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

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

Материалы
Всероссийской научно-технической конференции

Том 1

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МГТУ
им. Н. Э. Баумана
Калуга 2018

УДК 378:001.891
ББК 74.58:72
Н34

Руководители конференции
А. В. Царьков (директор КФ МГТУ им. Н. Э. Баумана);
А. А. Столяров (зам. директора по научной работе)

Оргкомитет конференции
А. А. Столяров (председатель оргкомитета);
В. В. Лебедев (ученый секретарь);
В. В. Андреев; Е. Н. Малышев; *Ю. П. Корнюшин*; *Д. В. Мельников; В.Г. Косушкин; А. И. Пономарев*; *В. В. Ильин*; *А. А. Анкудинов*; *А. П. Коржавый*; *А. А. Шубин; А. К. Горбунов*; *А. В. Максимов*; *В. К. Шаталов*; *Е. Н. Сломинская*; *О. Л. Перерва*; *Г. В. Орлик*; *А. В. Мазин*; *В. Н. Пащенко*; *А. К. Рамазанов*; *А. А. Жинов*

Н34 **Наукоемкие** технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, 13 – 15 ноября 2018 г. Т. 1. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 276 с.

В сборнике материалов Всероссийской 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, 2018
© Калужский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана
© Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018

СЕКЦИЯ 1.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Е.Н. Малышев, В.Н. Атрощенко

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ НАСОСА-РЕГУЛЯТОРА

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

Насос 8и42 на предприятии «КАДВИ» входит в состав газотурбинного двигателя, выполняющего роль электростанции во время работ на участках с затрудненным доступом к электричеству.

Регулятор скорости насоса-регулятора служит для регулирования частоты вращения ротора изделия при изменении нагрузки, поддержания постоянной частоты вращения ротора изделия при неизменной нагрузке и ограничения максимально допустимой частоты вращения ротора изделия.

Регулятор скорости включает в себя следующие узлы:

1) центробежный регулятор скорости;
2) пакет термокомпенсатора;
3) клапан постоянного перепада;
4) предохранительный клапан;
5) клапан максимального давления;
6) регулировку степени неравномерности регулятора;
7) золотник включения регулировки степени неравномерности регулятора;
8) сигнализатор давления типа МСТ-6;
9) дистанционное управление;
10) ручную регулировку смещения статической характеристики регулятора;
11) ограничитель максимально допустимой частоты вращения ротора изделия.

Центробежный регулятор скорости предназначен для измерения скорости вращения вала изделия и выдачи сигнала на исполнительный элемент для изменения подачи топлива в форсунку. Регулятор скорости - центробежного типа, состоит из чувствительного, пружинного и исполнительного элементов.

Чувствительным элементом является грузик 21, поворачивающийся на двух радиальных подшипниках 19, закрепленных в роторе 182. Грузик имеет гнездо для заслонки 168. Пружинный элемент состоит из пружины 64 с тарелкой 63 и поршнем 65, шарика 17, упора 18, подшипника 20. Изменение предварительной затяжки пружины 64 и, следовательно, параллельное смещение статической характеристики регулятора (изменение настройки регулятора по числу оборотов) производится при помощи дистанционного управления, или ручной регулировки параллельного смещения статической характеристики регулятора. Для устранения попадания топлива в дистанционное управление установлены манжета 71 и поршень 72.

Исполнительный элемент включает в себя сопло II и заслонку 168, жестко фиксированную в расточке грузика 21.

Чувствительный элемент воспринимает изменение частоты вращения ротора изделия в виде изменения центробежной силы грузика. Пружинный элемент уравновешивает центробежную силу грузика. При этом происходит поворот грузика 21 до уравновешивания центробежной силы силой сжатия пружины 64. В работу вступает исполнительный орган и происходит регулирование щели между соплом 11 и заслонкой 168.

Работа регулятора скорости происходит следующим образом: при сбросе нагрузки происходит увеличение частоты вращения ротора изделия и, соответственно, - ротора 182. Грузик 21 под действием центробежной силы поворачивается, сжимая пружину 64. Щель между соплом 11 и заслонкой 168 увеличивается и происходит дополнительный слив топлива. Давление топлива в линии форсунки, а, следовательно, и подача топлива в форсунку уменьшаются до величины, соответствующей нагрузке изделия.

При увеличении нагрузки частота вращения ротора изделия падает, центробежная сила грузика 21 уменьшается, и грузик под действием пружины поворачивается, уменьшая щель между соплом 11 и заслонкой 168. Слив топлива уменьшается, а подача топлива в форсунку, соответственно, увеличивается до величины, соответствующей нагрузке изделия.

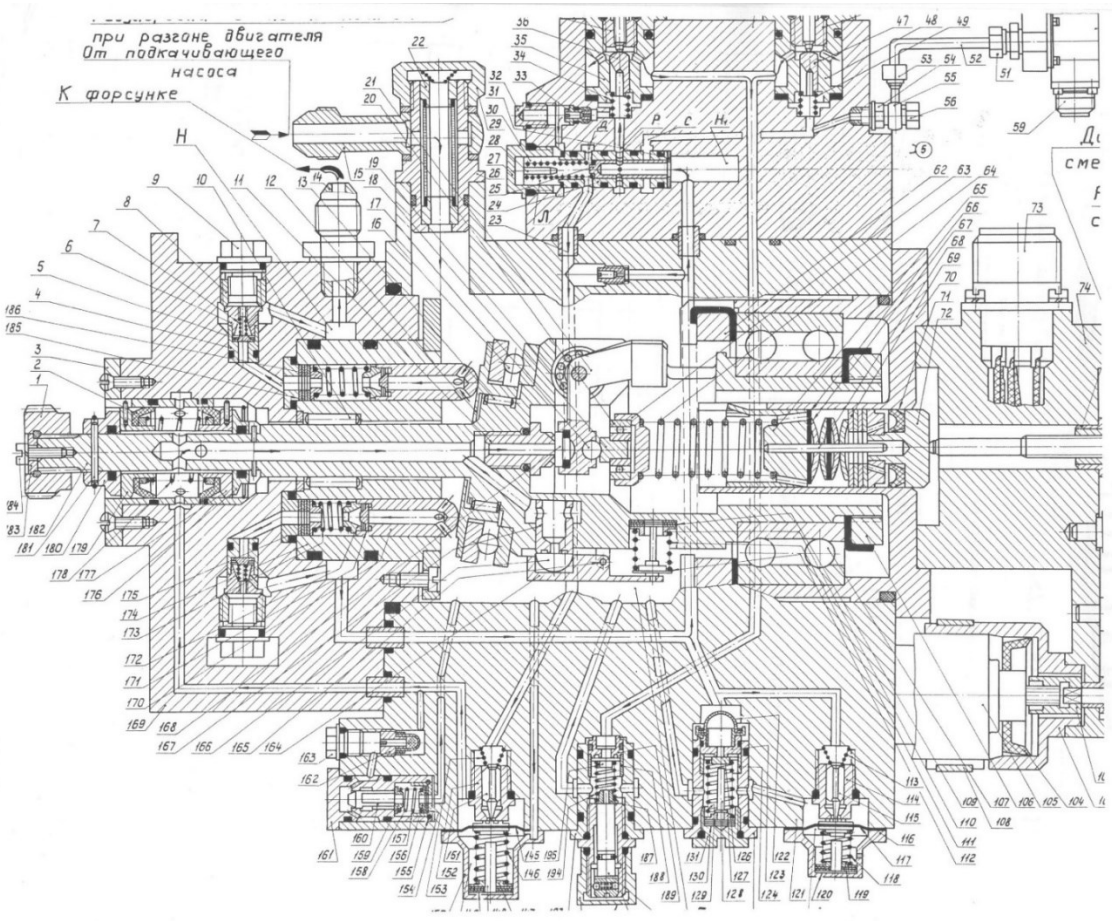


Рис. 1. Схема насосной части насоса-регулятора 8и64

Ввиду большой номенклатуры производимых насосов и большой схожести изделий, имеет смысл написание группового технологического процесса сборки на всю номенклатуру.

Список литературы

[1] Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Стройиздат, 1986. – 320 с, ил.

[2] Башта, Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Т.М. Башта. - М.: Книга по Требованию, 2012. - 167 с.

[3] Лобачев, П.В. Насосы и насосные станции / П.В. Лобачев. – М.: Стройиздат; Издание 3-е, перераб. и доп., 2012. - 320 с.

[4] Малышев Е.Н., Малышев А.Н. Повышение эффективности использования обрабатывающего оборудования путем расширенной реализации его технологических возможностей // Инженерный вестник. 2012. № 8. С. 3.

[5] Малышев Е.Н., Бысов С.А. Создание автоматизированных технологических систем на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Автоматизация. Современные технологии. 2012. № 4. С. 26-32.

[6] Малышев Е.Н., Калмыков В.В., Золотайкина А.В., Малышев И.Е., Крюков М.В. Проектирование средств оснащения сборочных операций на основе анализа сборочных связей // Фундаментальные исследования. 2016. № 4-3. С. 512-516.

[7] Musokhranov M.V., Kalmykov V.V., Malyshev E.N. Experimental research of variability of surface energy value of Fe37-3FN, C45 and 41Cr4 steels // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 17. С. 6428-6433.

[8] Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Logutenkova E.V., Malyshev E.N., Gorbunov A.K. Generation of surface energy in metals using row-by-row microdeformation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 24. С. 15621-15626.

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

Атрощенко Виктор Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: atroshchenkoviktor@gmail.com

В.А. Федоров

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СТАНОЧНЫХ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ КАК ОБЪЕКТОВ ГИБКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

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

Современное автоматизированное производство все в большей степени становится гибким. Это предполагает возможность быстрой переналадки не только обрабатывающего оборудования, но и загрузочных устройств [1,2].

Выполненный анализ показал, что большинство конструкций загрузочных устройств [3] можно разделить на три группы:

1. Устройства, в которых переналадка возможна путем замены отдельных конструктивных элементов, входящих в состав устройств. К таким решениям могут быть отнесены следующие типовые устройства:

- мембранно-вакуумное ориентирующее устройство (SU 1645100 A1) для загрузки робототехнических комплексов и гибких производственных модулей миниатюрными деталями. Переналадка устройства производится путем замены четырех элементов: гнезда, толкателя, втулки и отводящего лотка;
- вибробункер (SU 1717313 A1) для автоматической подачи деталей типа колпачков к технологическому оборудованию. Снабжен дополнительным спиральным лотком, закрепленным на наружной поверхности чаши и образующим с имеющимся спиральным лотком замкнутый контур, и спутниками, свободно установленными в спиральных лотках. Переналадка производится путем замены спутников;
- трубчатое ориентирующее устройство (SU 1738596 A1) для автоматической загрузки технологического оборудования стержневыми деталями. Снабжено кольцом, установленным между воронкой и приемной трубкой с возможностью колебаний в горизонтальной плоскости посредством дополнительного введенного привода и частичного перекрытия отверстия приемной трубки и выходного отверстия воронки. Переналадка производится путем замены плавающего кольца;
- трубчатое ориентирующее устройство с вращающейся захватной воронкой (SU 1731582 A1) для автоматической загрузки технологического оборудования стержневыми длинномерными деталями. При подаче деталей, оси симметрии конического дна бункера и входной части приемной трубки смещены в одну сторону относительно оси вращения захватной воронки, при этом часть конического дна бункера выступает за коническую поверхность захвата воронки меньше диаметра входного отверстия приемной трубки. Переналадка производится путем замены захватной воронки;

– устройство для параллельной ориентированной выдачи стержневых изделий с головкой (реверсивный вибролоток) (SU 1764943 A1). Переналадка производится путем замены направляющего трафарета;
– поворотное устройство с упором и кольцевым каналом (SU 1743791 A1) для автоматической загрузки рабочих машин штучными заготовками в подшипниковом производстве для ориентации, перемещения и поштучной подачи к технологическому оборудованию колец, колпачков и т.п. деталей. Переналадка производится путем замены специальной ориентирующей пластины.

