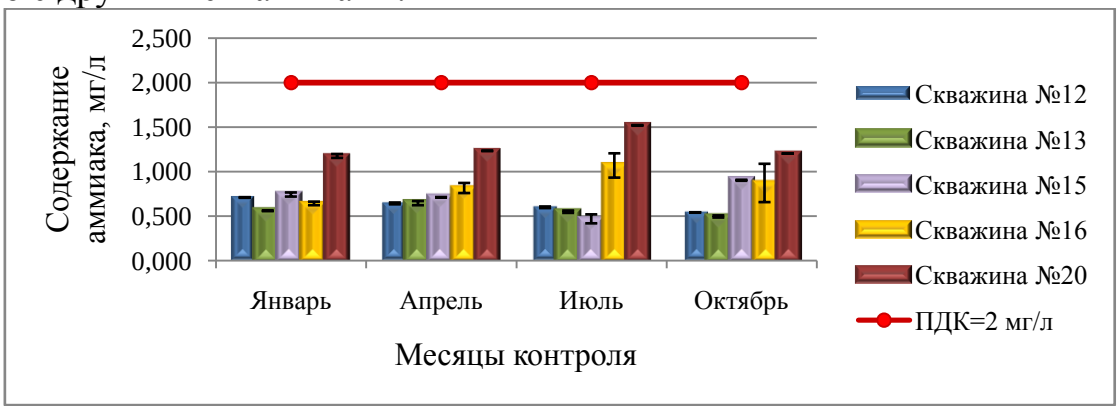


Рис. 5. Изменение содержания аммиака в воде скважин в течение года и сравнение с нормативом ПДК

В ходе анализа было замечено, что наибольшие загрязнения по многим показателям поступают со скважины №20. Возможно, это связано с тем, что вода поступает из Нижне-Тульского водоносного горизонта, в отличие от других скважин. Так же имеет значение достаточно большая глубина скважины – 99 м. Поэтому производительность этой скважины для водоснабжения наименьшая - 25 $м^3$/час.

В результате проведения локального мониторинга качества воды, поступающей из подземных источников на Южный водозабор в городе Калуге можно сделать вывод о том, что качество воды зависит от сезонов года,

и не отличается стабильностью. Разница между максимальными и минимальными значениями по загрязнениям воды связана с разной глубиной скважин (от 27 до 105 м) и разной защищенностью водоносного горизонта.

Список используемых источников

[1]. Новиков В. П., Гордеева Т. А., Супрычев В. В. Источники подземных вод Жиздринского и Воротынского участков национального парка «Угра». *Природа и история Поугорья*, 2009, № 5, с. 29-37.

[2]. Лукин В.В. Оценка экологического статуса водоисточника и выбор оптимальной технологии очистки воды. URL: http://www.voda-da.ru/eco.htm (дата обращения 2.03.2015).

[3]. *Научно-производственная группа "Тектоника"*. URL: http://xn--80aegbkecuucn5d3a4k.xn--p1ai/pitjevye-normy (дата обращения 26.02.2015).

Пименова Евгения Олеговна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: electra5864@yandex.ru.

Яковлева Ольга Владимировна - канд. техн. наук, доцент кафедры "Промышленная экология и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yakowlewaolga24@mail.ru.

Гаврилина Екатерина Александровна - руководитель производственно-технологического управления ГП «Калугаоблводоканал». E-mail: e.gavrilina@kalugaoblvodokanal.ru.

УДК 628.543.15

Н.Ю. Антонова, Е.А. Грефенштейн, О.В. Яковлева

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ В КРЫМУ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время дефицит пресной питьевой воды во всем мире все возрастает. За последнее десятилетие потребность в воде на планете увеличилась более чем на четверть. Многие страны уже не имеют свободного доступа к питьевой воде.

Часто ее качественные изменения не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, а потребление недоброкачественной питьевой воды вызывает серьезные последствия для здоровья населения.

С другой стороны, существует проблема, связанная со сбросом в водные объекты недостаточно очищенных или не подвергавшихся очистке на очистных сооружениях сточных вод. Сброс таких стоков в водные объекты усугубляет проблемы водообеспечения.

Обозначенные проблемы являются особенно актуальными для Автономной Республики Крым.

Целью аналитического исследования являлась разработка решений по водообеспечению и водоотведению в Крыму.

Для достижения поставленной цели был проведен анализ существующей ситуации водоснабжения и очистки стоков на полуострове.

В Автономной Республике Крым 16 городов, 56 поселков и 194 сельских населенных пунктов. Во всех населенных местах существует проблема водообеспечения и водоотведения в той или иной мере.

С одной стороны, при изучении проблемы водообеспечения было выявлено, что в настоящее время на полуострове существуют три основных варианта получения пресной воды, которые при соответствующей подготовке могут использоваться для питьевых нужд:

- днепровская вода из Северо-Крымского канала;
- вода из артезианских скважин;
- вода из крупных водохранилищ.

Но все эти варианты имеют определенные «минусы». Так, днепровская вода, поступающая через Северо-Крымский канал, не всегда соответствует санитарным требованиям СанПиН. Система каналов и наливных водохранилищ сильно заилена и требует дополнительных затрат. Кроме того, в кризисные годы трудно находить немалые средства для оплаты услуг предприятия «Северо-Крымский канал».

На полуострове большое количество артезианских скважин, но местами минерализация воды в них превышает норму в 5-6 раз. Помимо этого к использованию воды из скважин необходимо относиться с осторожностью.

В случае сильного выкачивания пресной воды из скважин, ее заменит вода морская.

Водохранилища естественного сбора сильно заилены. Это снижает их ёмкость и затрудняет полноценный водозабор. Новые водохранилища такого рода пока не создаются [1].

В настоящий момент в большинстве населенных пунктов вода потребителям подается по графику, например в такие города как Керчь, Судак, Феодосия, Ялта, Симферополь, Алушта и Евпатория и др. [2].

Для решения всех этих проблем правительство Крымского полуострова предпринимает различные действия, которые на данный период являются больше полумерами.

С другой стороны, существует серьезная проблема с очисткой сточных вод в Крыму. Так в сельских населенных пунктах фактически отсутствуют канализационные очистные сооружения или находятся в крайне неудовлетворительном состоянии и требуют ремонта [3].

Самые объемные сбросы сточных вод производятся в акватории Черного и Азовского морей осуществляются через систему канализационных очистных сооружений, мощность которых не рассчитана на такое количество населения, которое проживает в данной местности.

Анализ уже существующей ситуации с водоотведением сточных вод показал, что во всех населенных пунктах сложилась очень сложная ситуация с отведением и очисткой сточных вод. Канализационные очистные сооружения давно устарели, работают с большой перегрузкой и не обеспечивают должной очистки. Это приводит к загрязнению водоемов, морей и окружающей среды. В аварийном состоянии находятся 50% канализационных сетей и сооружений полуострова.

В связи с создавшейся обстановкой с водоотведением в Крыму видятся следующие решения проблемы:

-восстановление старых канализационных сетей и очистных сооружений;

- проектирование новых очистных сооружений, производительность которых обеспечит должную степень очистки.

Первое решение связано с большими денежными вливаниями. Для восстановления старых канализационных сетей и очистных сооружений, которые находятся в плачевном состоянии и не производят желаемой очистки сточных вод в силу целого ряда причин, нужен капитальный ремонт зданий и сооружений, который практически не выполнялся из-за отсутствия финансирования. Также проводя реконструкцию очистных сооружений нужно учитывать, что за последние годы численность населения значительно увеличилась. Теперь очистные сооружения должны принимать значительно больше сточной воды в сутки, т.е. производительность сооружений не будет соответствовать текущему моменту.

В проектировании новых очистных сооружений видится решение проблемы с очисткой сточных вод Крыма.

Проведя общий анализ ситуации с водопотреблением и очисткой сточных вод в Крыму, нами выработан комплексный подход в решении проблемы с водопотреблением и водоотведением на полуострове.

Он заключается с одной стороны:

-для обеспечения населения питьевой водой высокого качества и в достаточном количестве, кроме уже имеющихся источников водообеспечения, предлагается использование морской воды доведенной до качества воды питьевой.

Внедрение технологии подготовки воды питьевого качества из морской воды с применением мембранных методов очистки позволит обеспечить высокое качество воды получаемой. Возможно постепенное сокращение использования других действующих источников водоснабжения, канала, действующих скважин, вода которых постепенно замещается морской водой, и т.д. Данная технология уже используется в мире и дает положительные результаты.

С другой стороны:

- проектирование очистных сооружений населенных мест с использованием системы доочистки стоков. При применении физико-химических методов очистки появится возможность использовать очищенные сточные воды повторно в хозяйстве Крыма и сократит забор воды питьевого качества для этих целей.

Использование приведенного комплексного подхода водообеспечения и водоотведения в Крыму поможет решать вопросы рационального использования водных ресурсов и охраны окружающей среды полуострова.

Пристатейный библиографический список

[1]. Кудрик И.Д., Пашкина И.Г., Селиван А.Ю., Хребтова Т.В. *Комплексная оценка качества питьевой воды Керченского полуострова в аспекте устойчивого развития региона.* URL: http://library.znu.edu.ua/newbook/index.php?action=url/view&url_id=58276 (дата обращения 23.03.2015).

[2]. Пупырев Е.И. *Отчет о водообеспечении и водоотведении Республики Крым*. URL: http://www.nop.ru/upload/iblock/c0b/ Отчет%20Евгения%20Пупырева.pdf (дата обращения 23.03.2015).

[3]. Коробко М.И., Акимов О.В., Акимова Ю.М. *Водоотведение и очистка сточных вод.* 2-е изд. Хабаровск, Изд-во ДВГУПС, 2013, 137 с.

Антонова Наталья Юрьевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: iponina@yandex.ru.

Грефенштейн Елена Андреевна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: grefenshteyn1406@mail.ru.

Яковлева Ольга Владимировна - канд. техн. наук, доцент кафедры "Промышленная экология и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yakowlewaolga24@mail.ru

Д.В. Зубков, А.С. Гордеев

ГИДРОКАРБОНИЛЬНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАНЕСЕННОГО ПАЛЛАДИЕВОГО КАТАЛИЗАТОРА ДОЖИГАНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ.

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Каталитический дожигатель – устройство, предупреждающее загрязнение воздуха продуктами неполного сгорания автомобильного топлива, устанавливаемое на выхлопной системе двигателя внутреннего сгорания.

Дожигатель представляет собой керамическую сотовую структуру с развитой поверхностью, на которую нанесен тончайший слой активного вещества. Активными компонентами автомобильных катализаторов являются металлы платиновой группы (Pt, Pd, Rh), которые используются как в индивидуальном состоянии, так и в виде смесей.

Металлический палладий обладает широким спектром каталитической активности, катализируя реакции как окислительного, так и восстановительного типа. Палладий способствует протеканию процессов окисления монооксида углерода и углеводородов с образованием углекислого газа и воды, тем самым снижая содержание вредных веществ, поступающих в атмосферу.

Традиционными методами получения нанесенных катализаторов является пропитка керамической матрицы растворами платиновых металлов, с последующим восстановлением водородом в газовой фазе или водорастворимыми восстановителями (гидразин, борогидрид натрия и др.) в растворе. Детальное рассмотрение влияния предшественников, способов нанесения, характера и состояния подложки на активность и селективность нанесенных палладиевых катализаторов, а также перспективы развития исследований в этой области изложены в обзорной статье [1].