2. Устройства, в которых переналадка возможна путем регулировки отдельных конструктивных элементов, входящих в состав устройств. К таким решениям могут быть отнесены следующие типовые устройства:

– шиберное ориентирующее устройство с вращающимся отводящим лотком (SU 1774910 A3) относится к загрузочным устройствам для поштучной выдачи ориентированных заготовок. С целью переналадки на работу с различными типоразмерами заготовок по длине мерная направляющая выполнена с возможностью перемещения вдоль отводящего лотка;
– шиберное устройство с поворотной опорой (SU 1701475 A1) применяется при загрузке рабочих машин ориентированными деталями типа тел вращения с разными диаметрами торцов. С целью ориентации деталей типа тел вращения с различными диаметрами торцов и цапфами на концах паз в опоре выполнен незамкнутым и имеет прорезь для прохода цапф детали. Регулировка производится посредством изменения положения упора и формы паза;
– вибробункер содержащий чашу со спиральным лотком и окнами в обечайке (SU 1613300 A1), для загрузки оборудования цилиндрическими деталями с конусообразным концом и деления их на потоки в зависимости от длины. Регулировка производится путем изменения высоты и расстояния между направляющими пластинами за счет зазора между винтами и крепежными отверстиями в этих пластинах и с помощью установки прокладок требуемой толщины;
– дисковое устройство с подпружиненными пальцами (SU 1696259 A1) для автоматической загрузки роторных линий, станков и агрегатов деталями типа колпачка с буртом, диаметр которых соизмерим с длиной. Кольцевая камера для западания деталей установлена со стороны торцевой поверхности диска с захватами, причем последние выполнены в виде попарно расположенных на торцевой поверхности диска подпружиненных пальцев. Регулировка производится путем изменения высоты пальцев;
– загрузочный ротор (SU 1745508 A1) для автоматической ориентации и загрузки роторных машин стержневыми изделиями с головкой. Механизмы вторичной ориентации выполнены в виде двухступенчатого диска. Переналадка производится путем регулирования подпружиненной втулки установленной под диском соосно гнезду приемника;

– загрузочный ротор (SU 1673379 A1) для ориентации и загрузки роторных линий штучными деталями типа тел вращения, имеющих несимметрично расположенную лыску и не поддающихся ориентации по центру тяжести по геометрическому профилю известными роторными устройствами. Снабжен механизмами вторичной ориентации, каждый из которых выполнен в виде двух подпружиненных упоров. Переналадка производится путем регулирования упругих упоров;
– вибробункер с подающим спиральным лотком в виде кругового сегмента (SU 1742030 A1) для подачи цилиндрических деталей с буртом к станкам и автоматам. Часть подающего спирального лотка выполнена в виде кругового сегмента с шириной, равной ширине подающего спирального лотка, Кольцевой сегмент установлен с возможностью регулировочного перемещения в радиальном направлении для переналадки.

3. Устройства, в которых переналадка не предусмотрена. К таким решениям могут быть отнесены следующие типовые устройства:
– дисковое устройство с порожками (SU 1556872 A1) для ориентации и поштучной выдачи деталей к станкам неправильно сориентированных деталей неправильной переориентации;
– дисковое устройство с карманчиковым питателем (SU 1738594 A1) для подачи в кассеты деталей сложной формы в строго определенном рабочем положении;
– дисковое устройство с карманами, имеющими профильные окна (SU 1590324 A1) для загрузки деталей типа колпачков с «репьевидным» торцом;
– элеваторное устройство (SU 1738597 A1) для ориентированной подачи деталей типа колец подшипников с коническим отверстием в автоматических линиях;
– вибробункер со спиральным лотком гидродинамического действия (SU 1738593 A1) для автоматизации технологических процессов в линиях сборки радиодеталей;
– вибробункер с ориентирующими ножами и упорами (SU 1761439 A1) для подачи на сборку Г-образных деталей типа стрелкодержателя;
– загрузочный ротор (SU 1604555 A1) используется в автоматических роторно-конвейерных линиях для ориентированной подачи деталей типа асимметричных уголков;
– загрузочное устройство с транспортером (SU 1703364 A1) для автоматической подачи строгающих элементов цепи к месту обработки;
– роторное устройство (SU 1616799 A1) для ориентированной выдачи ступенчатых и конических деталей;
– трубчатое ориентирующее устройство с вращающейся трубкой с ворошителем (SU 1558631 A1) для загрузки технологического оборудования штучными деталями за счет принудительного заталкивания их в захватный орган;
– барабанное вибрационное устройство (SU 1715549 A1) для групповой загрузки стержневых деталей электронной техники;

- дисковое крючковое устройство с крючками на периферии вращающегося диска или на его торце (SU 1630873 A1) для ориентированной подачи типа шайба;
- вибророторное устройство с цилиндрической обечайкой (SU 1604554 A1) для подачи деталей сферической и цилиндрической формы небольших размеров (шарики, штифты, втулки, оси, пружины, шпильки и др.);
- трубчатое устройство с клиновым ворошителем (SU 1539045 A1) для загрузки заготовок цилиндрической формы в подшипниковом производстве;
- элеваторное загрузочное устройство (SU 1713775 A1), у которого захватные планки снабжены штырями, а в центральной части ленты транспортера выполнены парные отверстия, в которых свободно установлены штыри;
- вибробункер с винтовым подающим лотком (SU 1779538 A1) для ориентации деталей типа колпачков;
- загрузочный ротор (SU 1722782 A1) для ориентации и загрузки штучных заготовок типа колпачки;
- загрузочный ротор (SU 1752180 A3) для питания рабочих позиций машин штучными цилиндрическими деталями с буртиком в ориентированном положении;
- загрузочный ротор (SU 1738595 A1) для подачи штучных цилиндрических деталей с буртиком в ориентированном положении.

Как показывает вышеприведенный анализ, подавляющее большинство автоматизированных загрузочных устройств не предусматривают переналадку. Поэтому необходимо проведение исследований, позволяющих получить научно-обоснованные методики обеспечения максимальной гибкости таких устройств, что в целом повысит эффективность автоматизированных систем в современном машиностроении.

Список литературы

[1] Федоров В.А., Калмыков В.В., Малышев Е.Н. Применение крючковых бункерных загрузочно-ориентирующих устройств в многономенклатурном сборочном производстве // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2017. № 10. С. 46-48.

[2] Калмыков В.В., Малышев Е.Н. Групповая наладка крючковых бункерных захватно-ориентирующих устройств // Технология машиностроения. 2016. № 5. С. 52-55.

[3] Автоматическая загрузка технологических машин: Справочник / И.С. Бляхеров и др.; Под общ. ред. И.А. Клусова. М.: Машиностроение, 1990. 400 с.

Федоров Валерий Анатольевич – ст. преподаватель кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: val-fedorov79@yandex.ru

Р.Ю. Кривов, В.Н. Атрощенко, В.М. Попков

АНАЛИЗ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ТИРАТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА RC

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

Применение разобщенных генераторов импульсов позволило значительно повысить производительность электроэрозионной обработки твердых сплавов при сохранении достаточно высокой точности и качества поверхности [2].

Разобщенные генераторы импульсов строятся на базе газоразрядных приборов, тиратронов и игнитронов, а также с использованием в качестве источника переменного тока электрических машин повышенной частоты.

В последнее время появились новые, весьма эффективные генераторы импульсов, основанные на механической коммутации с искровым (ионным) контактом.

В настоящее время наибольший интерес для промышленного применения представляют следующие типы разобщенных генераторов импульсов [1]:

Тиратронный генератор. Одним из первых генераторов разобщенного типа был тиратронный генератор по схеме RC (рис. 1). Генератор питается от источника постоянного тока высокого напряжения 3-12 кВ, состоящего из трансформатора 1 и кенотронов 2. Пульсации выпрямленного тока сглаживаются буферным конденсатором 3. Зарядный ток конденсатора 5 ограничивается сопротивлением 4. Во время зарядки конденсатора ток через тиратрон не проходит. Когда напряжение на обкладках конденсатора достигнет требуемой величины, блок 7 подает на сетку тиратрона поджигающий импульс, тиратрон отпирается, и конденсатор 5 разряжается на первичную обмотку трансформатора 8. При разрядке напряжение на конденсаторе падает, тиратрон гаснет, и начинается новый цикл зарядки. При разрядке конденсатора во вторичной обмотке трансформатора индуктируются кратковременные импульсы тока, которые вызывают разряды между электродами.

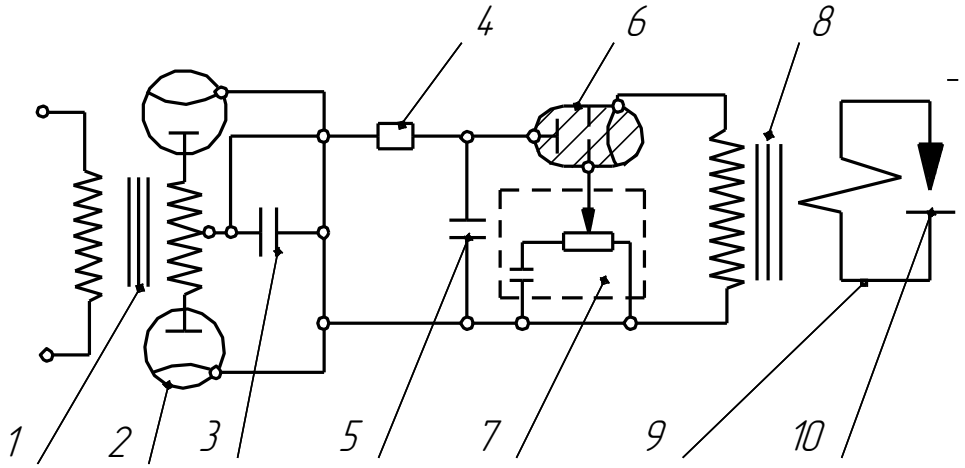


Рис.1. Схема тиратронного генератора RC

В отличие от конденсаторного генератора RC низкого напряжения, в данном генераторе формирование импульсов не управляется межэлектродным промежутком. Импульсы вырабатываются как при большом расстоянии между электродами, так и при их коротком замыкании. Эта особенность разобщенных генераторов повышает стабильность их работы и допускает большие колебания величины межэлектродного промежутка, чем в генераторах релаксационного типа низкого напряжения.

Тиратронные генераторы RC строятся на различные частоты - до 30000 имп/сек.

Кроме тиратронного генератора RC в дальнейшем стоит задача произвести полный сравнительный анализ между машинно-тиратронным генератором и генератором с искровой коммутацией.

Список литературы

[1] *Левинсон Е.М.* Электроэрозионная обработка металлов // Лениздат. С.184.

[2] *Мешков А.Н., Кононов А.И., Скворцов А.Ф.*ТИРАТРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С САМОСЖАТИЕМ ИМПУЛЬСОВ В ВОЛНОВОЙ СИСТЕМЕ // В сборнике: Итоги научных исследований Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2015. С. 12-14.

[3] *Фотеев Н.К.* Технология электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1980, 184 с.

Кривов Роман Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: roma-gf@yandex.ru

Атрощенко Виктор Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: atroshchenkoviktor@gmail.com

Попков Вячеслав Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: slaviclinde@yandex.ru

А.И. Титов, И.Д. Соколова

АНАЛИЗ СПОСОБ, ПРИВОДЯЩИХ К ПОВЫШЕНИЮ РЕЖУЩИХ СВОЙСТВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

В настоящее время существует множество технологий по защите инструмента от воздействия трения, температуры, коррозии и других неблагоприятных явлений, оказывающих негативное влияние на качество обработки и длительность эксплуатации инструмента. Но также и придумано множество способов улучшения инструмента, как, например, цементация, цианирование и другие виды химического насыщения, термическая обработка, заточки и доводки, и т.д. Покрытие выбирается для каждого инструмента индивидуально, в зависимости от воспринимаемых им нагрузок. Рассмотрим некоторые из них.