Перспективным восстановителем палладия является легко доступный в промышленности монооксид углерода. Процесс восстановления палладия монооксидом углерода с образованием палладиевой черни давно известен. Он включает ряд последовательных превращений:

$$Pd(II) \xrightarrow{CO,H_2O} Pd(II,I) \xrightarrow{CO,H_2O} Pd(I) \xrightarrow{CO,H_2O} Pd(I,0) \xrightarrow{CO,H_2O} Pd(0)$$

Суммарно процесс описывается уравнением:

$$H_2[PdCl_4] + CO + H_2O = Pd + CO_2 + 4HCl \qquad (1)$$

В водном растворе этот процесс протекает очень быстро и приводит к образованию довольно крупных частиц неопределенной формы. Если же процесс восстановления проводить в солянокислой среде или в водно-органических средах с добавлением соляной кислоты, наблюдается постепенное восстановление палладия с образованием карбонилхлоридных ком-

плексов палладия (II), смешанных комплексов Pd (II) и (I) и, наконец, Pd(I) [2]:

$$PdCl_2 + CO \rightarrow PdCOCl_2 \quad (2)$$

$$2PdCOCl_2 + CO + H_2O \rightarrow 2PdCOCl + CO_2 + 2HCl \quad (3)$$

Дальнейшее восстановление палладия до металла в условиях сильно кислой среды не происходит. Таким образом, удается остановить процесс восстановления на стадии образования Pd (I). Образующийся хлорокомплекс палладия (I) может быть выделен из раствора в виде трудно растворимой цезиевой соли бледно-желтого цвета, которая имеет состав $Cs_2[Pd_2(CO)_2Cl_4]$:

$$2PdCOCl + 2CsCl \rightarrow Cs_2[Pd_2(CO)_2Cl_4] \quad (4)$$

Под действием воды происходит распад карбонилхлоридных комплексов с выделением металлического палладия.

$$2PdCOCl + H_2O \rightarrow 2Pd + CO_2 + 2HCl \quad (5)$$

$$Cs_2[Pd_2(CO)_2Cl_4] + H_2O \rightarrow 2Pd + CO + CO_2 + 2CsCl + 2HCl \quad (6)$$

Регулируя концентрацию воды в системе, можно влиять на скорость процесса зарождения и роста частиц палладия, что позволяет получать частицы контролируемой формы, дисперсности и размера. Эти параметры оказывают первостепенное влияние на величину поверхностной энергии образующихся частиц и, следовательно, на активность катализатора.

Список используемых источников

[1]. Лисицын А.С., Пармон В.Н., Дуплякин В.К., Лихолобов В.А. Современные проблемы и перспективы развития исследований в области нанесенных палладиевых катализаторов // Рос. хим. Ж. (Ж. Рос. хим. общества им. Д.И. Менделеева), 2006, т. L, № 4, с. 140-153

[2]. Федосеев И.В., Гордеев А.С. Синтез и свойства карбонилхлоридов палладия (I). Журнал неорганической химии. 2007, №1

Зубков Дмитрий Вячеславович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: TDZ2011@yandex.ru

Гордеев Алексей Сергеевич - ст. преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: TDZ2011@yandex.ru

С.А. Кусачева, А.А. Матеров, Э.Э. Мирзоев, М.И. Морозенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время проблема поиска альтернативных направлений утилизации твердых бытовых отходов, а также оптимизация существующих технологий является весьма актуальной.

Известен ряд методов утилизации отходов, содержащих органику с получением различных продуктов, обладающих возможностью повторного использования. Однако все эти методы имеют свои преимущества и недостатки. Последние часто являются препятствием к применению технологий биоутилизации в промышленности и в быту.

Ниже приводятся результаты анализа и исследования методов утилизации отходов растительного происхождения: микробиологической утилизации и гидролиза растительного сырья.

1. Метод микробиологической утилизации

Осуществляется с применением биореакторов разных конструкций и объемов. Спектр наименований применяемых микроорганизмов также достаточно широк.

В лабораторных условиях были проведены следующие исследования.

В четыре стеклянные ёмкости-биореактора объёмом 500 мл, оснащенные системами для отвода и сбора газа, поместили образцы отходов растительного происхождения объемом 100 мл в каждую, довели водой до уровня 250 мл и добавили 25 мл (10% по объему) активного ила. Для данного опыта были выбраны образцы капусты и моркови.

При взаимодействии активного ила с образцами капусты и моркови в водной среде выделяется биогаз.

Для оценки интенсивности процесса газообразования и изучения динамики его объёма были использованы шарики, которые были герметично закреплены над пробками.

Для определения оптимальных параметров технологического процесса биореакторы с образцами были помещены в различные условия. Опыт с образцом №1 проводился при комнатной температуре, остальные образцы были помещены в термостат с температурой 37ºС.

Образцы наблюдались в течение 21 дня.

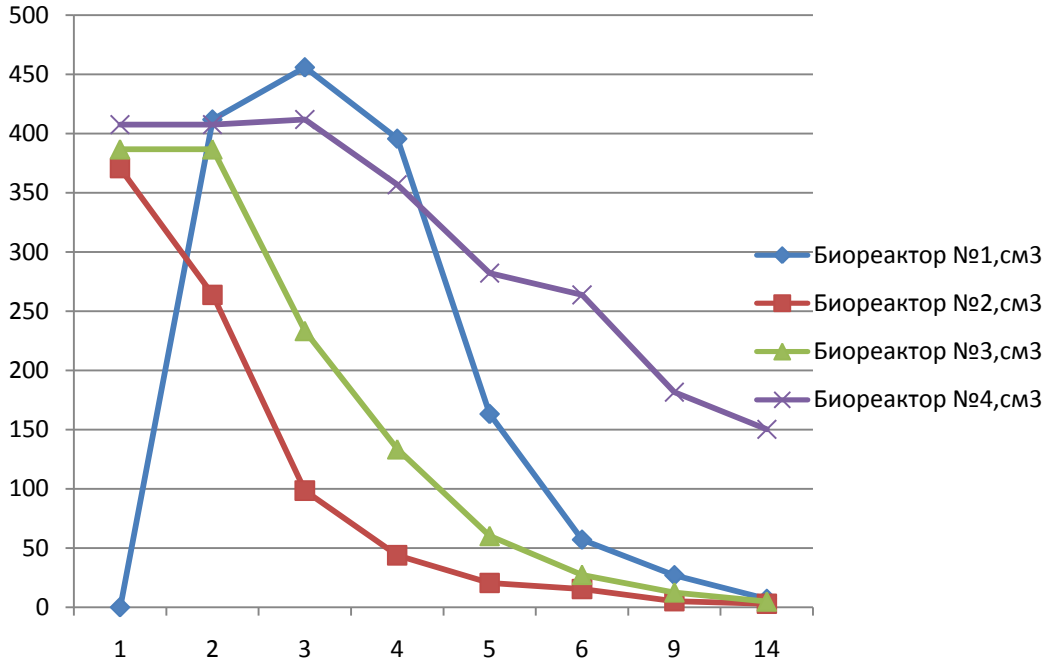


Рис. 1. Динамика объема биогаза

Таким образом, было установлено, что при комнатной температуре процесс взаимодействия активного ила с растительными отходами происходит медленнее, чем при температуре в 37ºС. Также было установлено, что бактериями активного ила быстрее и эффективнее перерабатывается капуста, чем морковь, предположительно это связано с различием химического состава и физических свойств этих овощей. Редукция сухого остатка составила для капусты – более 55%, для моркови – около 30. Процесс разложения твердой фазы (капусты) начался на 2-е сутки эксперимента и продолжался до его окончания. Процесс разложения моркови начался много позже – на 7-10-е сутки и происходил менее интенсивно. Было установлено, что бактерии ила потребляют выделенный в ходе опыта газ, т.к. объем газа в ходе эксперимента уменьшался.

В повторном эксперименте подтверждали полученные данные, а также выявляли зависимость эффективности процесса биоутилизации от концентрации активного ила. Для этого в четыре стеклянных биореактора, применяемых в предыдущем эксперименте, образцы капусты по 100 мл в каждую, довели водой до уровня 250 мл. В реактор №1 активный ил не добавляли и проводили опыт с ним при комнатной температуре (контроль). В реактор №2 внесли 25 мл активного ила, процесс осуществлялся при комнатной температуре. В реактор №3 внесли 50 мл активного ила (20% по объему) и термостатировали при температуре 37°С. В ёмкость №4 внесли 25 мл активного ила и термостатировали при температуре 37°С.

Для определения объёма выделившегося газа и скорости его образования использовались шарики, которые были герметично закреплены над пробками.

Эксперимент, как и в первом случае, проводился в течение 21 дня.

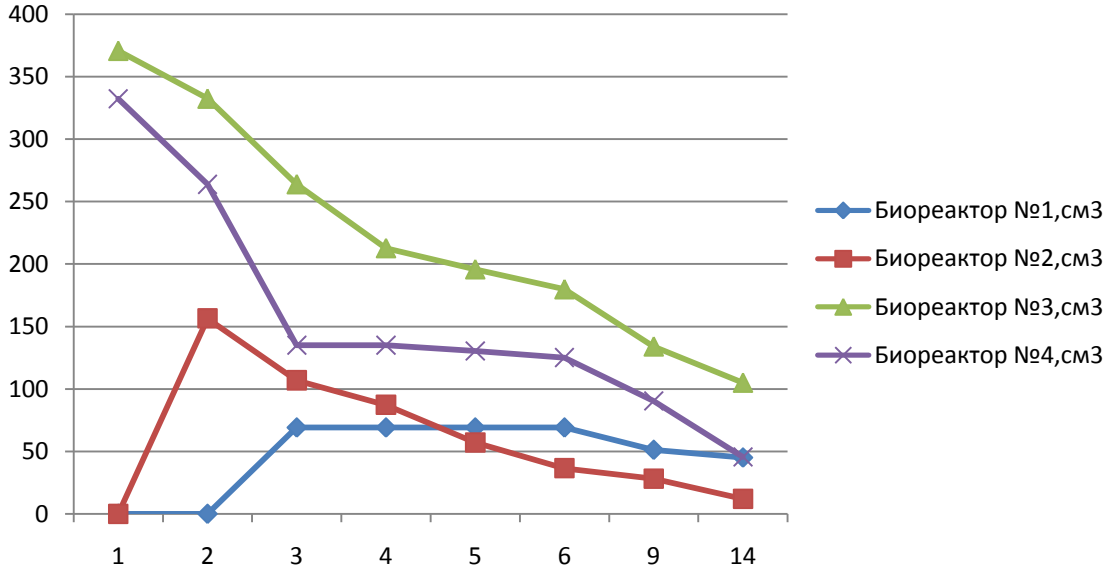


Рис. 2. Динамика объема газа

В результате эксперимента получены данные, аналогичные данным первого эксперимента. Также было установлено, что при увеличении концентрации активного ила процесс протекает несколько быстрее и объем полученного газа выше.

Эксперимент проводился с лиофилизированной ассоциацией микроорганизмов, трофически адаптированных к субстрату. Она показала такой же результат, как активный ил.

2. Метод гидролизации растительных отходов.

Взаимодействие полисахаридов непищевого растительного сырья (древесные отходы, хлопковая шелуха, подсолнечная лузга и т.п.) с водой в присутствии катализаторов — минеральных кислот. Исходное растительное сырьё обычно содержит до 75% нерастворимых в воде полисахаридов в виде целлюлозы и гемицеллюлоз, при разложении которых вначале образуются промежуточные соединения, а затем простейшие сахара — монозы. Наряду с образованием моноз происходит и их частичный распад с образованием фурфурола, органических кислот, гуминовых кислот и др. веществ. Скорость гидролиза растет с увеличением температуры и концентрации кислоты.

Наиболее распространена биохимическая переработка гидролизатов для получения белково-витаминных веществ — дрожжей кормовых. Один из важнейших продуктов гидролизного производства — этиловый спирт также получают биохимическим путём— сбраживанием гексоз гидролизатов. Современный уровень технологии позволяет получать методом гидро-

лиза из 1 т сухого древесного сырья, в зависимости от профиля производства, 220 кг кормовых белковых дрожжей или 35 кг дрожжей и 175 л этилового спирта или 105—110 кг дрожжей и 70—80 кг фурфурола.

Метод имеет ряд преимуществ:

1. Получение из растительных отходов множества полезных веществ, таких как спирты, белковые дрожи, фурфурол, которые могут применяться в различных видах хозяйства.
2. Является малоотходным процессом.

К наиболее значимым недостаткам следует отнести:

1. Сложные условия эксплуатации.
2. Технологические сложности с последующим удалением кислоты.
3. Относительная высокая себестоимость метода.

В эксперименте гидролизу подвергался сухой остаток, полученный после микробиологической утилизации растительных отходов. Применение 10% кислоты вызывало дальнейшую редукцию сухого остатка. Таким образом, оба метода могут дополнять друг друга и применяться для утилизации растительного сырья.

Нами были проанализированы возможности применения различных методов утилизации растительных отходов. Полученные данные позволяют судить о том, что их применение в различных отраслях, в частности, в сельском хозяйстве позволит получить значительный эколого-экономический эффект, снизить количество пищевых отходов и будет способствовать снижению числа несанкционированных свалок.

Кусачева Светлана Александровна – канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru

Матеров Андрей Александрович - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: materov.andrey@mail.ru

Мирзоев Эльмар Эльдарович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: elmar6@mail.ru.

Морозенко Мария Ивановна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mororzenro_mi@mail.ru.

Я.В. Котосова, М.И. Христофорова, С.Н. Никулина

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ НЕТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДАХ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Жизнь человечества не возможна без многих природных ресурсов. Одним из них является вода. Она занимает ключевое место в процессе создания и поддержания жизни на Земле, играет важную роль в химическом строении живых организмов, в формировании климата и погоды [1].

Из-забыстрого роста населения, увеличения объемов водопотребления для бытовых и промышленных нужд многие водные источники становятся невозобновляемыми. Поэтому остро стоит проблема с нехваткой воды, пригодной для потребления.

Чтобы вода соответствовала всем нормам, ее необходимо обрабатывать, применяя различные методы обеззараживания.

Современные методы обеззараживания включают в себя хлорирование и озонирование природной воды. Но они не всегда отвечают требованиям безопасности при её использовании [2].

В связи с этим, в последнее время наиболее широкое применение находят нетрадиционные методы обеззараживания. Они включают в себя:

- нагрев воды до высоких температур (кипячение);
- применение СВЧ-излучения;
- применение сильных окислителей (перманганат калия);
- обработку воды ультразвуком;
- обработку воды электрическим разрядом;
- обеззараживание воды в магнитном поле;
- применение УФ-излучения;
- применение ионизирующего излучения [3].

В данной статье будут рассмотрены три наиболее часто применяемые нетрадиционные методы обеззараживания: применение СВЧ-излучения, УФ-излучения и ионизирующего излучения.

При СВЧ-облучении воды наблюдается эффект ее «самопросветления». Применение только микроволновой водообработки не обеспечивает достижения требуемого качества воды. Такая обработка приводит не только к разрушению содержащихся в ней микроорганизмов, но и к активации органических включений с образованием высокомолекулярных соединений [4]. Очень часто характер воздействия этих соединений не предсказуем и может привести к серьезным последствиям [5].

Ультрафиолетовое излучение представляет собой форму оптического излучения с длинами волн от 0,38 мкм до 100Å. Его биологическое дейст-

вие заключается в фотохимических процессах молекул биополимеров, возникающих в процессе поглощения верхними слоями тканей растений или кожи животных и человека падающего излучения.

В отличие от хлорирования или озонирования при правильном выборе источника и дозы ультрафиолетового излучения обработка воды не сопровождается изменением ее химического состава или появлением токсичных побочных продуктов или мутагенной активности.

Процесс ультрафиолетового излучения не требует введения в воду химических реагентов, не изменяет физико-химических свойств и не влияет на вкусовые качества воды.

Применение такого метода облучения эффективно лишь на водоочистных станциях небольшой производительности в виду его высокой стоимости.

Несмотря на все преимущества, обеззараживать ультрафиолетовыми лучами лучше всего очищенную прозрачную воду, т.к. взвешенные и коллоидные примеси рассеивают свет и препятствуют проникновению ультрафиолетовых лучей.

В связи с несовершенством выше перечисленных методов необходимо применять и другие источники излучения, которые будут эффективно обеззараживать и очищать исходную воду без образования ядовитых веществ.

К одному из таких источников относится лазерное излучение. Лазерное излучение – электромагнитное излучение оптического диапазона, источником которого являются оптические квантовые генераторы – лазеры [4].

Лазеры - это современные источники когерентного излучения, которые обладают рядом уникальных свойств:

- монохроматичность (одноцветность) - электромагнитные колебания имеют одинаковую частоту и длину волны;
- когерентность - совпадение фаз электромагнитных колебаний;
- поляризация - фиксированная ориентация векторов электромагнитного излучения в пространстве относительно направления его распространения;
- направленность - малая расходимость потока излучения.

К основным элементам лазерной водоподготовки относятся магнитные и лазерные активаторы, магнитомеханические фильтры.

Лазерный активатор состоит из лазерного излучателя ультрафиолетового, синего, красного, и инфракрасного спектров. Воздействие когерентного лазерного излучения приводит к гибели микроорганизмов и бактерий, содержащихся в воде, а также реализации процесса радиолиза, обеспечивающего перевод ионов тяжелых металлов в кластеры и наночастицы этих металлов [4].

Активным веществом в газовом лазере является газ, но также имеются лазеры, в которых активное вещество жидкость. Все это влияет на вид излучения лазера, оно может быть в виде молниеносных отдельных импульсов и быть непрерывным.

Установлено, что ионизирующее излучение при водоподготовке оптимально воздействует на природную воду, так же снижается содержание микроорганизмов. Такая вода может использоваться для питьевых нужд.

Исходя из выше сказанного, следует отметить, что современные нетрадиционные методы обеззараживания наиболее качественны при водоподготовке. Но так как на сегодняшний день они все-же остаются дорогостоящими, их применение будет рациональным в комбинации с традиционными методами. При этом можно будет достичь наиболее лучших показателей очищенной воды.

Литература

[1]. Вода это жизнь. URL:http://www.vodainfo.com/ru/about_water.html (дата обращения 23.03.2015).

[2]. Методы очистки и обеззараживания воды. URL: http://ria.ru/documents/20091028/191037571.html (дата обращения 23.03.2015).

[3]. Нетрадиционные методы обеззараживания воды. URL: http://edu.dvgups.ru/METDOC/ITS/GIDRA/VODOSN/METOD/SOSHNIKOV/11.htm (дата обращения 24.03.2015).

[4]. Яковлева О. В. *Технико-технологические основы совершенствования водоподготовки во вспомогательных цехах радиоэлектронного производства.*Дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2008.

[5]. Князев В.Ю., Коссый И.А, Малых Н.И., Ямпольский Е.С. Институт Проникновение микроволнового излучения в воду. *Журнал технической физики*, 2003, №11, с. 133-136.

Котосова Яна Владимировна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kotosowa.ya@yandex.ru.

Христофорова Мария Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maskaApril@Yandex.ru.

Никулина Светлана Николаевна – канд. техн. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: voinsveta579@mail.ru.

Я.В. Котосова, М.И. Христофорова, Е.О. Карева

МЕТОДЫ УТИЛИЗАЦИИ ШИН И ПОКРЫШЕК

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Значительную угрозу для окружающей среды нашей планеты представляют сложно утилизируемые, иногда токсичные отходы промышленности.

Поэтому в настоящее время актуальной проблемой является переработка и утилизация бытовых отходов. К ним можно отнести:

- твердые бытовые отходы (ТБО);
- изношенная сложная бытовая техника;
- отходы от ремонта жилого фонда.

В нашей статье мы бы хотели обзорно рассмотреть методы переработки и утилизации изношенных покрышек и шин, которые непосредственно относятся к отходам изношенной сложной бытовой техники.

На сегодняшний день практически у каждой семьи есть один или несколько автомобилей. Поэтому ежегодно происходит увеличение темпов роста объемов резинотехнических изделий и изношенных шин во всем мире.

В России образуется около 1 млн т изношенных автомобильных покрышек в год, но на переработку попадает только 5-7% от этого объема, по данным ассоциации «Шиноэкология». В Московском регионе доля утилизируемых покрышек немного выше, около 15%, при общем объеме потенциального сырья 122000-125000 т в год.По действующему в России законодательству изношенные шины захоронению на полигонах (равно как и сжиганию) не подлежат[1].

Кроме того, имеется ещё ряд проблем, связанных с низким уровнем информированности граждан, отсутствием системы сбора отходов, базы данных эффективныхтехнологий по их переработке.

Главной задачей на сегодняшний день является создание пунктов приема отработанных шин и покрышек с дальнейшей их переработкой и утилизацией. Для реализации этой задачи существуют различные методы. Рассмотрим самые основные из них.

К методам утилизации шин относятся:

1. Химический метод, включающий в себя два способа: прямое сжигание и высокотемпературную переработку.
   - Прямое сжигание осуществляется непосредственным сжиганием утилизируемых шин.Резина имеет большую теплотворную способность. Автошины (грубоизмельченные или целые) сжигаются в топках на ц/бумажных комбинатах, цементных заводах и т.д.

Тепло от сжигания может использоваться для получения пара или горячей воды.

– Высокотемпературным способом осуществляется переработка шин с помощью пиролиза.При нем происходит разложение органических веществ при высокой температуре, для чего применяется соответствующее оборудование для переработки шин – пиролизная установка, измельчителии т.д. Разрезанные шины подвергаются действию высокой температуры - 500°С…900°С.

При этом образуются:

– Полукокс;
– Масло;
– Сажа (графит);
– Пиролизный газ.

Эти методы имеют большие недостатки, особеннопервый: загрязнение окружающейсреды, потеряценноговторичного сырья, каким являются автошины, а также большая стоимость оборудования.

2. Физический метод - основан на механическом измельчении, при этомполучают резиновую крошку (порошковая резина), которая имеетбольшой спрос у потребителей.

Этот порошок может использоваться для изготовления:

– автомобильных покрышек;
– резинотехнических изделий;
– кровли для крыш;
– шпал, подкладок под рельсы;
– плиток для тротуаров, спортивных и детских площадок;
– добавок в асфальтобетонные покрытия дорог.

Для решения вопроса утилизации, нужно выбрать оборудование для переработки шин, которое зависит от способа обработки. В домашних условияхутилизация шин не имеет смысла, их лучше сдать или использовать для благоустройства территории (клумбы, дорожки).

Технологический процесс переработки шин включает в себя 4 основных этапа:

1. резка на куски;
2. дробление кусков;
3. отделение корда (металлического и текстильного);
4. получение резинового порошка.

Физическая переработка автомобильных шин в крошку полностью сохраняет исходные свойства и структуру каучука и других составляющихавтомобильных шин. Это допускает их повторное использование, например, для изготовления тех же автопокрышек, РТИ.

В заключении хотим отметить, что утилизация покрышек в России является актуальной задачей и практически неосвоенной областью для

бизнеса. Из всех методов, указанных нами выше, самым целесообразным и популярным является - физический метод. А химические методы наносят наибольший вред окружающей среде, особенно прямое сжигание.

Список используемых источников

[1]. Переработка шин: перспективный бизнес, который предстоит создать.URL: http://www.vedomosti.ru/auto/news/12479771/gora_pokryshek (дата обращения 14.04.2014).

[2]. Особенности бизнеса по переработке шин. URL: http://zarabotay-dengy.ru/biznes-idei/pererabotka-shin-oborudovanie-utilizatsiya-pokryishek-zavod.html (дата обращения 14.04.2014).

Котосова Яна Владимировна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kotosowa.ya@yandex.ru.

Христофорова Мария Игоревна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maskaApril@Yandex.ru.

Карева Евгения Олеговна - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kareva_zhenya1994@mail.ru.

М.А. Смельцов, А.В. Челенко, Ю.М. Жукова

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЦЕХОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КЛАСТЕРА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время Калужская область вошла в число регионов РФ, где доминирующее положение занимают обрабатывающие производства. Продукция промышленного производства представлена турбинами и турбогенераторами, газотурбинными двигателями грузовыми и легковыми автомобилями, измерительными приборами, фармацевтической продукцией и особенно бурно развивающимися в последние годы изделиями радиоэлектроники и приборостроения: электронной и коммутационной аппаратурой связи, материалами, микросхемами, операционными усилителями, лазерными диодами и другими изделиями для оборонно-промышленного комплекса [1]. Калужский радиоэлектронный кластер представлен ОАО «Калугаприбор», ОАО «КЭМЗ», ОАО «Тайфун», ОАО «Восход-КРЛЗ», ОАО «Биметалл», ОАО «КЗАЭ», ОАО «КТЗ», ОАО «КНИИТМУ», ООО КУПП «Сигнал» ВОС» и др.