Основным способом улучшения качества инструмента является термическая обработка. Она заключается в изменении структуры металла при нагреве, выдержке и охлаждении. Ее главные достоинства: увеличение устойчивости к износу сплавов, экономия (т.к. повысить качество инструмента данным способом выгоднее, чем приобрести новый инструмент) и снижение количества непригодных деталей [1]. Но есть и возникающие дефекты, такие как перегрев или пережог. Модификацией данного способа является химико-термическая обработка, которая во время выдержки еще и насыщает химическими элементами, повышающими стойкость материала. По сравнению с простой термообработкой она, очевидно, будет сильнее повышать качество инструмента, однако, чаще всего они применяются совместно. Недостатками являются: длительный и строго регламентированный процесс, деформации и коробления, массивные установки. Имеется также технология напыления со следующими достоинствами: возможность нанесения на любой материал, простота конструкции оборудования, высокая производительность при небольшой трудоемкости. Недостатки: более вредные условия работы операторов, по сравнению с предыдущими способами, требуется предварительная обработка пескоструем [2]. Следующий способ – плазменная обработка, также основанная на изменении структуры. Достоинства: Возможность упрочнять слой до 5 мм, локальное упрочнение изнашиваемых участков, сохранение требуемой шероховатости. Недостатки: высокая пористость, слабая адгезия, невысокая производительность.

В настоящее время разработаны новые способы повышения режущих свойств за счет воздействия на специальные инструментальные стали светолучевой обработки или радиоактивного облучения [3]. В результате та-

кого воздействия прочность и твердость поверхностного слоя инструментального материала возрастает при снижении пластичности. Но недостатки методов (дорогостоящи и риски) не приводят к расширению области их применения. Лазерная обработка, напротив, является безопасным и более экономичным способом влияния на микроструктуру поверхностного слоя стали, и приводит к повышению твердости и износостойкости инструмента.

Конечно, повышать качество инструмента – это хороший способ увеличить его работоспособность, но есть также возможность добиться этого, сделав обрабатываемый материал более податливым. Например, всем известно снижение механических свойств металла вызванных флокенами, которые образуются вследствии поглощения металлом газов, в частности водорода. Такой металл будет проще разрушаться при обработке, значит можно специально насыщать поверхность материала водородом для образования в удаляемом слое флокенов, с целью упрощенного снятия насыщенного слоя, так как процесс водородного охрупчивания обусловливает снижение уровня напряжений, необходимых для разрушения. При высокой степени насыщения материала водородом практически не требуется внешнего напряжения для зарождения и роста микротрещин. Как и при любом насыщении материала химическими элементами, глубина насыщенного слоя будет зависеть от времени выдержки [4]. Скорость роста насыщенного слоя можно определить экспериментально, так как в изломе флокены представляют собой белые хлопьевидные трещины, которые можно заметить при макроскопическом анализе, то есть невооруженным глазом либо небольшими увеличениями – до 30 раз.

К методам насыщения металлов водородом можно отнести уже известное насыщение из газовой фазы, происходящее при нагревании, либо катодное насыщение. Однако самым перспективным является метод ионной имплантации, так как он позволяет внедрять водород на нужную глубину независимо от свойств поверхности металла. Также и внутренние напряжения растяжения, возникающие при структурных превращениях металла, способствуют поглощению водорода. Подобным образом можно использовать фосфор, который, как известно, облегчает резание.

В инструментальном производстве часто используют покрытия (кубический нитрид бора, карбид бора, борид титана и др.) для повышения режущих свойств сталей и твердых сплавов [3]. Нанесение твердых пленок из искусственного алмаза на специальные стали и сплавы приводит к приближению свойств материала к натуральному минералу. Комбинирование различных слоев покрытий в виде многослойной структуры приводит к получению заданных свойств углеродистых инструментальных сталей и сплавов.

Возможно, со временем нанесение защитных покрытий на инструменты станет не так востребовано из-за появления новых способов резания материала, в которых не происходит физических контактов двух твердых материалов, таких как, например, лазерная или плазменная резка. Однако,

защитные покрытия останутся востребованы на готовых изделиях, для работы в агрессивных средах или ракетостроении.

Список литературы

[1] *Лахтин Ю.М.* Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: О OZON, 2015. – 448 с.

[2] *Анциферов В.Н.* Перспективные материалы и технологии порошковой металлургии. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2014. – 109 с.

[3] [Электронный ресурс] Инструментальные стали. Режим доступа: https://spb-stal.ru/stati/instrumentalnye-stali-metody-uluchsheniya-rezhushchikh-svoystv/ (дата обращения 15.10.2018)

[4] *Горицкий В.М.* Диагностика металлов. – М.: Металлургиздат, 2004. – 408 с.

Титов Артем Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tema201341@mail.ru

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

М.В. Мусохранов

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК МИКРОИНСТРУМЕНТОМ

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

В настоящее время в приборо- и машиностроение все чаще возникают задачи получения сложной геометрии, а именно узкие пазы, плоскости с различными труднодоступными участками и прочие элементы, особенно, если речь идет о микрообъектах. Исходя из современных достижений в области производства микроинструмента становится возможным решение ряда подобных задач с помощью механической обработки, в частности обработка микрофрезами.

В настоящее время главной проблемой при микрообработке является нестабильность инструмента, и как следствие выход из строя фрезы. Последующая замена такого инструмента в процессе обработки привела бы к нарушению непрерывности микроповерхности, компания Magafor разработала специальную стратегию. CAD/CAM системы могут помочь в минимизации указанного риск:

1. Врезание инструмента в деталь должно быть как можно более гладким и длительным.
2. Использовать наклонное врезание или врезание по спирали сверху вниз [1].

С другой стороны, для улучшения технологических показателей компания MAKINO разработала специальный станок для микрообработке.

Ключевые факторы – конструкция станины станка, шпиндель, разработанный для микроинструментов, а также точность позиционирования оборудования

Точность линейных направляющих по осям достигается за счет применения специальных прецизионных направляющих роликов, которые обеспечивают высокую жесткость и эффективное демпфирование. Отклонение от прямолинейности направляющих составляет менее 0,1 мкм на 100 мм.

Основные характеристики шпинделя: частота вращения 400 – 45 000 мин$^{-1}$; крутящий момент 2 Нм при 100 % нагрузке; биение < 1 мкм при 45 000 мин$^{-1}$. [2]

В результате анализа литературных источников, была выявлена различная направленность на достижение технологических параметров при обработке микроинструментами и выявлена проблема в области теоретического обоснования вопросов, связанных с микроинструментами.

Список литературы

[1] Боденхаузен Й. В., Мюллер В. Новые технологии и средства микрофрезерования // САПР и Графика. 2005. № 8.

[2] Уве Шпитцен. Сверхточная микрообработка в промышленных масштабах. http://www.ito-news.ru/archive/2012/120822

Мусохранов Марсель Владимирович - канд. техн. наук, доцент кафедры " Машиностроительные технологии " КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: marls77@yandex.ru

Д.С. Аверкина, Е.Н. Малышев

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДСТВА К ВЫБОРУ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

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

Рынок постоянно развивается, следовательно, производству необходимо повышать свои показатели, чтобы сохранять свои позиции. На производстве режущий инструмент является определяющим фактором процесса обработки деталей: его производительности, экономичности, надежности качества обработки, себестоимость изделия, время обработки и т.д. Режущая способность инструмента определяется физико-механическими свойствами материала, из которого он изготовлен. Работоспособность металлорежущего инструмента может быть обеспечена только в том случае, если его рабочая часть выполнена из материала, обладающего комплексом определенных физикомеханических свойств. К основным свойствам, определяющим работоспособность инструмента относятся твердость, теплостойкость, износостойкость, теплопроводность и адгезионная способность.

Твердость материала, из которого изготовлен инструмент, должна превышать твердость обрабатываемого материала. В связи с тем, что на рабочую часть инструмента действуют большие силы резания, создающие изменение формы инструмента, инструментальный материал должен обладать прочностью. На твердость и прочность инструментального материала существенное влияние оказывает соотношение легирующих компонентов и углерода, входящих в их состав в виде карбидов, а также примеси в сплаве. С увеличением количества карбидов и уменьшением их зернистости твердость и износостойкость инструмента повышается, а прочность понижается.

Износостойкость инструмента характеризуется сопротивляемостью инструмента истиранию под действием сил трения, возникающих в процессах резания. От износостойкости инструмента зависит параметр экономики производства: чем больше изностойкость инструмента, тем реже его приходится менять и тем меньше их общая стоимость.

Тепловое состояние режущего инструмента является своеобразным индикатором, отражающим характер протекающего процесса резания, поэтому оно определяет работоспособность режущего инструмента и косвенно свидетельствует об изменении качества формируемых поверхностей деталей и их точности. С повышением температуры в режущем инструменте резко инициируются процессы макро- и микроразрушения контактных площадок инструмента. Теплопроводность инструмента определяется способностью его отво-

дить возникающее в процессах резания тепло от режущих граней инструмента. Чем выше теплопроводность, тем лучше отводится тепло от режущих кромок, благодаря чему повышается стойкость инструмента.

Адгезионная способность инструментального и обрабатываемого материала характеризуется температурой, при которой происходит налипание обрабатываемого материала на режущие грани инструмента. Она зависит от молекулярных сил, развивающихся при высоких температурах и давлениях в точках контакта режущего инструмента с обрабатываемой поверхностью. Чем выше температура налипания обрабатываемого материала на инструмент, тем качественней должен быть материал, из которого инструмент изготовлен. Для устранения или торможения процессов, негативно воздействующих на работоспособность изделий, применяют различные способы направленного изменения свойств поверхностных слоев материалов, например, нанесение износостойких покрытий на основе нитридов, карбонитов тугоплавких металлов.

Экономический эффект также обусловлен повышением работоспособности режущего инструмента. А работоспособность задается изначальным выбором состава материала, т.е. выбор легирующих элементов и их количество, количество углерода, количество примесей. Меняя эти показатели, возможно добиться наибольшей экономичности производства.

Проблеме производительности необходимо уделять особое внимание, так как она влияет в первую очередь на понижение себестоимости продукции. Наибольшую и притом революционизирующую роль играет материал режущей части инструмента. История развития режущего инструмента ярко показывает резкое повышение производительности при переходе от инструментальной углеродистой или инструментальной легированной стали к быстрорежущей стали или от быстрорежущей стали к твердым сплавам. Например, повышение скоростей резания при переходе от углеродистой к быстрорежущей стали и к твердым сплавам характеризуется такими соотношениями (принимая скорости резания для углеродистой стали за единицу) 1 : (4-4,5) : (16-25), причем эти цифры взяты в качестве средних показателей, а не как рекордные. Отсюда следует, что никакой другой фактор не может конкурировать с материалом режущей части инструмента в деле повышения производительности труда.

Исходя из вышеперечисленного следует, что проблема выбора материала инструмента всегда сохраняет свою актуальность.

Данная тема требует постоянного изучения. Причиной этого является постоянное появление новой информации, новых сплавов, развитие науки и техники, появление нового оборудования на рынке производства. Существует необходимость разработки новых научнообоснованных подходов и методик, позволяющих определить чувствительность характеристик производства к выбору инструментальных материалов. Результаты исследования будут актуальны и полезны для производств: машиностроение и металлообработка, обрабатывающая промышленность и другие.

Список литературы

[1] Васильев Е.В., Иванов П.С., Игисенов Б.К., Креймер А.В., Рейтер Д.Б., «Анализ способов повышения износостойкости режущего инструмента» в сборнике: Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее сборник статей XV Международной научно-практической конференции: в 3 ч.

[2] Лазарев Д.Е., Насад Т.Г, «Режущие инструменты для повышения качества и производительности механической обработки точных отверстий Стин. 2014. № 1. С. 14-17.

[3] Сырицкий А.Б., «Диагностика режущего инструмента в контексте повышения эффективности и производительности металлообработки». В сборнике: Россия молодая Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2015. С. 688.

[4] Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Зенкин Н.В., «Энергия поверхностного слоя металлов как инструмент воздействия на величину коэффициента трения», Фундаментальные исследования. 2015. № 2-2 С. 251-254

[5] Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Антонюк Ф.И., «Влияние технологического воздействия на энергетическое состояния поверхностного слоя деталей», Современные проблемы науки и образования. 2015. №1-1 С. 59.

[6] Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В., «Выбор метода для автоматизации контроля состояния режущего инструмента», Южно-Сибирский научный вестник. 2014. №3 (7). С. 53-55.

[7] Малышев Е. Н., Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., «Распределение энергии технологического воздействия при формировании рабочих поверхностей деталей машин из металлических материалов», Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 58.

Аверкина Дарья Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: daryaaverkina@yandex.ru

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

Э.С. Анкуда, В.В. Калмыков

АНТИВИБРАЦИОННАЯ ИЗНОСОСТОЙКАЯ ЗАЩИТА ПОВЕРХНОСТЕЙ

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

Современная техника часто сталкивается с необходимостью виброзащиты и повышения износостойкости элементов машин. В настоящее время непрерывно происходит разработка нового оборудования, отличающегося повышенной производительностью и мощностью. Это неизбежно ведет к увеличению вибрационного воздействия на элементы конструкции, что в свою очередь повышает их износ. Протекающие при действии механизма процессы становятся неустойчивыми из-за влияния вредных вибраций, поэтому в системе могут появиться сбои или вообще может произойти отказ оборудования. Неизбежным последствием действия на механизм вибраций является увеличение нагрузок и внутренних напряжений в элементах конструкции, из-за чего снижается работоспособность деталей, возникают усталостные разрушения, влекущие за собой появление трещин, которые в свою очередь приводят к деформации структуры материалов. При этом изменяется характер трения с последующим нагревом и износом рабочих поверхностей. Помимо износа элементов машин, вибрации могут привести к человеческим жертвам или пагубно сказаться на здоровье работников.

Совместное действие фреттингового износа (механического износа тел, пребывающих в контакте, в условиях их малых колебательных относительных перемещений, то есть вибрационного износа) и износа трибологического характера (износа при контактном взаимодействии твердых деформируемых тел при их относительном перемещении, то есть механического износа при трении) часто встречается в производственных металлоконструкциях различного назначения. Причем действие фреттингового износа зачастую влечет за собой износ трибологический. Поэтому целесообразно использовать покрытия нового типа, сочетающие как износостойкие, так и антивибрационные свойства.

Наличие поверхностной энергии обусловливает взаимодействие поверхности с веществами в окружающей рабочую поверхность среде (в том числе и со смазкой) [1]. Это явление получило название адсорбции. Адсорбция является причиной формирования граничных слоев: она приводит к обязательному появлению на поверхности элементов соседних фаз. Поверхностно-активные вещества в большинстве своем имеют органическое строение (спирты, жирные кислоты, мыла и т.п.) и содержатся в смазках. На рисунке 1 показано поведение молекул поверхностно-активного вещества в микротрещине: они производят расклинивающее действие. Отталкивание молекул влечет за собой неизбежный рост трещины, что приводит к падению твердости (эффект Ребиндера) [1; 2].

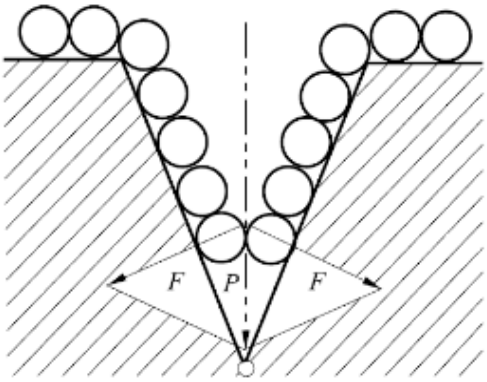


Рис. 1. Эффект Ребиндера:
P – нагрузка, вызванная адсорбционным слоем; *F* – расклинивающие силы

Эффект Ребиндера заключается в формировании в процессе трения тонкого пластичного слоя, имеющего низкое сопротивление сдвиговым деформациям, в результате которых происходит разрыв адгезионных соединений. Таким образом, адсорбционная активность поверхностей ведет к образованию на них тонкого граничного слоя, отличающегося по структуре и свойствам от чистого материала твердого тела. Физическое состояние вещества такого граничного слоя может быть как близким к газообразному, так и твердокристаллическим и зависит от многих параметров работы поверхности. Соответственно и свойства поведения граничных слоев могут варьироваться в широком спектре. При контактном взаимодействии деформируемых твердых тел при их относительном перемещении состояние и свойства граничного слоя изменяются, вследствие чего возможен адгезионный отрыв в системе, приводящий к износу [3-7].

В результате вибрационного воздействия на металлоконструкцию уровень амплитуд переменных напряжений может быть достаточно велик для накопления усталостных повреждений в элементах системы [8]. При совместном действии повреждений такого рода и повреждений трибологического характера происходит интенсивный износ рабочих поверхностей даже при наличии специальных износостойких смазывающих веществ. Применяемых на данное время методов виброзащиты (внутренней виброзащиты аппарата при изменении его конструкции, снижения виброактивности источника путем уменьшения уровней его механических воздействий, динамического способа гашения, виброизоляции) недостаточно, поэтому необходимо создавать и использовать новые современные подходы к решению данной проблемы, обладающие более общими параметрами. На данный момент в технике и промышленности непрерывно возникают новые задачи, вызванные проблемами создания оборудования с повышенными требованиями и ужесточением норм на вибрацию.

Таким образом, использование стандартных износостойких смазок и покрытий не в полной мере удовлетворяет потребности современного машиностроения, следовательно, поднимается вопрос об актуальности использования покрытий с комбинированными свойствами, в частном случае это антивибрационные и износостойкие свойства.

Список литературы

[1] Гегузин Я. Е., Овчаренко Н. Н. Поверхностная энергия и процессы на поверхности твердых тел // Успехи физических наук. 1962. Т. 76. №. 2. С. 283-328.

[2] Мышкин Н.К., Петроковец М.И. *Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии.* Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2007, 368 с.

[3] Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Авраменко М.Ю. Технологические предпосылки повышения эксплуатационных характеристик направляющих элементов // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-1. С. 55-58.

[4] Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Логутенкова Е.В., Сорокин С.П. Энергетическое состояние поверхностного слоя деталей машин // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 5-2. С. 276-279.

[5] Мусохранов М.В. Поверхностная энергия как показатель качества поверхностного слоя // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2005. № 12 (105). С. 62-64.

[6] Мусохранов М.В. Роль поверхностной энергии при формировании деталей в прецизионном машиностроении // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2005. № 6. С. 9-11.

[7] Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Logutenkova E.V., Malyshev E.N., Gorbunov A.K. Generation of surface energy in metals using row-by-row microdeformation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 24. С. 15621-15626.

[8] Челомей В.Н., Авдуевский В.С., Артоболевский И.И., Блехман И.И., Боголюбов А.Н., Боголюбов Н.Н., Бойцов В.В., Болотин В.В., Бутенин Н.В., Быховский И.И., Ганиев Р.Ф., Генкин М.Д., Григолюк Э.И., Диментберг Ф.М., Кобринский А.Е., Колесников К.С., Коловский М.З., Лавендел Э.Э., Лурье А.И., Митропольский Ю.А., Пановко Я.Г., Рагульскис К.М., Румянцев В.В., Седов Л.И., Серенсеи С.В., Фролов К.В. *Вибрации в технике. Т. 3.* Москва, Машиностроение, 1980, 544 с.

Анкуда Эвелина Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: e.ankuda@mail.ru

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kalmykovvv@bmstu.ru

К.В. Яшкин, В.В. Калмыков

ВАРИАНТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА

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

Задача коммивояжера (ЗК) является одной из известных задач теории комбинаторики. В работах [1-7] рассмотрено применение математических методов в инженерных задачах. Она была сформулирована еще в 1934 году, и вызвала не меньший интерес чем теорема Ферма. В своей области ЗК служит своеобразным полигоном, на котором испытываются новые методы.

Суть задачи заключается в том, что Коммивояжер должен выйти из первого города, посетить по разу в неизвестном порядке города: 1,2,3...n и вернуться в изначальный город. Расстояния между городами известны. В каком порядке следует обходить города, чтобы замкнутый путь коммивояжера был кратчайшим?

Решение ЗК на практике в основном реализуется либо на основе метода ветвей и границ, либо на основе жадного алгоритма.

Жадный алгоритм – позволяет определять кратчайшее расстояние путем определения самого короткого ребра, учитывая то, что это ребро не взаимодействует с уже выбранными ребрами. Он основан на выборе кратчайших расстояний и не решает задачу поиска оптимальной стартовой позиции. Кроме того, он может оказаться неэффективным, так как последний маршрут, самый длинный, часто снимает весь эффект экономии времени.

Основная идея метода ветвей и границ заключается в следующем: при помощи процедуры ветвления последовательно разбивается множество допустимых решений ЗК на непересекающиеся подмножества, а на основе оценок, получаемых процедурой нахождения границ, выбираются наилучшие подмножества для поиска кратчайшего пути. После чего их снова разбивают процедурой ветвления [4].

Проблема этого метода заключается в том, чтобы найти такие оценки (границы) и такое разделение на классы (ветви), чтобы процедура была максимально эффективной.

В ходе проведенных экспериментов был получен неожиданный результат, который показал превосходство жадного алгоритма над методом ветвей и границ. Эксперимент был осуществлен на корпусной детали с восемью отверстиями и с учетом особенности условий технологической задачи, которая заключается в том, что возвращение к координатам первоначального отверстия не имеет смыла. Путем сравнения, был определен кратчайший путь, который в свою очередь принадлежал жадному алгоритму.

Была поставлена задача усовершенствовать метод ветвей и границ, (как наиболее технологичный) скомбинировав его с жадным алгоритмом.

Возможно безошибочно решать задачу Коммивояжера новым методом, сгенерированным на основе рациональной комбинации метода ветвей и границ и жадного алгоритма.

Решение задачи Коммивояжера применяется постоянно при описании маршрута технологических операций, поиска максимальной производительности, логистическими компаниями, а также в сфере услуг, например, по доставке продукции на дом. Предварительные результаты исследования были апробированы на региональной научно- технической конференции. Предлагаемое решение, комбинирование двух методов, показывает наибольшую эффективность и исключает ошибки которые допускаются в двух методах.

Список литературы

[1] Яшкин К.В. Задача коммивояжера в технологических операциях // В книге: *Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в ВУЗЕ Материалы Региональной научно-технической конференции.* 2018. С. 19-20.

[2] Калмыков В.В., Космынина Е.В., Сорокин П.С. *Выбор методов оценки точности технологических процессов // Инженерный вестник.* 2012. № 8. С.4.

[3] Калмыков В.В., Федорова О.С., Малышев И.Е. Исследование статистических методов анализа технологических факторов при токарной обработке // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 48-52.

[4] Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В., Румовская С.Б., Доманицкий А.А. *Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем* / Под ред. А.В. Колесникова. – М.: ИПИ РАН, 2011. – 295 с.

[5] Калмыков В.В., Малышев А.Н., Покровская М.Э. *Анализ способов точного позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ // Инженерный вестник.* 2012. № 7. С. 1.

[6] Калмыков В.В., Федорова О.С. *Основные статистические методы анализа результатов экспериментов // Электронный журнал: наука, техника и образование.* 2016. № 1 (5). С. 68-75.