Структура крупных предприятий радиоэлектронного профиля такова, что цеха основного производства доминируют как по численности работающего в них персонала, так и в части оснащения их современным технологическим и аналитическим оборудованием. Вспомогательные цеха, где вырабатываются энергоресурсы, сосредоточено оборудование по очистке сточных вод и по сбору и удалению с предприятий твердых жидких отходов производства, автотранспорт, лаборатории промсанитарии и т.д. до последнего времени не были объектом потенциального внимания руководителей и специалистов акционерных обществ, в том числе и радиоэлектронных производств.

Однако необходимость снижения затрат на единицу выпускаемой продукции, диктуемая современными рыночными механизмами и ужесточение природоохранного законодательства вынудили специалистов искать резервы такого снижения уже не только в цехах основного производства, но и во вспомогательных. Именно во вспомогательных цехах акционерных обществ Калужского радиоэлектронного кластера ведется работа с твердыми и жидкими отходами производства и с образующимися ситочными водами. Так с введением более точного приборного учета стоков от абонентов радиоэлектронного кластера общий объем стоков в поверхностные водные объекты с 2012 года сократился. Однако по данным базовой лаборатории контроля сточных вод ООО «калужский областной водоканал», 80 % наиболее загрязненных стоков сбрасывали ОАО «Тайфун», ОАО «КЭМЗ», ОАО «КЗАЭ» и др. [1].

В то же время в акционерных обществах Калужского радиоэлектронного кластера накапливается огромное количество отходов производства, в том числе жидких химических веществ органического происхождения – десятки тонн.

В производстве продукции предприятий радиоэлектронного профиля используются различные виды легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). После использования, согласно, существующих правил обращения с ними, ЛВЖ собираются в одну общую емкость. В соответствии с количеством образовавшихся отходов ЛВЖ, собственник производит оплату по статье «образование отходов производства». Каждое предприятие направляет собранные отходы ЛВЖ на утилизацию специализированным фирмам по заключенному с ним договору, оплачивая, таким образом, и данную природоохранную операцию. [2].

Такой порядок обращения с ЛВЖ и их отходами, несмотря на резкий рост в последние годы объемов производства на предприятиях радиоэлектронного профиля способствовал стабилизации уровня загрязнения окружающей среды органическими веществами. [1].

Однако, при всё возрастающих объемах образования отходов ЛВЖ платежи по статье «образование отходов производства» и стоимость «утилизации отходов ЛВЖ» приводят уже к значительным финансовым потерям у производителей радиоэлектронной продукции. Не в выигрыше находятся и региональные переработчики отходов ЛВЖ, такие как, например ЗАО ОНПЭЦ «Регион-Центр-Экология», поскольку утилизация жидких органических растворителей требует разработки уже серийных технологий и уникального оборудования [3], хотя, на выше перечисленных акционерных обществах образуются и собираются десятки тонн отходов ЛВЖ.

Поскольку, несмотря на демонстрируемые время от времени, достижения нетрадиционной энергетики, процент ее пока незначителен в общем энергетическом производстве из-за ряда еще пока не решенных проблем [4]. Целесообразно было бы отходы ЛВЖ превратить в полезный продукт, скажем в традиционное топливо для автомобилей или устройств для выработки электроэнергии, но непосредственно на предприятиях, где такие отходы образуются. На этих предприятиях, как уже отмечалось, имеются все возможности для реализации таких процессов, поскольку там имеются, наряду с основными цехами по производству изделий радиоэлектроники и приборостроения еще и цеха по выработке теплоэнергетики и других энергоресурсов, очистки сточных вод, автотранспорта и т.п.

Это позволит предприятиям не только сократить неэффективные финансовые расходы, которые были упомянуты выше, но и получить полезный эффект от нового вида продукции, если конечно, превращение отходов ЛВЖ не будет столь затратным. [2].

К проблеме можно подойти поэтапно. Так перспективными отходами ЛВЖ на предприятиях радиоэлектронного профиля являются: изопропиловый спирт, этиловый спирт, спирто-ацетоновая широко используемая смесь (50:50).

На первом этапе целесообразно утилизировать и собирать непосредственно в цехах – изопропиловый спирт, а на втором смесь: изопропанол – ацетон – этанол + диэтил – формамид. Исходя из этого, что в РФ действует стандарт (ГОСТ 51866-202, ред. 2011 г.) в автомобильном топливе допускается содержание оксигенатов, в том числе изопропанола, до 10 % об. Без добавления стабилизирующих присадок. Кроме того в РФ выпускается топливный изопропанол, с содержанием воды до 0,5 % об. Смесь изопропанол (10 % об.) – бензин (90 % об.) устойчива во времени в интервале температур 24…45 ^{0}C. Отходы ЛВЖ содержат влаги не менее 0,5 % об. (по данным анализа). Топливо с добавлением изопропилового спирта обладает моющим эффектом по отношению к масляно-битумным загрязнениям топливной и выпускной систем автомобиля. Выше приведенные рассуждения дают основание предположить нижеследующую схему исследований и реализацию их результатов.

Известно, что изопропиловый спирт (изопропанол), ограничено растворяется в воде и неограниченно в бензине, а это означает, что добавление его в бензин будет способствовать связыванию находящийся в топливной системе автомобиля влаги (независимо от причин образования там водного конденсата), защищая тем самым эту систему от коррозии и «ледяных пробок» в зимнее время года. Второе преимущество добавки изопропанола в бензин не менее важно: введение до 2,5 % (по объему) изопропанола в бензин марки «Регуляр-92» повышает октановое число смеси на 1 единицу. Это значит, что при добавлении 10 % по объему изопропилового спирта в такой бензин увеличит его октановое число до 95…96 единиц.

Есть третье преимущество от добавки отходов ЛВЖ (в частности изопропанола) в бензин – это повышение полноты сгорания (эффективности) топливно-воздушной смеси в цилиндрах двигателя автомобиля за счет более полного окисления бензина, что позволяет снизить расход топлива до 10 %.

Ориентировочно схема доработки отходов ЛВЖ от радиоэлектронного производства с учетом [5] может быть построена нижеследующим образом.

При выполнении экспериментов использовались стандартные фильтры тонкой очистки на операциях вывода из состава отходов ЛВЖ механических частиц и прочих примесей и морозильная камера бытового холодильника, позволяющая изменять температуру в диапазоне -20^{0}C ÷ -60 ^{0}C, после частичной ее модернизации. При этом в смесь добавляли 10…20 % по объему бензина, а после образования осадка (либо льда) жидкую смесь (1^1, 2^1, 3^1) направляли по назначению, так же и ЛВЖ, не содержащие воды (1^{11}, 2^{11}, 3^{11}).

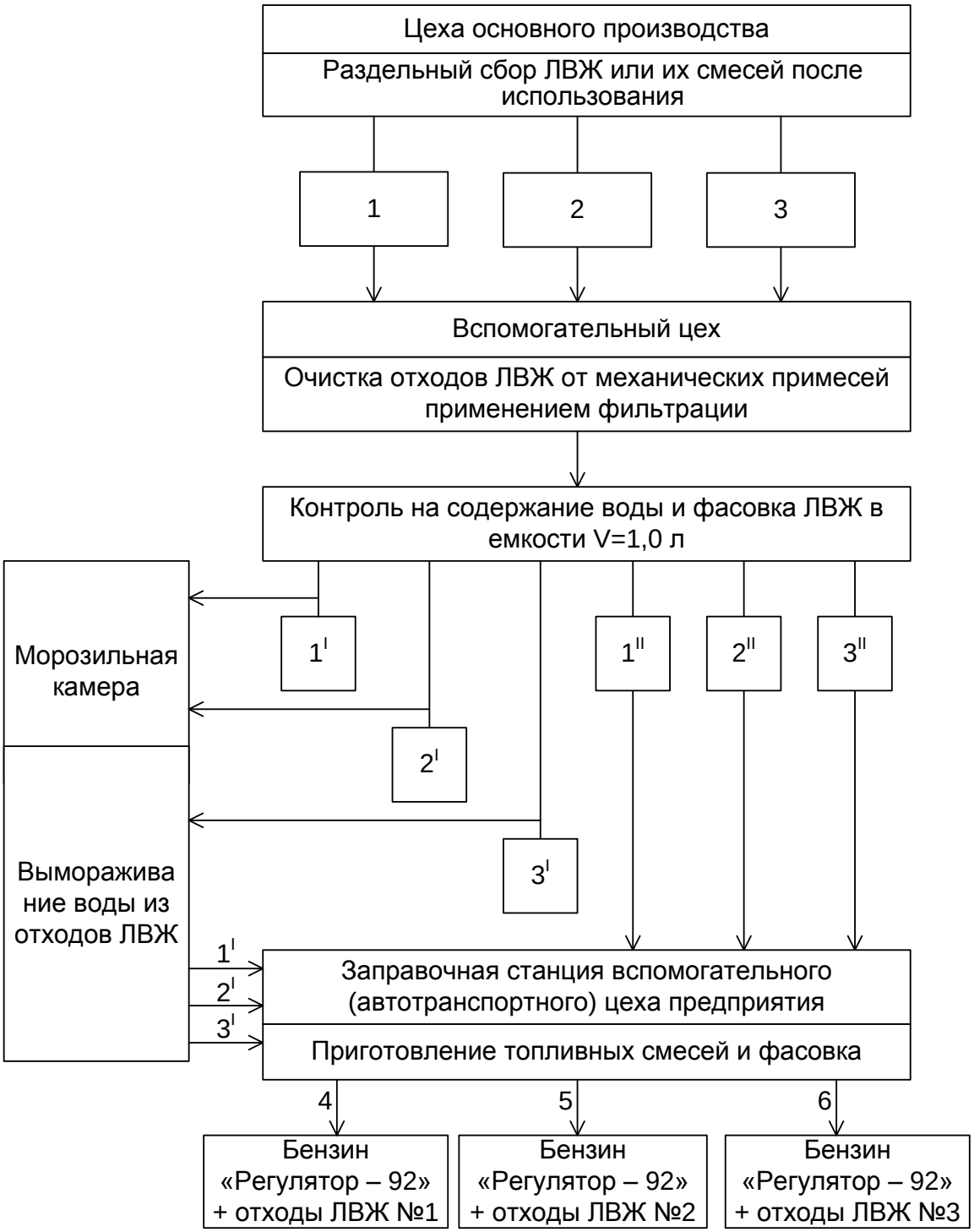


Рис.1. Схема повторного использования отходов ЛВЖ основного производства путем переработки и применения их во вспомогательных цехах предприятия радиоэлектронного профиля:
1 – отходы изопропанола, 2 - отходы смесь «изопропил – ацетон - этанол», 3 – отходы смесь «ацетон – этанол – диметилформамид», 4 – автомобильное топливо с изопропилом, 5 – автомобильное топливо со смесью «изопропил – ацетон - этанол», 6 - автомобильное топливо со смесью «ацетон – этанол – диметилформамид».

Опробование таких смесей на автомобилях вспомогательного цеха дало возможность рекомендовать топливную смесь № 4 (с изопропиловым спиртом) по крайней мере для использования ее в сезон «весна, лето, осень». При этом CO и C_xH_y в выхлопных газах экспериментальных автомобилей было ниже (~ на 19 %), чем для контрольных (с топливом – бензин «регулятор-92»).

На всех топливных смесях № 4, № 5 и № 6 (см. схему) при их испытаниях замечено увеличение октанового числа и стабильность работы двигателей.

Таким образом, ожидаемые три положительных эффекта от применения отходов ЛВЖ в топливных смесях (пока в сочетании с бензином марки «Регулятор-92») полностью подтвердились.