[7] Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В. *Определение оптимального количества классов группирования экспериментальных данных при интервальных оценках // Южно-Сибирский научный вестник.* 2014. № 3 (7). С. 56-58.

Яшкин Константин Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kostyayashkin@yandex.ru

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kalmykovvv@bmstu.ru

В.В. Бураков, А.Г. Вяткин

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТОЧНОСТЬ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В ПРИСПОСОБЛЕНИИ

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

Станочные приспособления являются важной и порой необходимой составляющей различных технологических процессов. Они необходимы для базирования, т.е. придания заготовке требуемого положения относительно заданной системы координат, а также для ее закрепления.

К основным задачам станочных приспособлений можно отнести: обеспечение требуемой точности, повышение производительности, и, непосредственно установку и закрепление заготовки. [1].

Наибольшее влияние на точность установки заготовки в приспособлении оказывает упругая деформация ее звеньев, через которые передается сила закрепления. При этом деформации сжатия заготовки и деталей приспособления сравнительно малы, а наибольшую величину имеют перемещения в стыке между заготовкой и установочными элементами.

Зависимость контактных деформаций для стыка: заготовка – опора приспособления выражается нелинейным законом [2]:

$$y=CQn,$$

где Q – сила, приходящаяся на опору ($n < 1$) (Н); C – коэффициент, характеризующий вид контакта, материал, шероховатость базовой поверхности и верхний слой заготовки.

$$C=f(HB,Ra,F),$$

где HB – твердость материала заготовки по Бринеллю; Ra – параметр шероховатости базовой поверхности заготовки (мкм); F – площадь контакта опоры с заготовкой (см^2).

В справочнике [3] приведены значения коэффициента C только для заготовок из стали и чугуна. Следовательно, необходимо провести исследования для других материалов.

Чтобы определить коэффициенты C и n для заготовок из алюминиевых сплавов, установленных на сферические опоры необходимо выполнить экспериментальные исследования.

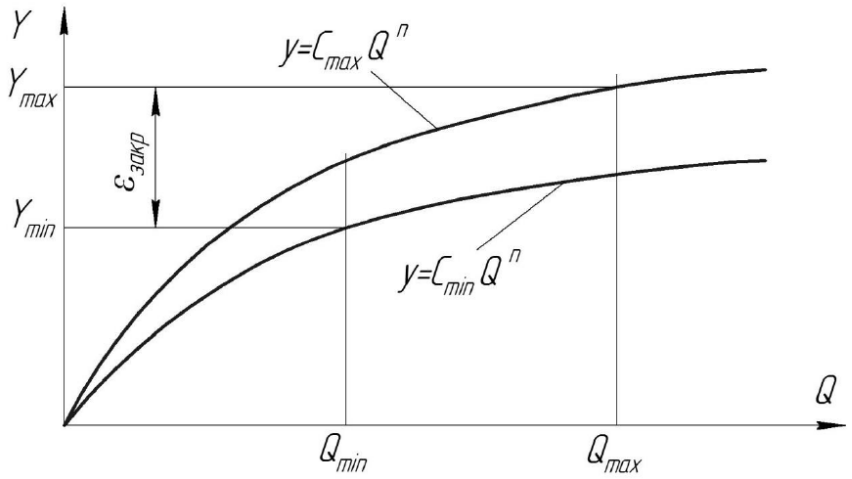


Рис. 1. График для определения погрешностей закрепления

Список литературы

[1] Полтавец О.Ф., Зимин В.В., Диланян К.Р. Пути повышения точности обработки корпусных деталей на многоцелевых станках. Обзор. С-3. Технология и автоматизация производства. М.: ЦНИИТЭИавтосельхозмаш. 1990. 90 с.

[2] Корсаков В.С./ Основы конструирования приспособлений М.: Машиностроение, 1983. 277с.

[3] Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. С74 Т1/Под ред. А М Дальского. А Г Косиловой. Р К Мешерякова. Л Г. Суслова 5 с изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение-1,2001. 912 с., ил.

Бураков Виктор Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bereg844@mail.ru

Вяткин Андрей Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: and-vyatkin@mail.ru

Я.С. Мельников, М.В. Мусохранов

ВЛИЯНИЕ ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ИЗДЕЛИЙ

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

Непрерывный рост технических требований к выпускаемым машинам вызвал необходимость совершенствования существующих и разработки новых технологических процессов. Прежде всего это касается заключительного этапа обработки деталей, что обусловлено резким повышением требований по размерной точности, шероховатости обработанной поверхности, качеству поверхностного слоя.

При выполнении технологических операций решаются сложные задачи такие как обеспечение некоторых эксплуатационных характеристик. Например, обеспечение определенных условий трения скольжения, в частности плавности перемещения сопрягаемых деталей относительно друг друга (без заедания). Важно установить какой из способов технологического воздействия в наибольшей степени обеспечит выполнение предъявляемых требований: доводочное шлифование, хонингование, шевингование, суперфиниширование, тонкое точение, алмазное выглаживание и другие финишные операции. Исходя из специфики вышеперечисленных операций, они должны выполняться на последних этапах изготовления деталей, так как за счет минимального припуска на обработку, эти операции в состоянии довести деталь до максимально возможных показателей точности и шероховатости, поэтому им требуется уделять особое внимание.

Несмотря на то, что влияние финишной обработки на эксплуатационные свойства поверхности изучено достаточно полно, обладая одинаковыми параметрами шероховатости, описываемыми ГОСТ 2789-73, профиль поверхности может отличаться, а, следовательно, и их эксплуатационные характеристики [3]. В связи с этим, появляется необходимость изучать дополнительные параметры поверхности, которые смогут описать профиль в полной мере.

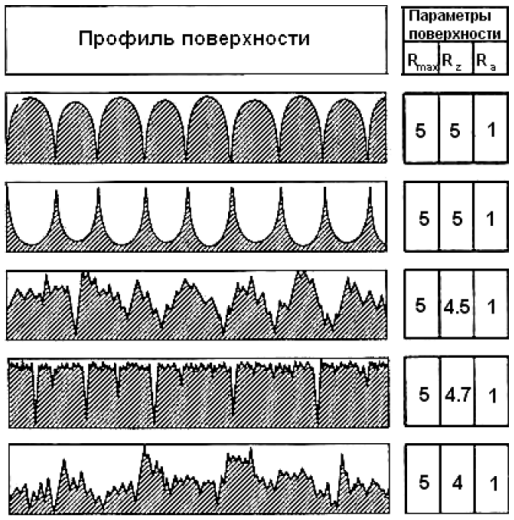


Рис. 1. Профиль поверхности при схожих параметрах шероховатости

Одним из таких параметров является среднеквадратичный угол наклона оцениваемого профиля, который рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$R\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^l (\frac{dz}{dx})^2 dx}$$

Параметр характеризует концентрацию напряжений, фрикционные свойства, устойчивость к износу и отражательные свойства поверхности адгезионные свойства поверхности, что важно при покраске и покрытиях. Чем меньше значение ($R\Delta q$), тем больше отражательная способность.

В свою очередь в этот параметр входит местный угол наклона поверхности, который вычисляется по следующей формуле [4]:

$$\frac{dz_i}{dx} = \frac{1}{60\Delta X}\left(z_{i+3} - 9z_{i+2} + 45z_{i+1} - 45z_{i-1} + 9z_{i-2} - z_{i-3}\right)$$

где z_i – высота i-ой точки профиля;

ΔX –расстояние между смежными точками профиля.

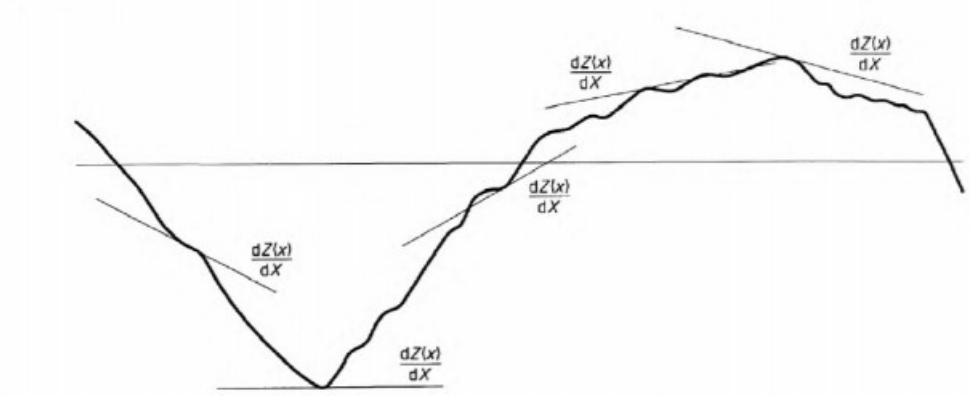


Рис. 2. Местный угол наклона профиля

В литературных источниках отсутствует информация описывающая степень влияния среднеквадратичного угла наклона на конкретные эксплуатационные свойства. Кроме того, нет данных какие технологические параметры формируют конкретные значения местного угла наклона профиля. Проведение исследований для решения этих вопросов является актуальным. Результаты исследований будут востребованы при производстве деталей с заданными эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

[1] *Макеев А.В.* Об оптических методах контроля шероховатости поверхности // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 5. № 1. С. 147-151.

[2] Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 4287-2014. Геометрические характеристики изделия (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения и параметры структуры поверхности.

[3] *Табенкин А.Н., Тарасов С.Б., Степанов С.Н.* Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт/ Под редакцией канд. т.н. Табачниковой Н.А. СПб.: Изд-во Политехн.ун-та, 2007, 136с.

[4] Pawel Pawlus / An analysis of slope of surface topography. Rzeszow University of Technology, Department of Manufacturing Technology and Production Organization 35-959 Rzeszow, Poland.

[5] *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Савина Ю.А.* Математическое моделирование качественных характеристик при обработке конструкционных материалов на основе железа // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2017. № 5. С. 74-77.

[6] *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Герасимова Н.С., Малышев Е.Н.* Остаточные напряжения в энергетической теории процесса схватывания поверхностей деталей машин // Фундаментальные исследования. 2015. № 12-2. С. 311-314.

[7] *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Малышев Е.Н., Антонюк Ф.И.* Влияние технологического воздействия на энергетическое состояние поверхностного слоя деталей // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1-1. С. 59.

[8] *Логутенкова Е.В., Мельников Я.С.* Анализ геометрических характеристик изделий // В сборнике: Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 4-6.

[9] *Калмыков В.В., Атрощенко В.Н.* исследование влияния методов обработки поверхностей на их износостойкость // В сборнике: Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 20-22.

[10] Мусохранов М.В. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя направляющих элементов машиностроения: дисс. канд. техн. наук – М, 2006. – С. 65.

Мельников Ярослав Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: melnickov.yar2017@ya.ru

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

С.А. Бысов, И.Э. Гинсар

ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ДЕФЕКТОВ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ ПЛАСТМАССЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ

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

На сегодняшний день наряду с новыми конструкционными материалами широкое распространение получили пластмассы, относящиеся к высокотехнологичным и эффективным в эксплуатационном и экономическом плане материалам [1]. Пластмассы широко используются практически во всех отраслях, а именно в автомобилестроении, машиностроении, нефтеперерабатывающей промышленности, медицинской техники. Их широкое применение объясняется малой длительностью изготовления изделия, минимальной энергоемкостью процессов обработки, улучшением внешнего вида, возможностью замены цветных металлов и легированных сталей.

Вследствие применения пластмассы в различных видах изделий, в том числе особо ответственных и видовых, качество литых деталей играет немаловажную роль. На сегодняшний день тщательно проанализированы и изучены как дефекты литья, причины появления, так и способы их устранения. Дефекты структуры деталей из полимерных материалов не только нарушают декоративные свойства, но и часто приводит к ухудшению механических характеристик материала [2-3]. Установлены следующие дефекты литьевых деталей:

1. Грат;
2. Утяжины;
3. Недоливы;
4. Коробление;
5. Отпечатки от выталкивателей;
6. Апельсиновая корка;
7. Трещина в изделии;
8. Сухое место и др.