Список используемых источников

[1] Доклад о состоянии природных ресурсов и охране окружающей средына территории Калужской области в 202 году. Калуга: ОАО «Типограф», 2013 – 368 с.

[2] Смельцов М.А., Маркелов Н.П., Челенко А.В. Один из аспектов повышения технико-экономической эффективности вспомогательных цехов предприятия радиоэлектроники // «Наукоемкие технологии в приборо – и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 25-27 ноября, 2014 г. Т 2. - М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. с. 223 – 225.

[3] Задонская А.И. Регенерация органических растворителей // Состояние и охрана окружающей среды в г. Калуге: Информационный обзор. Калуга: ООО фирма «Экоаналитика», 2014. с.14.

[4] Коржавый А.П. Проблемы зарубежной и отечественной нетрадиционной электроники // Наукоемкие технологии, 2012, т. 13. № 2. с. 73-78.

[5] Смельцов М.А. Технико-экономические аспекты применения оксигенатов в топливных смесях // Наукоемкие технологии в приборо - и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗе: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 30 ноября – 2 декабря, 2011 г. Т 1. - М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. с. 215– 219.

Смельцов Михаил Андреевич - заместитель главного технолога, канд. техн. наук. E-mail: fn2kf@list.ru.

Челенко Александра Викторовна – ст. преп. КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fn2kf@list.ru.

Жукова Юлия Михайловна – канд. техн. наук, заместитель заведующего кафедрой по научной работе КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: zjuliam@hotmail.com.

С.А. Кусачева, И.И. Сащенко, М.Е. Сафронова, А.И. Лисенко

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ МТЭЛ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Топливная ячейка (**FuelCell**) - это устройство, превращающее химическую энергию в электрическую. Она похожа по принципу действия на обычную батарейку, но отличается тем, что для ее работы необходима постоянная подача извне веществ для протекания электрохимической реакции.

В топливные элементы подаются водород и кислород, а на выходе получают электричество, воду и тепло. К их достоинствам относится экологическая чистота, надёжность, долговечность и простота эксплуатации. В отличие от обычных аккумуляторов электрохимические преобразователи могут работать практически неограниченное время, пока поступает топливо. Их не надо часами заряжать до полной зарядки. Более того, сами ячейки могут заряжать АКБ во время стоянки автомобиля с выключенным мотором.

Наибольшее распространение в водородомобилях получили топливные ячейки с протонной мембраной (PEMFC) и твердооксидные топливные ячейки (SOFC).

В своей работе топливные элементы используют водородное топливо и кислород из воздуха. Водород может подаваться непосредственно или путем выделения его из внешнего источника топлива, такого как природный газ" бензин или метанол. В случае внешнего источника его необходимо химически преобразовать, чтобы извлечь водород. Этот процесс называется "реформингом".

Водород можно также получить из аммиака, альтернативных ресурсов, таких как газ из городских свалок и от станций очистки сточных вод, а также путем электролиза воды, при котором для разложения воды на водород и кислород используется электроэнергия. В настоящее время большинство технологий топливных элементов, применяемых на транспорте, используют метанол.

Преимущества топливных элементов:

• Это бесшумные источники энергии (топливный элемент сам по себе не имеет движущихся частей);

• Возможность использования различных видов топлива;

• Широкий диапазон мощностей от >1 до 10000 кВт;

• Быстрая реакция на переменные нагрузки;

• Высокая надежность и безопасность низкотемпературных устройств;

• Экологическая чистота;

• Модульная конструкция, позволяющая относительно легко наращивать мощность уже имеющихся энергетических установок с ТЭ.

• Возможность параллельной генерации тепла

• При необходимости можно использовать воду, которая является продуктом химической реакции

Недостатки топливных элементов:

• Требуют дорогостоящих катализаторов (платина), либо нагрева свыше 500ºС.

• Необходимо дальнейшее развитие водородной энергетики (объем промышленного производства водорода должен быть сравнимым с производством бензина) и технологии производства топливных элементов.

• Наиболее распространенный на сегодняшний день топливный элемент использует чрезвычайно ядовитый метанол в качестве топлива.

Материалы для топливных элементов

В качестве топлива для топливной ячейки применяется водород, метанол и этанол. Водород – идеальное топливо для ТЭ. Его преимущества:

• Химически активный

• Экологически чистый – при его окислении образуется вода

• Удовлетворяет условию легкого подвода в топливный элемент и отвода продуктов реакции из ТЭ.

• Оптимальный источник – вода, электролизом которой чистый H2 может быть получен (процесс энергоемкий)

Недостатки:

• при низких температурах необходим чистый водород

Метанол

Преимущества:

• Метанол поступает в топливный элемент напрямую, каталитический риформинг (разложение метанола) не нужен

• Хранить метанол гораздо проще, чем водород, поскольку нет необходимости поддерживать высокое давление, так как метанол при атмосферном давлении является жидкостью.

• Энергетическая ёмкость (количество энергии в данном объеме) у метанола выше, чем в таком же объеме сильно сжатого водорода (современные баллоны высокого давления, позволяющие хранить водород при 800 атм., содержат 5-7 весовых % водорода по отношению к общей массе баллона). Для метанола 13% и является максимальной из всех известных систем хранения топлива для топливных элементов

Недостатки:

• Метанол ядовит.

• Использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне как собственно установок, так, и получаемого электричества

Этанол

Преимущество:

• Такие же преимущества, что и у метанола (характеристики этанола ниже)

• Низкая токсичность и возможность производства из биомассы.

• Создание катриджного питания электротехнических устройств

Недостатки:

• Низкая активность как катодных так и анодных систем для ТЭ спирт-воздух

• Увеличение количества катализаторов и толщины МЭБ

• Использование в качестве катализаторов драгоценных металлов (платиноидов), что ведет к дороговизне как собственно установок, так, и получаемого электричества

В настоящее время в связи с поиском альтернативных возобновляемых источников энергии много внимания уделяется возможностям использовать МТЭЛы для получения электричества в процессе обработки органических отходов пищевой промышленности, сельского хозяйства, муниципальных сточных вод.

В настоящее время запатентован ряд конструкций МТЭЛов работающих на сточных водах.

Общим недостатком МТЭЛов является высокое внутреннее сопротивление и не достаточно эффективное окисление протонов на катоде. Увеличению плотности тока способствует улучшение контакта микроорганизмов с электродом (пористые электроды) и максимальное снижение внутреннего сопротивления путем сближения электродов.

Одним из принципиальных достижений в конструировании МТЭЛов явилась замена катода погруженного в жидкость и аэрируемого, на катод использующий кислород воздуха, т.е. это пористый катод, экспонированный одной стороной в жидкость, другой на воздух. Эффективность таких МТЭЛов существенно выше традиционных. В конструкциях МТЭЛ применяют протонообменные мембраны, выполняющие следующие функции:

• Перенос протона

• Разделение электродных областей

• Конструкционный материал

Основные требования, предъявляемые к материалам для полимерных электролитов:

- высокая ионная (протонная) проводимость;
- устойчивость в окислительно-восстановительных средах, в том числе при повышенных температурах;
- индифферентность по отношению к применяемому катализатору, носителем для которого служит материал;
- низкая проницаемая способность по отношению к используемому топливу или его компонентам и окислителю (водороду, метанолу, кислороду и др.);
- механическая прочность;
- способность удерживать воду в условиях эксплуатации, поскольку перенос протонов происходит в гидратированной форме мембраны;

• стабильность характеристик в условиях длительной эксплуатации (десятки тысяч часов);

• Электроизолирующие свойства;

• Относительно низкая стоимость (может составлять до 90% стоимости МТЭЛ)

• Важное условие работы МТЭЛ – создание анаэробных условий в камере анода

В качестве наиболее перспективных рассматриваются работы, связанные с получением объемно модифицированных гибридных материалов типа органика/неорганика, широко используемых в альтернативной энергетике. Работы, связанные с модификацией высокомолекулярных мембран наноразмерными присадками, оказались более перспективными, и число исследований в этом направлении крайне быстро нарастает в течение последних лет.

Таблица 1. Основные характеристики некоторых катионообменных мембран

Мембрана	Фирма производитель	Тип мембраны	Ионообменная емкость, мг-экв/г	Набухание, %	Ионная проводимость, Ом-1см-1
Nafion-117	Du Pont, США	гомогенная	0.9-1.0	<20	0.012 (0.5 M NaCl), 0.03 (0.5 M HCl)
МФ-4СК	«Пластполимер», Россия	гомогенная	0.9-1.0	20	0.008 (0.5 M NaCl)
Ralex CM	Mega, Чехия	гетероген.	2,2	<50	>0.0062
МК-40	«Щекиноазот», Россия	гетероген.	2,2	30 ± 5	0.007 (0.5 M NaCl)

Чаще всего рассматривается наиболее простой путь введения нанодисперсных частиц в раствор, из которого производится отливка мембраны. Однако этот способ не всегда оказывается успешным, поскольку мелкодисперсные частицы склонны к формированию агрегатов, которые далеко не всегда разрушаются при переходе в раствор. Это существенным образом снижает эффективность модификации. В связи с этим в некоторых случаях рассматривается под-ход, связанный со стабилизацией их поверхности различными поверхностно-активными веществами [119, 120]. В случае мембран и этот подход не всегда оказывается целесообразным, поскольку сорбированные на поверхности частиц поверхностно-активные соединения сложно удалить из уже сформированной мембраны. С другой стороны, имеющиеся в мембранах нанопоры могут эффективно сорбиро-

вать исходные реагенты и ограничивают реакционный объем. Стенки мембран могут эффективно изолировать сформированные частицы друг от друга и снижать силы поверхностного натяжения, обеспечивая термодинамическую стабильность формирующихся наночастиц. Таким образом, еще одним перспективным методом получения гибридных материалов является синтез наночастиц непосредственно в порах мембран. В этом случае поры выступают в роли своеобразных нанореакторов.

К преимуществам гибридных мембран можно отнести улучшение механических свойств, селективности ионной проводимости.

Принципиально иные результаты достигаются в случае допирования неорганическими присадками гомогенных ионообменных мембран МФ-4СК. В данном случае, наряду с увеличением ионной проводимости мембран удалось добиться улучшения селективности транспортных процессов.

В случае гетерогенных мембран крупные частицы, образующиеся в макропорах, локализованных между ионообменной смолой и инертным связующим, имеют существенно меньшую удельную поверхность и создают сравнительно небольшую площадь новых границ раздела с фазой ионита, за счет которых происходит изменение процессов переноса. Это существенно снижает эффективность допирования. Кроме того, высокие температуры синтеза кислого фосфата циркония могут приводить к деградации структуры мембраны МК-40, которая по сравнению с МФ-4СК является менее термостабильной. Об этом могут свидетельствовать, в частности, некоторое понижение механической прочности и увеличение доли фазы раствора, локализованного в порах мембран.

Список использованных источников:

[1]. A.V. Herring J. Macromolecular Science (Part C: Polymer Reviews) 46: 245–296 (2006)

[2]. Tildon H. GlissonIntroduction to Circuit Analysis and Design. — Springer, 2011. —P. 768. — ISBN 9789048194421

[3]. Багоцкий В.С., Осетрова Н.В., Скундин А.М.// Электрохимия, 2003.39, №9, с. 1027.

Кусачева Светлана Александровна – канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru.

Сащенко И.И. – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: i709@ya.ru.

Сафронова М.Е. – учащаяся МБОУ "Лицей №9 им. К.Э. Циолковского г. Калуги". E-mail: safronova2@mail.ru.

Лисенко Алена Игоревна – учащаяся ГБОУ "Средняя школа № 13 г. Калуги". E-mail: alen.lisenko2010@yandex.ru.