Как правило, дефекты возникают из-за ряда причин, таких как возможные ошибки в самой технологии, некорректные значения режимов, неправильно подобранный материал или его низкое качество, конструкция самой пресс-формы. Сама же причина возникновения дефектов во многих случаях может быть выявлена лишь после трудоемких исследований [4]. Существуют следующие методы выявления дефектов:

1. Контрольный листок;
2. Диаграмма Парето;
3. Причинно-следственная диаграмма;
4. Контрольная карта;
5. Гистограмма.

Для их осуществления требуется фиксация работы оборудования, используемого сырья, отслеживание самой технологии. Например, для причинно-следственной диаграммы необходимо собирать информацию из всех доступных источников: журнал регистрации операций, журнал регистрации данных текущего контроля и т.д. После сбора информации ее необходимо классифицировать, затем - строить диаграммы. А на конечном этапе их необходимо анализировать. Как видно из вышесказанного, это приводит к большим затратам времени и ресурсов.

Исходя из этого, появляется задача, заключающаяся в поиске возможностей экономии средств, материала, времени и, как необходимость, в минимизации количества дефектов готовой продукции. Для решения такой задачи может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. ProCAST;
2. SolidWorks Plastics;
3. MoldFlow;
4. СКМ ЛП «ПолигонСофт».

Программа ProCAST в основном используется для имитации процессов, таких как изготовление стержней, литье по выжигаемым моделям, непрерывное литье и т.д. SolidWorks Plastics предназначен для исследования процесса литья под давлением подетально, а именно заполнение пресс-формы, охлаждение, коробление, выдержка под давлением [5]. MoldFlow позволяет производить расчет температурных полей, работы фильтров, поля жидкой фазы и может быть использован практически для всех видов литья. СКМ ЛП «ПолигонСофт» считается аналогом ProCAST, и используется для критериальных расчетов и анализа многих свойств и параметров.

Использование программ компьютерного инжиниринга для моделирования процесса формования изделий из пластмасс литьем под давлением позволяет увидеть все его особенности, оценить возможные причины появления брака, предложить способ их устранения еще на стадии проектирования изделия и оснастки для его получения [6].

Из вышеперечисленных наиболее удобная в использовании программа SolidWorks Plastics, которая подетально позволяет имитировать процесс литья, выявить дефекты на ранних стадиях, визуально оценить литую деталь, а полученные результаты сохранить в журнал, либо в виде презентации.

Программа позволяет получить имитационную модель литой заготовки, в ходе анализа которой составляется план мероприятий, направленных на сокращение дефектов путем оптимизации формы и размеров заготовки.

Таким образом, применение программного обеспечения для моделирования процесса литья предоставляет возможность сокращения материальных, финансовых ресурсов и самих дефектов литых деталей [7-10].

Список литературы

[1] *Кржижановский В.К.* Пластмассовые детали технических устройств. – М.: Научные основы и технологии, 2013. – 456 с.

[2] *Бихлер М.* Дефекты литьевых деталей из полимерных материалов и способы их устранения // Полимерные материалы. – 2005. – № 9. – С. 10-13.

[3] *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Логутенкова Е.В., Сорокин С.П.* Энергетическое состояние поверхностного слоя деталей машин // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5-2. – С. 276-279.

[4] *Виленс А.* Устраняем дефекты при литье полистирола // Пластикс. – 2012. – №7. – С.22-25.

[5] *Weiss K., Ogorodnikova O.M., Popov A.V.* Computerized engineering analysis of castings in the WinCast Program. Metalcasting industry trends // Litejnoe Proizvodstvo – 2002. – № 7. – P. 25-26.

[6] *Курносов В. В., Косолапов Д. С., Перухин Ю. В., Стоянов О. В.* Компьютерное моделирование процесса изготовления изделия «Лопатка» из пластмасс литьем под давлением // Вестник Казанского технологического университета – 2013. – №10. – С. 169-172.

[7] *Красовский Н.С.* Моделирование процессов литья под давлением // Молодой ученый. – 2016. – № 1. – С. 174-179.

[8] *Малышев Е.Н., Бысов С.А.* Выявление функциональной и параметрической общности процессов обработки и сборки // Инженерный вестник. – 2013. – № 10. – С.4.

[9] *Малышев Е.Н., Бысов С.А.* Создание автоматизированных технологических систем на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – № 4. – С. 26-32.

[10] *Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Савина Ю.А.* Математическое моделирование качественных характеристик при обработке конструкционных материалов на основе железа // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 5. – С. 74-77.

Бысов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bysov.s@yandex.ru

Гинсар Ирина Эдуардовна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: irinaginsar708@gmail.com

Д.В. Васильев, Н.В. Зенкин

ГЕНЕРАТОРНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ПРОВЕХНОСТЕЙ ПРОТЯГИВАНИЕМ

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

Отверстия и наружные поверхности фасонного профиля могут быть обработаны либо профильным, либо генераторным методом протягивания. При профильном методе режущие зубья протяжек, начиная от первого и кончая последним имеют фасонные режущие лезвия, профиль которых подобен заданному профилю протягиваемой фасонной детали [1]. При генераторном методе протягивания режущие зубья протяжек срезают подлежащий удалению объем металла с заготовок изделия тонкими параллельными слоями и фасонный профиль на обрабатываемом изделии воспроизводится постепенно, в результате работы последовательно вступающих в резание вспомогательных режущих лезвий на боковых профильных сторонах всех рабочих зубьев [2].

Изготовление протяжек генераторного типа и их переточка в процессе эксплуатации сопряжены с меньшими технологическими трудностями по сравнению с профильными протяжками.

Эти положительные качества протяжек генераторного типа особенно ценны при изготовлении спиральных протяжек и их последующих переточках, затыловка или иной, способ заточки задних углов на профильных режущих зубьях, расположенных наклонно под углом к вектору окружной скорости вращения протяжки и расположенных к тому же на разном расстоянии от оси вращения, представляет исключительные технологические трудности. На рисунке 1 представлен чертеж спиральной протяжки [3].

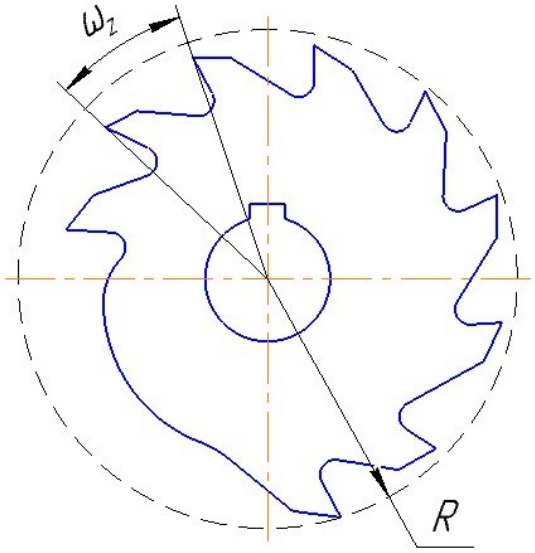


Рис. 1. Спиральная протяжка

Процесс изготовления генераторных спиральных протяжек значительно проще. В этом случае вершина профильной части каждого зуба срезана по цилиндрической поверхности [4]. Срезанная часть образует на каждом зубе главное режущее лезвие, располагающееся на спиральных протяжках по винтовой линии так же, как на цилиндрических фрезах с винтовым зубом. В отличие от последних главное режущее лезвие каждого последующего зуба протяжки несколько короче (а может быть и длиннее) и имеет радиус больше, чем радиус предшествующего зуба, на толщину срезаемого слоя [5]. Это позволяет производить заточку передних и задних поверхностей зубьев генераторных спиральных протяжек на универсально-заточных станках так же, как заточку цилиндрических фрез [6].

Нужная, величина задних углов и сохранность фасонного профиля после всех последних переточек боковых вспомогательных режущих лезвий могут быть достигнуты обычным методом затылования, как это делается, например, на модульных червячных фрезах.

Применение генераторного метода позволяет значительно упростить технологию производства и переточки спиральных протяжек. Этот метод заменяет сложную схему профильного резания простой генераторной схемой обработки винтовыми главными режущими лезвиями рабочих зубьев ряда последовательно заменяющих друг друга цилиндрических поверхностей, пока вспомогательные режущие лезвия последнего рабочего и фасонные профильные лезвия калибрующих зубьев не замкнут готовый фасонный профиль окончательно обработанной детали.

Список литературы

[1] *Грановский Г.И.* Кинематика резания. -М.: МАШГИЗ, 1948. - 205 с.

[2] *Этин А. О.* Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. – М.: Машиностроение 1964. - 321 с.

[3] *Зенкин Н.В., Щелупова О.А.* Исследование влияния технологических факторов на качество поверхности обработанной фрезами с двумя режущими кромками // Машиностроение и компьютерные технологии. 2012. № 8. С. 1.

[4] *Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В.* Выбор метода для автоматизации контроля состояния режущего инструмента // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 3 (7). С. 53-55.

[5] *Зенкин Н.В., Калмыков В.В., Малышев И.Е.* Фрезерование отверстий специальными фрезами // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2016. № 1 (5). С. 76-81.

[6] *Зенкин Н.В., Щелупова О.А.* Обработка внутренних поверхностей вращения фрезами с двумя режущими кромками // Инженерный вестник. 2012. № 7.

Васильев Денис Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vasilyev.71@yandex.ru

Зенкин Николай Васильевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

К.А. Шулепов, Н.В. Зенкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА НАЛАДКУ И СМЕНУ ИНСТРУМЕНТА

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

Традиционно стойкость режущего инструмента определяет его срок службы. Под стойкость понимается время, которое инструмент будет работать до выхода из строя.

В связи с развитием и появлением новых технологий значения стойкости для различных режущих инструментов претерпевали изменения. Например, для всех фрез в среднем это значение варьировалось от 60 минут (было предложено Комиссией по резанию металлов в 1942 г.) до 45 минут (снижено в 80-х годах прошлого века) [1].

Однако все эти величины стойкости инструментов далеки от оптимальных значений стойкости инструмента и скорости резания как с точки зрения обеспечения минимальной себестоимости, так и с точки зрения максимальной производительности. Это отраженно на данном графике [2].

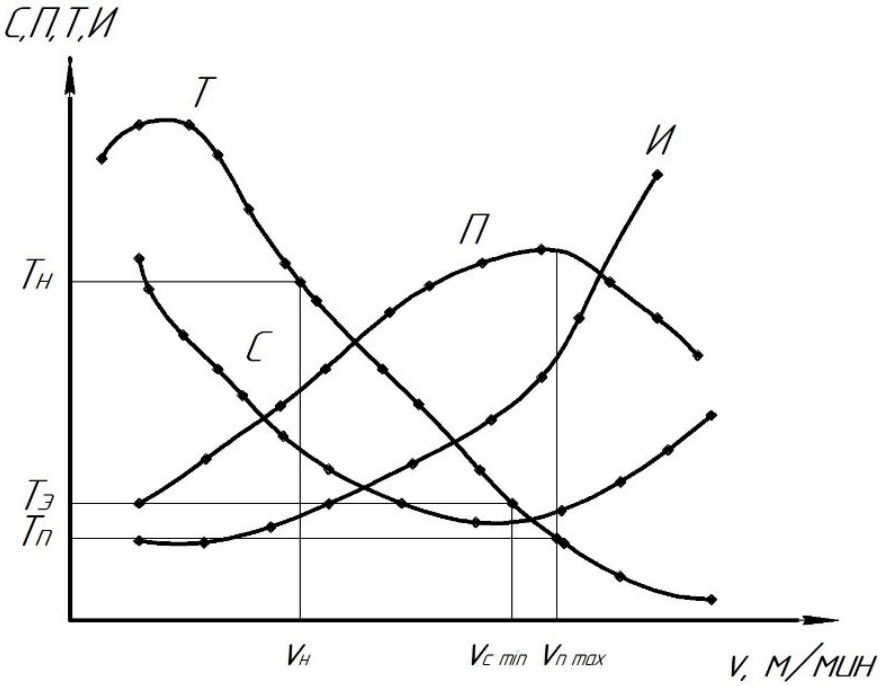


Рис. 1. Влияние скорости резания на себестоимость (С), производительность (П), расход (Р) и стойкость (Т) инструмента

Поэтому существующие оптимизационные методики выбора режима резания предлагают не назначать стойкость режущего инструмента как ис-

ходную величину, а сразу рассчитывать скорость резания на основе требуемых технико-экономических показателей процесса обработки и исходя из них задавать значения стойкости инструмента [3,4].

В действительности определение стойкости является экономической задачей. Поэтому целью нашей работы является выявление зависимости между временем смены и наладки инструмента и его стойкостью, на основе анализа общих издержек производства. Данные будут получены из результатов экспериментов по смене инструмента, настройке его на размер и замене пластин, на примере различных типов фрез. В результате будет получена удобная формула (так как она не требует подробных расчетов капитальных вложений и текущих затрат по каждому виду инструмента) для выявления экономически обоснованной стойкости инструмента.

Список литературы

[1] *Петрушин С.И.* Экономически обоснованный срок службы режущих инструментов // Вестник машиностроения. – 2007. – №4. – С.40–46.

[2] *Грановский Г.И.* О стойкости инструмента как исходном параметре для расчета режимов резания // Вестник машиностроения. – 1965. – №8. – С.59–63.

[3] *Новожилов В.И.* Методика выбора экономически оптимальных режимов резания металлов. – Л.: Знание, 1966. – 66 с.

[4] *Грановский Г.И.* Резание металлов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.

Шулепов Кирилл Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shulepoffkirill@yandex.ru

Зенкин Николай Васильевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m1@bmstu-kaluga.ru

А.В. Харитоненко, Т.А. Журавлева, В.Б. Сидоров,
А.Ю. Крылов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ И ОРИГИНАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ В КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

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

Термин технологическая оснастка понимается как средство технического оснащения, дополняющие технологическое оборудование для выполнения определенной части технологического процесса [1], включает в себя разнообразные штампы, пресс-формы и приспособления [2].

Приспособления в свою очередь делятся на 5 основных групп: станочные для обработки заготовок, для установки рабочего инструмента, контрольные для проведения операций контроля, сборочные для выполнения сборочных операций, приспособления для захвата, перемещения, используемые для автоматизированных производств. Такой вид технологической оснастки применятся для выполнения основных задач по увеличению производительности, установки деталей без выверки, расширение возможностей имеющегося оборудования. Штамп является технологической оснасткой, посредством которой заготовка приобретает форму и (или) размеры соответствующие поверхности или контуру рабочих элементов штампа [3]. Штампы используются для реализации большого количества разнообразных операций листовой и объемной штамповки [4]. Пресс-форма – это сложное конструктивное приспособление, используемое для получения деталей из металла, пластмасс, резины и других материалов. Конструкции пресс-форм очень разнообразны, как и получаемые детали в них.

Все перечисленные виды оснастки в своей конструкции имеют множество элементов, которые условно можно разделить на оригинальные и стандартные. К стандартным деталям следует отнести плиты, различные направляющие элементы, колонки, втулки, толкатели, упоры, метизы и прочие, а к оригинальным деталям следует отнести формообразующие элементы технологической оснастки, такие как матрицы, пуансоны, вставки, знаки, ползуны, и т.д.

Современный рынок деталей технологической оснастки имеет весьма широкий номенклатурный ряд стандартизованных и унифицированных комплектующих, которые поставляются такими компаниями как DESTACO, FODESCO, DYTON, SANKYO, FIBRO, и т.д.

В рамках настоящей работы следует рассмотреть три основных варианта получения оснастки для предприятия первым из которых является пол-

ный цикл производства оснастки на собственном предприятии. Второй вариант предусматривает приобретение оснастки на предприятиях, специализированных на проектировании и производстве оснастки. Третий вариант включает закупку стандартных элементов оснастки у специализированных компаний и производство формообразующих элементов в условиях собственного инструментального хозяйства производственного предприятия.

Для выбора оптимального варианта получения оснастки необходимо рассмотреть ряд определенных вопросов, которые включают обзор существующих каталогов стандартных покупных элементов, доступных для приобретения у специализированных предприятий, а также оценить стоимость этих комплектующих и срок их поставки. Стоимость и срок поставки являются одними из главных факторов, который будет влиять на принятие решения относительно приобретения стандартных элементов или в целом оснастки как альтернативу изготовления оснастки в целом или ее деталей на собственном инструментальном производстве. К тому же необходимо оценить технологические возможности собственного инструментального хозяйства, а именно технологические возможности оборудования (габариты, мощность приводов, грузоподъемность столов, наличие грузоподъемного оборудования и т.д.) и его состояние, а также наличие квалифицированных кадров инструментальных и станочных специальностей, а также уровень инженерно-технического персонала. В том числе необходимо тщательно проанализировать риски [5] собственного инструментального хозяйства производственного предприятия.

Определение экономической целесообразности и эффективности покупки частей и комплектующих для оснастки на сторонних специализированных предприятиях или полного, или частичного производства этих деталей в условиях инструментального хозяйства производственного предприятия необходимо проводить на основе сравнения технологий и их доступности для разного типа производств и технологической себестоимости изготовления [6]. В качестве основных критериев для принятия решения приобретения деталей и комплектующих технологической оснастки на специализированных предприятиях или их изготовления в условиях инструментального хозяйства производственного предприятия следует принять качество изготовления технологической оснастки, ее стоимость и срок поставки[7].

В современных производственных условиях конструкторы и технологи, которые непосредственно участвуют в создании того или иного вида технологической оснастки должны владеть передовыми конструкторскими решениями и подходами, технологическими методами и приемами, и в том числе обладать знаниями относительно наличия на современном инструментальном рынке стандартных деталей и возможности их применения в конструкции технологической оснастки для повышения экономической эффективности производства технологической оснастки для различных типов производства[8].

Список литературы

[1] ГОСТ 3.1109-82 Межгосударственный стандарт. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий. М.: Стандартинформ, 2012

[2] ГОСТ 31.0000.01-90 Межгосударственный стандарт. Технологическая оснастка. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1991.

[3] ГОСТ 15830-84 Государственный стандарт СОЮЗА ССР. Обработка металлов давлением. Штампы. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1984.

[4] Ковка и штамповка: Справочник. В 4-х т./Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986.

[5] Меняйло Г.В., Крылов А.Ю., Малышев А.Н. Идентификация рисков инструментального хозяйства современного производственного предприятия // Современная экономика: проблемы и решения 2018. № 1 (97). С. 47–54.

[6] Блюменштейн В.Ю., Клепцов А.А. Проектирование технологической оснастки. Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 224с.: ил.

[7] Схирладзе А.Г. Автоматизированное проектирование штампов. Учебник для ВУЗов. СПб.: Издательство «Лань», 2014. - 288с.

[8] Тарабарин О.И., Абызов А.П., Ступко В.Б. Проектирование технологической оснастки в машиностроении: Учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2013. - 304с.: ил.

Харитоненко Антон Владимирович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ant40192498@yandex.ru

Журавлева Татьяна Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Сидоров Владимир Борисович – ст. преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Крылов Алексей Юрьевич – аспирант НОУ ВПО «Институт управления, бизнеса и технологий». E-mail: krylov-alex1986@yandex.ru

И.А. Колесников, Е.Н. Малышев

ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ КОНТУРНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ

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

Для фрезерования наружных и внутренних контуров различных деталей применяются концевые фрезы, работающие своей наружной цилиндрической поверхностью. Эти же фрезы также применяются при обработке плоских поверхностей в различных углублениях, пазах и выемках.

В процессе чистового прохода по контуру концевая фреза на участке внутреннего радиусного сопряжения подвергается действию скачкообразной, а также многократно возрастающей силы. Инструмент практически останавливается; при этом изменяется направление его подачи (рис. 1).

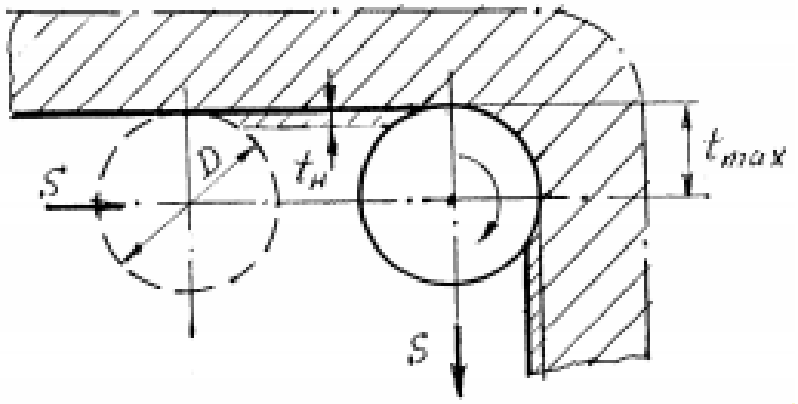


Рисунок 1 – Схема обхода радиусного сопряжения при контурном фрезеровании

Из-за этого происходит резкое изменение глубины резания от номинального значения $\boldsymbol{t_н \approx 0,2 \ldots 1}$ мм до предельного значения, равного радиусу фрезы $\boldsymbol{t_{max} = 0,5D}$. Резкое, многократное увеличение силы резания провоцирует отжим фрезы от детали и образование на обработанной поверхности погрешностей формы в виде уступов, выемок, подрезов. Также может произойти и поломка инструмента, что означает возникновение аварийной ситуации и получение бракованной детали. Для уменьшения возрастающей силы резания, и как следствие, уменьшения погрешностей формы при обходе скруглений рекомендуется применять концевую фрезу с радиусом меньшим, чем минимальный радиус закругления на создаваемом контуре. Рекомендуется на длине 10…15 мм перед точкой резкого изменения направления движения вводить командой G 09 торможение для уменьшения контурной подачи в 2…3 раза. На современных станках с ЧПУ подобное торможение предусмотрено программным обеспечением УЧПУ. Наихудшее качество обрабатываемых поверхностей получается при обработке лишь одной режущей кромкой, так как при данном варианте обработки

имеет место повышенное биение фрезы. Для контурной обработки и фрезерования уступов можно применять трехсторонние фрезы.

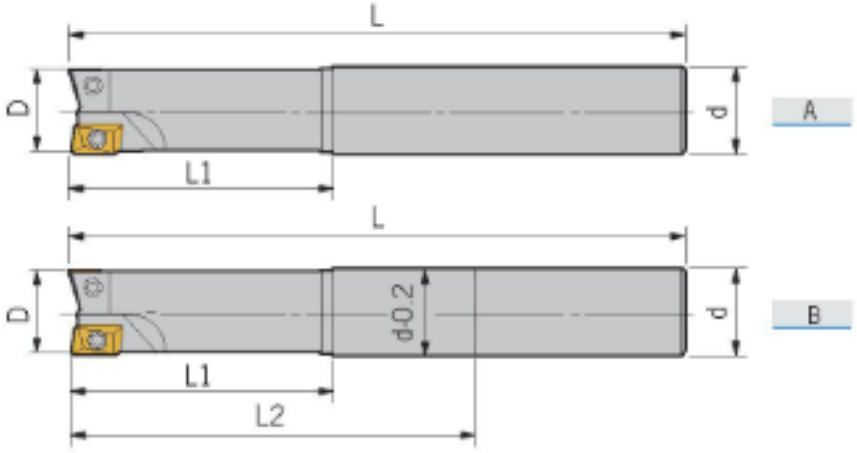


Рисунок 2 – Пример трехсторонней грибковой фрезы

Однако помимо возникновения погрешностей формы детали от работы цилиндрической части фрезы, возникает неодинаковость штрихов шероховатости на плоской поверхности детали при фрезеровании скруглений и различных криволинейных поверхностей. Дело в том, что при обходе радиусного сопряжения, на участке плоской поверхности, находящейся ближе к скруглению, происходит более частое появление следов шероховатости, чем на участке, находящемся дальше от него, что обусловлено более частым касанием зубьями фрезы плоской поверхности на данном участке обхода. Целью работы является исследование данного явления, которое будет достигаться с помощью теоретических исследований, написания управляющей программы, а сами данные будут получены при проведении практического эксперимента на обрабатывающем центре MiniMill450.