В.Е. Короткова, С.А. Кусачева

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ЖИДКИХ СРЕД

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

В настоящее время применение альтернативных методов получения электричества является одной из важнейших задач. Одним из перспективных методов является получение биоэлектричества. Сейчас существуют технологии, использующие микробные топливные ячейки (microbial fuel cell или MFCs), которые преобразовывают энергию, запасенную в химических соединениях органического состава в электрическую энергию, в результате жизнедеятельности микроорганизмов. По существующим экспериментальным данным, бактерии могут использоваться в MFCs для производства электричества при выполнении биологического распада органических отходов, например, из сточных вод. Бактерии, использующиеся в данной технологии, осуществляют свою жизнедеятельность за счет прямого внеклеточного транспорта электронов, в том числе и на электроды. Они получили название «электрогенов». Производство электричества осуществляется в устройствах, названных микробиологическими топливными элементами – МТЭЛами (microbial fuel cells или MFCs). В состав МТЭЛа входит 3 основных элемента: анодная камера, катодная камера и разделяющая их ионоселективная мембрана, способная пропускать протоны водорода лишь в одном направлении, из анодной камеры в катодную. Микроорганизмы, производящие электричество, находятся в анодной камере, в которой поддерживаются анаэробные условия. Катод находится в аэробных условиях. Суть работы МТЭЛа заключается в "отрыве" микроорганизмами электронов от субстрата питания и передача их на анод. Электроны под действием разности окислительно-восстановительных потенциалов начинают двигаться к катоду, на котором происходит восстановление кислорода с образованием воды. Одновременно с отрывом электронов от субстрата происходит образование протонов водорода, которые проходят через ионноселективную мембрану из анодной камеры в катодную, где и соединяются с кислородом с образованием воды.

Целью работы являлась разработка проекта устройства, которое может одновременно служить как для отбора проб сточных вод, так и для определения их биоэлектрического потенциала.

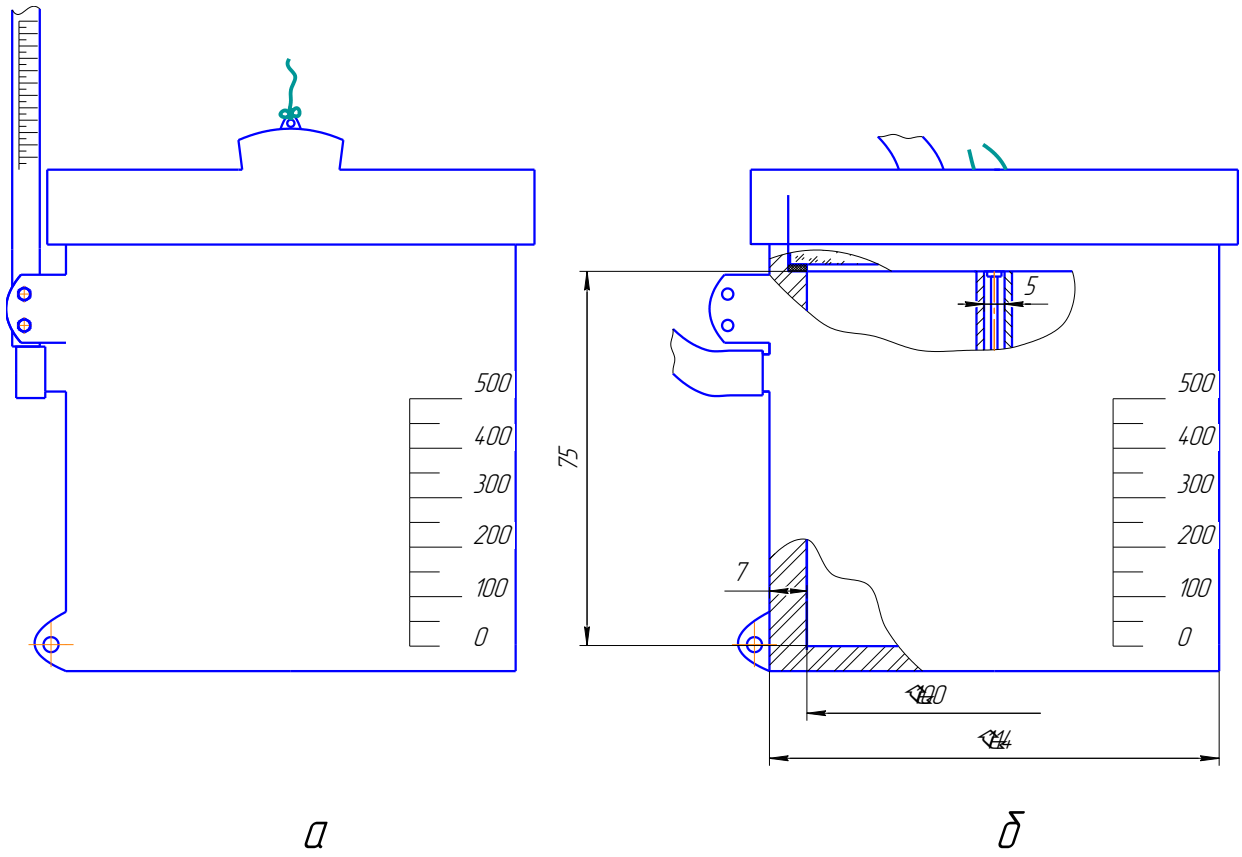
Согласно ГОСТ Р 51592-2000 для отбора твердых и полужидких проб используют кружки или бутыли с широким горлом, снабженные пробками. В ходе данной работы была усовершенствована конструкцию существующих емкостей и разработана конструкция универсального устройства,

позволяющего не только отбирать пробы воды, но и определять ее биоэлектрический потенциал.

Таблица 1 – Основные параметры технологического процесса получения биоэлектричества

Параметр	Значение
диапазон рабочих температур, ^{0}C	25 – 37
избыточное давление, МПа	не более 0,1
pH среды	7-7,5
режим	анаэробный или микроаэрофильный

Внешний вид устройства показан на рисунке 1.



а б

Рисунок 1 – Внешний вид устройства для определения биоэлектрического потенциала жидких сред: а – модификация для отбора проб воды, б – модификация для определения биохимического потенцила

Конструкция устройства представлена на рисунках 2 и 3. Рисунок 2 показывает модификацию, служащую для отбора пробы воды. На рисунке 3 представлена модификация, позволяющая определять биоэлектрический потенциал.

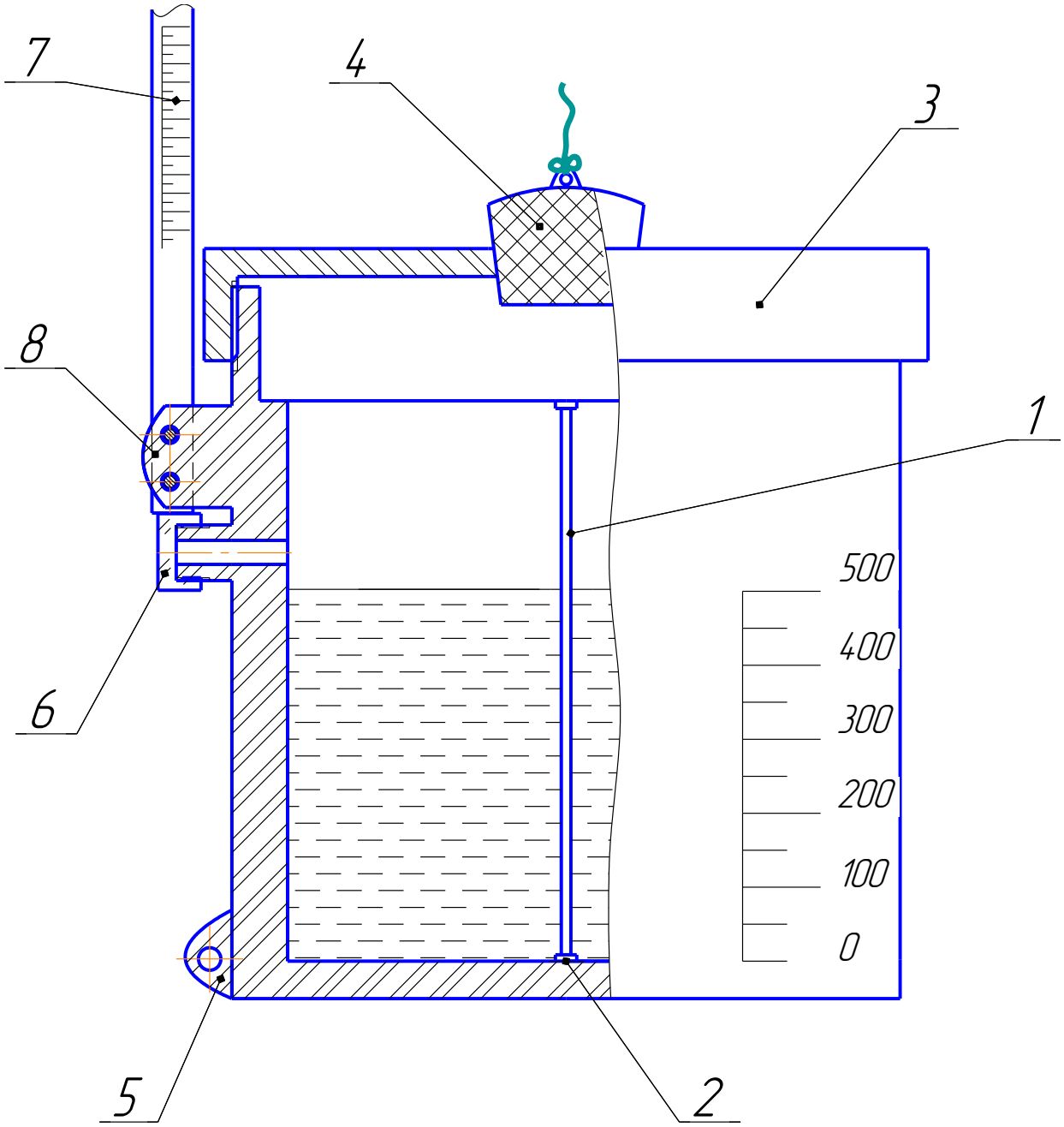


Рисунок 3 – Конструкция модификации устройства для отбора проб воды

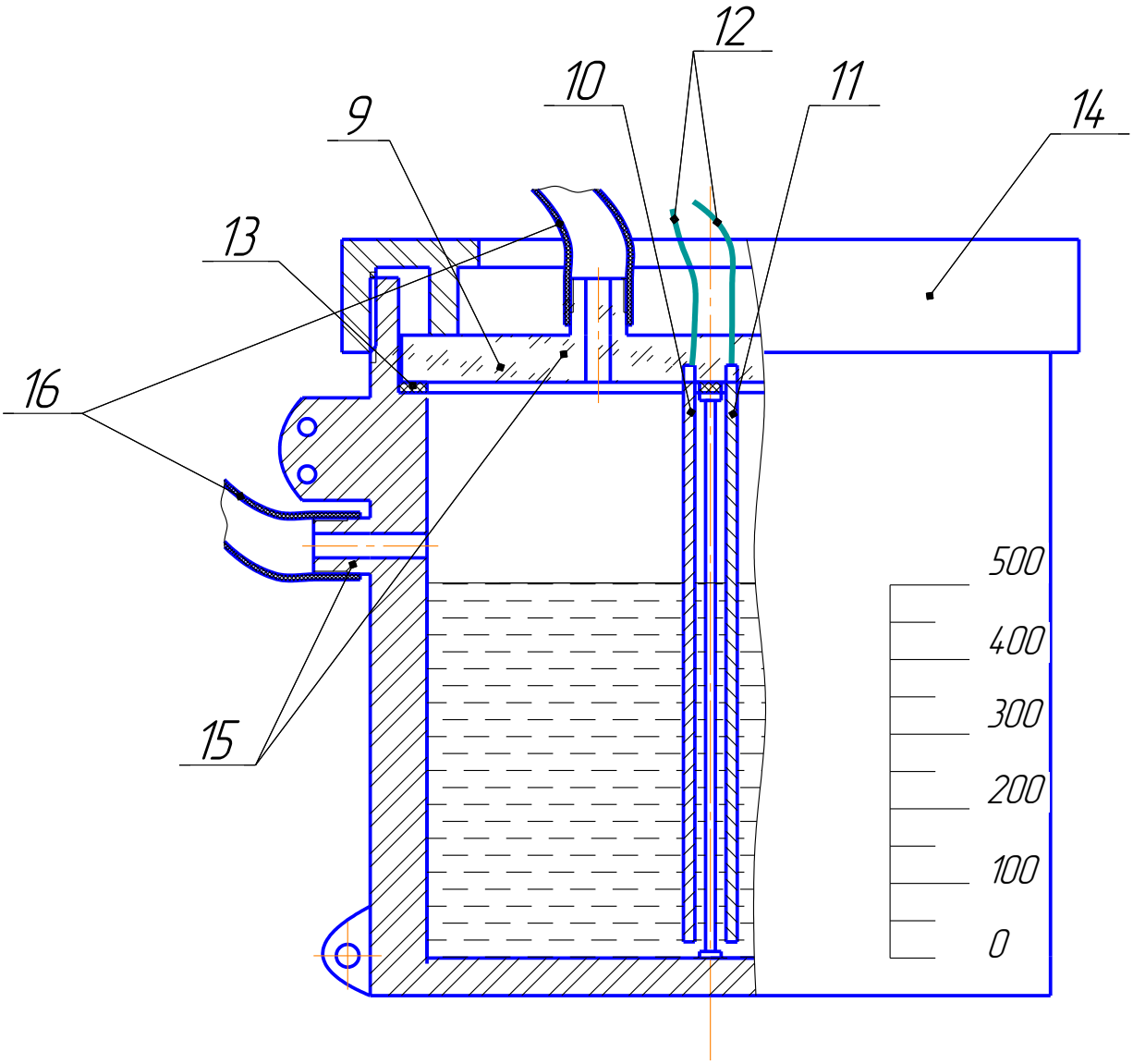


Рисунок 4 - Конструкция модификации устройства для определения биохимического потенциала

Общий полезный объем устройства – 750 мл. Размеры камеры: длина 100 мм, ширина 100 мм, высота 75 мм. Толщина стенок – 7 мм. Объем воды для пробы – 500 мл. Расстояние между электродными ячейками – 5 мм.

Устройство изготавливается из полипропилена (ПП) – термопластичного полимера. Выбор материала обусловлен его свойствами: хорошие диэлектрические свойства, светопроницаемость, небольшая поглотительная способность. Не ломается, обладает низкой газо- и паропроницаемостью. Физиологически нейтрален, не имеет запаха. Полиэтилен не восприимчив к щелочам любой концентрации, растворам любых солей, карбоновым, плавиковой и концентрированной соляной кислотам. Устойчив к маслу, овощным сокам, алкоголю, воде, бензину. Полиэтилен морозостоек (до семидесяти градусов).

Материал электродов - графит; также могут быть использованы алюминий, медь или нержавеющая сталь, электроды предлагаются прямоугольной формы, с целью создания максимальной площади реакционных поверхностей. Повышение эффективности процесса также способствует малое (в пределах 5мм) расстояние между электродами. К электродам подведены медные провода диаметром 2 мм.

Анаэробная среда создается путем продувки азотом.

Рассмотрим конструкцию модификации устройства для отбора проб воды (рисунок 2). Посередине камеры в пазу 2 установлена ионоселективная мембрана 1. Для закрепления и обеспечения герметизации она заливается эпоксидной смолой. Сверху устройство закрывается крышкой на резьбе 3 с отверстием для сбора воды. Отверстие закрывается пробкой 4, к которой прикреплен шнур. Внизу конструкции предусмотрена петелька 5 для подвеса груза. Штуцер (который будет рассмотрен далее) закрывается пробкой на резьбе 6. Для контроля глубины, на которую следует опускать емкость, в верхней части конструкции расположена лента 7, которая крепится двумя болтами к петельке 8. На ленте нанесена градуировка. На внешней части емкости также нанесена градуировка до 500 мл для контроля объема пробы.

Рассмотрим конструкцию модификации устройства для измерения биоэлектрического потенциала (рисунок 3). В упорную крышку 9 вплавлены анод 10 и катод 11. К электродам подведены провода 12, которые также вплавлены в упорную крышку. Между стенкой устройства и упорной крышкой для уплотнения кладется резиновая прокладка 13. Сверху упорной крышки расположена прижимная крышка с резьбой 14 для обеспечения уплотнения и герметизации. В упорной крышке имеются и стенке устройства имеются штуцера 15, на которые надеваются резиновые шланги 16 для продувки азотом. Верхний штуцер можно также использовать как отверстие для внесения штамма микроорганизмов, вырабатывающих электричество.

В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих технологий получения биоэлектричества и осуществлен выбор оптимальной конструкции и материалов универсального устройства для отбора проб сточных вод и определения биоэлектрического потенциала жидких сред.

Список литературы:

[1]. ГОСТ Р 51592-2000. Вода. Общие требования к отбору проб

Короткова В.Е. – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kagami-no-yoru@yandex.ru.

Кусачева Светлана Александровна – канд. биол. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: safronova2@mail.ru.

Ю.Ю. Якунина

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ – ГЛАВНОЕ ПРИРОДНОЕ УСЛОВИЕ ДЛЯ ЗАНЯТИЯ ЛЫЖНЫМИ ГОНКАМИ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Естественный снег является твердым атмосферным осадком, состоящим из ледяных кристалликов – снежинок. В зависимости от температуры и состава водяного пара в слоях облаков, под воздействием множества других факторов, кристаллики, оседающие на поверхность Земли, приобретают различную форму. Как только кристаллики снега лягут на поверхность Земли, они с течением времени и под воздействием естественных природных явлений начинают подвергаться изменениям. Прежде всего исчезают острые края, кристаллики округляются, а затем окончательно теряют первоначальную форму. При низкой, минусовой температуре воздуха эти структурные изменения происходят относительно медленно, а по мере приближения ртутного столбика к нулевой отметке и выше они протекают более интенсивно. Причем процесс этот непрерывный, поэтому достаточно трудно провести четкую границу между различными структурами снежных кристалликов.

В результате снегопадов на поверхности Земли образуется слой снега – снежный покров, который состоит из многочисленных твердых кристаллических снежинок и окружающих их пустот. По форме кристалликов, размеру окружающих их пустот/пор, наполняемости пор воздухом или водой в лыжных гонках условно выделяют пять основных структурных разновидностей снега естественного снежного покрова.

Свежевыпавший снег – это падающий или только что выпавший снег при минусовой температуре, он состоит из острых кристалликов, чаще всего шестигранной формы, имеет высокую пористость.

Мелкозернистый снег отличается более округлой формой снежных кристалликов, менее пористый. Такую структуру снежный покров приобретает через 3-4 дня после выпадения при сохранении минусовой температуры воздуха.

Старый снег образуется на 5-8 день после выпадения. Его кристаллики при тех же температурных условиях имеют выраженную округленность и еще более высокую плотность.

Влажный (мокрый) зернистый снег – это снег свежевыпавший при плюсовой температуре воздуха или образованный при таянии снега приво время оттепели. В таком снежном покрове поры между кристалликами заполняются водой. В зависимости от количества свободной воды в порах снег становится или влажным, или мокрым при небольшом или увеличенном содержании воды соответственно.

Замерзший крупнозернистый снег представляет собой старый снег, растаявший и снова замерзший и отвердевший после непродолжительной оттепели. Имеет вид крупных зерен с частицами льда в результате образования ледяных кристалликов из-за замерзания воды в порах между ними.

Таким образом, снег естественно снежного покрова меняется от сухого свежевыпавшего до мокрого леденистого, что существенно влияет на двигательно-функциональную деятельность лыжника, выбор и подготовку лыж. Скорость этих изменений зависит от продолжительности хранения твердых осадков после их выпадения и происходящий в природе атмосферных явлений. Преобладающее воздействие на процессы охлаждения и таяния снега оказывает температура воздуха. Причем структура снежного покрова может существенно изменяться даже в течение достаточно короткого времени тренировки или соревнования, когда погода имеет выраженную тенденцию к потеплению или похолоданию. Резкое повышение или понижение температуры воздуха за короткий промежуток времени особенно характерно для среднегорья, где у лыжников нередко проходят самые престижные соревнования и в этих же условиях идет подготовка к ним. На «весенней» лыжне различия в температуре воздуха на солнце и в тени принципиально изменяют свойства снежного покрова на соответствующих участках трассы, что требует от лыжника-гонщика учёта этих свойств и применения соответствующей техники лыжных ходов.

Якунина Ю.Ю. - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: metamg@ya.ru.

В.В. Быкова

СПЕЦИФИКА ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ СПОРТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЛЫЖНЫХ ГОНКАХ

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Лыжные гонки – сезонный вид спорта. В продолжительное бесснежное время года преобладающим средством подготовки лыжников-гонщиков является передвижение на классических или коньковых лыжероллерах, приспособленных для соответствующих лыжных ходов.

Двигательная деятельность лыжника-гонщика осуществляется преимущественно в естественных природных условиях, по снежному покрову лыжных трасс, проложенных по пересеченной местности. Прежде всего, эти внешние условия определяют способ передвижения, динамику скорости и функциональной нагрузки на организм. Разнообразие структуры движений в различных условиях скольжения и на пересеченном рельефе – главное отличие лыжных гонок от других циклических видов физкультурно-спортивной деятельности.

Перед тем как приступить к подготовке лыж к гонке или же просто прогулке необходимо учесть ряд факторов – температура воздуха (снега), влажность воздуха (снега), тип снега (зернистость).Обычно на упаковках парафина (мазей) указана температура воздуха. Температура снега, так же может быть полезна. Важно, что когда температура снега достигла точки замерзания, то далее она расти не будет, не зависимо от повышения температуры воздуха. В этом случае лучше использовать температуру воздуха и обратить внимание на содержание воды в снеге.

Таким образом, снег естественно снежного покрова меняется от сухого свежевыпавшего до мокрого леденистого, что существенно влияет на двигательно-функциональную деятельность лыжника, выбор и подготовку лыж. Скорость этих изменений зависит от продолжительности хранения твердых осадков после их выпадения и происходящий в природе атмосферных явлений. Преобладающее воздействие на процессы охлаждения и таяния снега оказывает температура воздуха. Причем структура снежного покрова может существенно изменяться даже в течение достаточно короткого времени тренировки или соревнования, когда погода имеет выраженную тенденцию к потеплению или похолоданию. Резкое повышение или понижение температуры воздуха за короткий промежуток времени особенно характерно для среднегорья, где у лыжников нередко проходят самые престижные соревнования и в этих же условиях идет подготовка к ним. На «весенней» лыжней различия в температуре воздуха на солнце и в тени принципиально изменяют свойства снежного покрова на соответст-

вующих участках трассы, что требует от лыжника-гонщика высокой вариативности двигательной деятельности.

Главным показателем готовности естественного, смешанного, искусственного снежного покрова к использованию для передвижения на лыжах является его толщина. Толщина натурального снежного покрова характеризуется суммарным снегонакоплением за определенный период времени – единичный снегопад, несколько часов, сутки, неделя, декада, месяц, зимний период. Простейшим прибором для измерения толщины снежного покрова служит градуированная рейка или обычная линейка. При замере достаточно установить рейку вертикально и определить расстояние от поверхности земли до вершины снежного покрова. Начинать занятия на лыжах можно уже при толщине естественного снежного покрова около 5см, а для проведения официальных физкультурно-спортивных мероприятий рекомендована толщина не менее 30 см.

При выборе места для занятий лыжами предпочтение всегда отдают территории, имеющей посадки деревьев, кустарников – парку, роще, лесу. Здесь снежный покров сохраняется дольше и его толщина при прочих равных условиях значительно больше, чем на открытой местности.

Важной характеристикой снежного покрова является его плотность. Измерение плотности сводится к определению веса аккуратно вырезанного кусочка снежного покрова установленного размера. У естественного покрова плотность изменяется в весьма широком диапазоне. Такие существенные различия обусловлены постоянным изменением формы, размера и пространственного размещения кристаллических снежинок и окружающих их пор. Для обеспечения необходимой плотности и жесткости снежного покрова на современных лыжных трассах снег уплотняют специальными тяжелыми машинами.

Таким образом, структура снежного покрова, его толщина, плотность изменяются со временем под влиянием температуры и влажности воздуха, в зависимости от солнечного и теплового излучений, под воздействием ветра и концентрации примесей в снегу, с учетом рельефа местности и состояния растительности на ней. Все это определяет функциональные свойства снега, которые играют ведущую роль в характере и специфике условий скольжения лыж по снегу, существенно изменяют двигательно-функциональную деятельность лыжника-гонщика.

Быкова В.В. - студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: metamg@ya.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1.
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ ... 3

Свитка А.С., Соколова И.Д.
Анализ методов шлифования зубчатых колес 4

Багаутдинов Э.Р., Филиппова И.А.
Состояние и перспективные технологии развития литейного производства России 11

Сазонова Ю.Ю., Максимов П.А.
Алмазное выглаживание и упрочнение деталей 15

Вяткин А.Г., Вяткин В.А.
Влияние времени переналадки технологической системы на общую производительность 17

Потемкин В.Ю., Соколова И.Д.
Исследование возможностей совершенствования абразивного инструмента 20

Мусохранов М.В., Попова Т.В., Сорокин С.П.
Методы определения внутренних напряжений поверхностных слоёв в металлах..... 25

Потемкин В.Ю., Волков А.В.
О схемах управления процессом резания 27

Мкртчян А.Б.
Обзор твердых антифрикционных покрытий..... 30

Калмыков В.В., Мусохранов М.В., Юсупова К.Н.
Основные методы измерения поверхностной энергии твердых тел..... 33

Сениченков С.И., Зыбин И.Н.
Особенности восстановления шлицев валов 37

Кузнецов И.В., Баринова Д.А., Калмыков В.В.
Особенности производительности труда и технологические методы ее повышения..... 39

Калмыков В.В., Мазенков А.А.
Особенности расчета производственных заделов в поточном производстве 42

Калмыков В.В., Крюков М.В.
Перспективные методы обработки материалов 46

Куренков Д.Н., Кондрашова Е.В., Филиппова И.А.
Перспективные технологии прямого восстановления железа из руд..... 49

Савина Ю.А., Мусохранов М.В.
Поверхностная энергия и влияющие на нее факторы 53
Жилин А.Е., Филиппова И.А.
Получение чугуна методом науглероживания железа 56
Кузнецов И.В., Баринова Д.А., Калмыков В.В.
Применение систем лазерной обработки в машиностроении 62
Беспалов Д.М., Малышев Е.Н.
Производительный метод обработки валов 64
Беляев И.Ю., Калмыков В.В.
Системы автоматизации программирования станков ЧПУ 69
Сазонова Ю.Ю., Баринова Д.А., Кузнецов И.В.
Точность и эффективность станков с ЧПУ 72
Агеев Б.Н.
Управление точностью начальной установки заготовок 74
Пороваева Т.А., Шаталов В.К.
Упрочнение поверхностного слоя титановых сплавов
оксидированными присадочными прутками 78
Прохоров А.Н., Малышев Е.Н.
Шлифование с параметрической осцилляцией 81
Ивашев А.А, Беляев И.Ю., Мусохранов М.В.
Явление схватывания в процессе контактирования двух поверхностей ... 85
СЕКЦИЯ 2.
ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА .. 88
Парамонов С.С., Максимов Н.Н.
Выбор оптимальных геометрических соотношений вольфрамовых
вставок, величины сварочного тока и длительности его протекания 89
Сениченков С.И., Зыбин И.Н.
Дуговые способы восстановления шлицев валов 93
Вовченко А.В., Труханов К.Ю., Царьков А.В.
Разработка приспособления для исследования формирования
наплавляемого валика в различных положениях 95
Соловьев Н.И., Максимов Н.Н.
Технологические особенности контактной точечной сварки деталей из
алюминиевых сплавов 98
СЕКЦИЯ 3.
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ 100
Манухина Д.В., Супрун И.В., Потапов А.Е., Плотников Ф.А.
Алгоритмы моделирования динамики заряженных дислокаций
в ультразвуковом поле 101

Моисеев Т.С, Кузнецов В.В.
Qucs-activefiler: программное средство для синтеза активных фильтров с открытым исходным кодом 111
Драч В.Е., Федорова А.В.
Магнитный датчик отклонения рулей рулевого привода 115
Аунг Пьо, Сорочан В.В.
Математические модели вольтамперных характеристик солнечных элементов 117
Никифоров Д.К., Пчелинцева Н.И., Чистяков М.Г.
Методы прикладной физики в технике получения электродов для современных газоразрядных лазеров 120
Андреев Д.В.
Модификация МДП - структур с термической пленкой диоксида кремния, легированной фосфором 127
Корнеев А.А., Лоскутов С.А.
Модуль управления интеллектуального зарядного устройства 132
Чернова Н.Н., Андреев В.В., Столяров А.А.
Оптимизация технологического процесса изготовления высоковольтного слаботочного стабилизатора тока 137
Капустин Д.В.
Особенности повышения точности измерения параметров кристаллической структуры натрий – ванадиевых оксидных бронз 140
Бут Р.О., Лоскутов С.А.
Особенности технической реализации амплифазометрического метода измерения диаграмм направленности антенных устройств 144
Соловьев И.В., Столяров А.А.
Повышение температурной стабильности измерения порогового напряжения транзисторов с использованием диодных датчиков температуры 148
Скольник А.И., Лоскутов С.А.
Применение ПЛИС для разработки стенда проверки электронного узла контроля мощности и температуры 152
Андреев В.В., Рытиков И.А.
Разработка измерительного блока для контроля параметров микросхемы 1135СА2 156
Чернова Н.Н., Андреев В.В.
Разработка КМДП интегральной микросхемы операционного усилителя 160
Андреев В.В., Фролова М.А.
Разработка комплекта фотошаблонов интегральной микросхемы широкополосного операционного усилителя 163

Прасицкий Г.В.
Экспериментальные и теоретические исследования основных операций изготовления псевдосплавных материалов методами прокатки порошков 166
Тюняев Д.А., Кашин В.В.
Электронный блок управления раздаточной коробкой для автомобилей группы ГАЗон – Next 172
СЕКЦИЯ 4.
ТУРБОМАШИНЫ И КОМБИНИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ 175
Липихин Е.Г., Шевелев Д.В.
Когенерационная установка с газовой микротурбиной на базе водогрейного котла 176
Тарасов Е.В., Жинов А.А.
Влияние радиального и осевого наклона сопловых лопаток на характеристики ступени турбины 184
Евтеева В.О.
Использование металлопены в теплообменных аппаратах 188
Крылов В.С.
Моделирование процесса течения в ступени высокотемпературной паровой турбины мощностью 300МВт на смесевом рабочим теле H_2O+CO_2 190
Ермакова М.И.
Применение ГТД с электромеханической трансмиссией на карьерных самосвалах 195
Евтеева В.О.
Применение направляющих рёбер параболической и геликоидной форм для теплообменных аппаратов 197
Смоляр С.Г., Филинков Д.И.
Термодинамическое исследование микротурбинной ТЭЦ внешнего горения замкнутого цикла 199
Смоляр С.Г., Филинков Д.И.
Термодинамическое исследование микротурбинной ТЭЦ внешнего горения полузамкнутого цикла 204
Хомяков И.А.
Технические и экономические особенности магистрального газопровода 209
Липихин Е.Г., Шевелев Д.В., Шашкин А.В.
Установки распределенного производства тепловой и электрической энергии 211

СЕКЦИЯ 5.
КЛАССИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ; АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВОМ 215

Мышляев Ю.И., Финошин А.В., Долгов Я.А., Зюзин А.А.
Об одном подходе к управлению нелинейными колебаниями на примере стабилизации перевернутого маятника на тележке с учетом динамики привода 216

Кузнецов Д.А., Жарков А.В., Финошин А.В., Чистяков К.Е.
Синтез алгоритмов стабилизации, слежения и возбуждения колебаний нелинейных систем на примере маятника 224

Аунг Чжо Со, Макаренков А.М.
Идентификация случайных параметров модели электрогидравлического привода 228

Кузнецов Д.А., Брынза А.А.
Использование Arduino в качестве платформы быстрой разработки электронных устройств 234

Кузнецов Д.А., Черникова О.А., Жарков А.В., Сытов С.В.
Исследование возможностей отладочной платы ATEVK1100 для решения практических задач управления 237

Ларина Т.В.
Классификация изображений с использованием вейвлет - преобразований 240

Тун Тун Чжо, Макаренков А.М.
Компенсация влияния случайной нагрузки при расчёте pid-регулятора электрогидравлического следящего привода 243

Брынза А.А., Кузнецов Д.А., Корлякова М.О.
Подход к построению систем распознавания движения 247

Кузнецов Д.А., Брынза А.А., Корлякова М.О.
Подход к реализации системы технического зрения на основе микроконтроллеров 250

Корнюшина Е.Ю.
Применение вейвлет - преобразования для сжатия двухмерной информации 253

Кузнецов Д.В., Пчелкин О.П.
Разработка адаптивной системы управления вынужденными колебаниями мотор - маятника 256

Кузнецов Д.В., Пчелкин О.П.
Синтез адаптивного алгоритма управления вынужденными колебаниями мотор - маятника 260

Тун Тун Чжо, Тин Эй Чжо, Мьо Паинг Сат, Макаренков А.М.
Синтез программных управлений для систем со случайными параметрами 264

СЕКЦИЯ 6.
ЭКОЛОГИЯ И БЕЗОПАСНОСТЬ 269

Жукова Ю.М., Куликова И.И., Матеров А.А., Никулина С.Н.
Анализ влияния различных электромагнитных излучений на обеззараживание и очистку сточных вод 270

Пименова Е.О., Яковлева О.В., Гаврилина Е.А.
Анализ качества воды источников водоснабжения Южного водозабора города Калуги 275

Антонова Н.Ю., Грефенштейн Е.А., Яковлева О.В.
Возможные пути решения проблемы водообеспечения и водоотведения в Крыму 280

Зубков Д.В., Гордеев А.С.
Гидрокарбонильный способ получения нанесенного палладиевого катализатора дожигания выхлопных газов 283

С.А. Кусачева, А.А. Матеров, Э.Э. Мирзоев, Морозенко М.И.
Исследование возможности применения различных способов утилизации отходов растительного происхождения 285

Котосова Я.В., Христофорова М.И., Никулина С.Н..
К вопросу о современных нетрадиционных методах обеззараживания природной воды 289

Котосова Я.В., Христофорова М.И., Карева Е.О.
Методы утилизации шин и покрышек 292

Смельцов М.А., Челенко А.В., Жукова Ю.М.
Новые подходы в повышении эффективности вспомогательных цехов радиоэлектронного кластера на современном этапе 295

С. А. Кусачева, И.И. Сащенко, М.Е. Сафронова, А.И. Лисенко
Обоснование выбора материалов для конструирования МТЭЛ 300

В. Е. Короткова, С. А. Кусачева.
Разработка проекта устройства для определения биоэлектрического потенциала жидких сред 305

Якунина Ю.Ю.
Снежный покров – главное природное условие для занятия лыжными гонками 310

Быкова В.В.
Специфика внешних условий спортивной деятельности в лыжных гонках 312

СОДЕРЖАНИЕ 314

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРИБОРО - И МАШИНОСТРОЕНИИ И РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВУЗЕ

Материалы
Региональной научно-технической конференции

Том 1

Научное издание

Все работы публикуются в авторской редакции. Авторы несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений.

Подписано в печать 08.04.2015.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 20. Усл. п. л. 18,6. Тираж 50 экз. Заказ № 94

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
107005, Москва, 2-я Бауманская, 5

Оригинал-макет подготовлен и отпечатан в Редакционно-издательском отделе
КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана
248000, г. Калуга, ул. Баженова, 2, тел. 57-31-87

ISBN 978-5-7038-4162-4