Список литературы

[1] *Лебедев Л.В., Мнацаканян В.У., Схиртладзе А.Г.* Технология машиностроения. Учебник для вузов. М.: Академия, 2009.

[2] *Островский М.С., Мнацаканян В.У., Тимирязев В.А.* Программирование обработки деталей горных машин на станках с ЧПУ. Учебное пособие, Горная книга, М. 2009 г.

[3] Каталог DEREK 2017 Инструмент и оснастка для станков [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://lab2u.ru/katalog-derek-2017-instrument-i-osnastka-dlia-stankov-str-c26-0229-lab2u.html, свободный.

[4] Контурная обработка – фрезерование периферией [Электронный ресурс]. -Режим доступа: https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/edging/pages/default.aspx, свободный.

Колесников Игорь Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: koles.igor96@gmail.com

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

А.М. Панкрашин, А.В. Волков, И.К. Устинов

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

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

В последние годы для повышения долговечности различных изделий все шире используют лазерную обработку.

Лазерный луч - это мощный и концентрированный поток электромагнитного излучения, отличающийся от других энергетических методов воздействия на вещество особо упорядоченным состоянием. Промышленные лазерные системы делят на три основные группы: твердотельные; газовые, среди которых наиболее распространен CO_2-лазер; полупроводниковые. [1]

Лазерный луч отличается высокой плотностью энергии. Поглощение металлами лазерного излучения приводит к мгновенному увеличению энергии свободных и связанных электронов. Возбужденные электроны сталкиваются с атомами решетки, время их релаксации равно 10^{-12} с. Энергия лазерного излучения трансформируется в движение атомов и температура поверхностного слоя резко повышается. Этот тонкий поверхностный слой становится интенсивным источником теплоты.

Быстрый теплоотвод в глубь металла приводит к возникновению закалочных структур в поверхностном слое. Преимуществом лазерного термоупрочнения металлов является хорошая управляемость процесса. По сравнению с другими источниками теплоты геометрия лазерного луча легко изменяется оптическими приспособлениями, что позволяет достичь труднодоступные места деталей, включая внутренние поверхности полых валов и отверстий. [2]

После лазерной обработки упрочняется тонкий поверхностный слой. При этом нет необходимости тратить энергию на прогрев всей основы, предотвращается коробление обрабатываемой заготовки. Искажение поверхности при лазерной обработке минимально. Варьируя параметрами лазерного излучения, можно легко управлять тепловыми полями поверхностной зоны, уменьшая температурные напряжения.

Режим лазерной обработки с оплавлением является средством внедрения сторонних элементов в материал заготовки и получения в ней наперед заданных свойств. [1]

Лазерный луч используют для аморфизации поверхности, лазерной наплавки, отжига, шокового упрочнения. Применение лазерной обработки в комбинации с другими методами позволяет либо улучшить качество уже нанесенного покрытия, либо получить новое комплексное покрытие. [3]

Параметры лазерной обработки.

Характеристики режима лазерной обработки делят на два класса: параметры, характеризующие луч, и характеристика обрабатываемого материала.

Характеристики лазерного луча определяются пятью параметрами: тип работы (непрерывный или импульсный); длина волны излучения λ; диаметр пятна, сфокусированного на поверхности; скорость перемещения луча или время взаимодействия излучения с материалом, мощность излучения P или плотность излучаемой мощности q. В табл.1 представлены параметры лазерных устройств, применяемых для упрочнения материалов. [3]

Высокие плотности мощности лазерного излучения позволяют получать качественно новые свойства поверхностей, недоступные традиционным методам обработки материалов. Лазерная обработка поверхностей металлов и сплавов относится к локальным методам термической обработки с помощью высококонцентрированных источников нагрева. В этой связи лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет свои особенности и преимущества:

1. Высокая концентрация подводимой энергии и локальность позволяют производить обработку только поверхностного участка материала без нагрева остального объема и нарушения его структуры и свойств.

Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия.

2. Возможность регулирования параметров лазерной обработки в широком интервале позволяет разработать целый ряд процессов поверхностной лазерной обработки, в каждом из которых можно легко регулировать структуру поверхностного слоя и его свойства - твердость, шероховатость, геометрические размеры обработанных участков и др.

3. Возможность обработки на воздухе, легкость автоматизации процессов, отсутствие вредных отходов при обработке и т.д.

4. Возможность транспортировки излучения на значительные расстояния и подвода его с помощью специальных оптических систем в труднодоступные места, позволяет производить обработку в тех случаях, когда использование других источников энергии затруднительно или невозможно. [4]

Таблица 1. Параметры режима лазерного облучения, используемого для обработки материалов [3]

Активная среда	Длина волны λ, мкм	Режим работы	Мощность P , Вт	Частота ν, Гц	Время облучения $\tau \cdot 10^{-3}$, с
Твердотельный лазер					
Рубин	0,6943	Импульсный	20	2	0,3-6
Неодимовое стекло	1,06	То же	25	1	0,5-10
Алюмоиттриевый Гранат с неодимом	1,06 1,06	То же Непрерыв-ный	200 300	100-	0,1-10-
Газовый лазер					
CO_2	10.6	Импульсный	500	1000	0,1-1000
CO_2	10.6	Непрерыв-ный	2000	-	-
Ar	0.49	То же	50	-	-
Ar	0.51	То же	50	-	-
N_2	0.337	Импульсный	-	1000	0,01

Выводы:

Лазерная обработка металлических материалов обладает целым рядом преимуществ перед другими способами обработки металла.

Во-первых, при обработке металла лазером достигается высокая точность реза без погрешностей и с минимальными допусками.

Во-вторых, изделия и заготовки при обработке не деформируются, поскольку отсутствует механическое давление на материал.

В-третьих, хотелось бы отметить низкую стоимость и высокую скорость производства изделий сложных форм.

В-четвертых, использование специализированных компьютерных программ для обработки чертежей и создания раскроев позволяет максимально понизить процент отхода исходного материала.

После лазерной обработки упрочняется тонкий поверхностный слой. При этом нет необходимости тратить энергию на прогрев всей основы, предотвращается коробление обрабатываемой заготовки. Искажение поверхности при лазерной обработке минимально. Варьируя параметрами лазерного излучения, можно легко управлять тепловыми полями поверхностной зоны, уменьшая температурные напряжения.

Также еще одним преимуществом лазерной резки является возможность осуществлять порезку самых сложных контуров плоских деталей.

Однако лазерная обработка, как, впрочем, и любой другой метод поверхностного упрочнения режущего инструмента, наряду с преимуществами, имеет и недостатки. Для лазерного упрочнения это в первую очередь чрезвычайно низкий КПД и высокая стоимость оборудования, а также

трудности при упрочнении фасонного инструмента - протяжек, червяных фрез и др.

Список литературы

[1] Гладуш Г.Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов/ Г.Г. Гладуш. - М.: Машиностроение, 1985. - 208 с.

[2] Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. -М.: Машиностроение, 1989. -301 с.

[3] Рыкалин Н.Н. Лазерная обработка материалов / Н.Н. Рыкалин. - М.: Машиностроение, 1975. - 296 с.

[4] Исследование газолазерной резки металлов с целью получения деталей с высокими характеристиками точности и воспроизведения контура/А.Г. Валиухин, С.Г. Горный, А.М. Григорьев и др. - СПб.: Изд-во С. - Петерб. гос.ун-та, 1999. - 35 с.

Панкрашин Алексей Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Alexey.pankrashin@mail.ru

Волков Александр Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Инструментальная техника и инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru

Устинов Игорь Кириллович – канд. техн. наук, зав. кафедрой "Инструментальная техника и инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru

А.В. Волков, И.К. Устинов

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РЕЗАНИЯ

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

Известно, что процесс резания - это процесс взаимодействия режущего лезвия с материалом срезаемого слоя, который сопровождается отделением стружки и образованием новой поверхности [1]. Стружкообразование, изнашивание режущего инструмента и создание новой поверхности на изделии, осуществляемые одновременно, составляют в совокупности некую целостность, названную М.И. Клушиным [2] системой резания (СР), которая в свою очередь является подсистемой замкнутой динамической системы станка (ДСС) - обрабатывающей системы (ОС). Система резания как элемент ОС представляет собой сложную структуру, свойства которой определяются многими факторами: свойствами обрабатываемого и инструментального материалов, технологической среды, конструкцией инструмента и геометрией его лезвий, режимом резания, жесткостью элементов ДСС и т.п. СР является системой открытой и плохо организованной. Это связано в первую очередь с тем, что процессы, в ней происходящие, определяются действием факторов, которые находятся в тесном взаимодействии и характеризуются многочисленными прямыми и обратными связями. Она не может быть расчленена на подсистемы одной физической природы, описываемые определенным множественным числом уравнений или показателей. Анализ показывает, что все процессы, происходящие при резании, являются результатом обмена энергией между СР и другими подсистемами ДСС (упругая система станка, трение в соединениях, электропривод), которые составляют эквивалентную упругую систему [1].

Ранее было показано [3], что система резания, названная *рабочим процессом*, является составной частью технологической системы механической обработки резанием (ТС), которая представляет собой подсистему первого уровня и включает в себя, кроме СР, заготовку, инструмент, оборудование, смазочно-охлаждающую технологическую среду, средства контроля и управления. Ее основной целью является выполнение технологического процесса (ТП), связанного с изменением размеров, формы и свойств поверхности и материала обрабатываемой заготовки. Таким образом, технологическая система механической обработки резанием является инструментом преобразования обрабатываемой (исходной) поверхности с известными свойствами в обработанную с заданными свойствами. При этом, собственно, преобразование осуществляется системой резания, а другие компоненты ТС задают режим (условия) этого и обеспечивают подведение энергии к системе резания, определяя его результаты - технологические и экономические показатели процесса и качество обработанной поверхности [1].

Целью исследования является определение места воззрений Н.П. Мазура и др. [1] в предложенной нами классификации структурных схем системы резания [5-7].

Автору работы [1] известно, что с точки зрения кибернетического анализа систему резания можно характеризовать как «*объект*» *(рабочий процесс),* на который извне влияет ряд факторов (параметров): входные; управляющие; возмущающие.

Входными обычно принято называть параметры (факторы), значения которых можно измерять, но нельзя или нецелесообразно в момент практической реализации процесса изменять. Входными параметрами при механической обработке являются: заготовка (З) - материал, размеры, припуск на обработку, допуски на размеры и др.; обрабатывающая система - станок (Ст), приспособление (Пр), инструмент (Ин), технологическая среда (Тер), схема обработки (Сх) и др. [1].

Управляющими называют параметры, на которые можно влиять в соответствии с выбором разработчика (технолога) или, исходя из существующих требований, что позволяет управлять рабочим процессом (состоянием системы), например, режимом резания (Рж) как совокупностью значений *V, S, t* [1].

Возмущающими называются параметры, значения которых изменяются во времени случайно и которые, как правило, в момент практической реализации рабочего процесса не доступны для измерения (неравномерность припуска, неоднородность свойств обрабатываемого материала, высота нароста и т.п.) [1].

Результатом суммарного влияния входных, управляющих и возмущающих факторов являются показатели состояния системы резания или значения *выходных* параметров. К ним при механической обработке относят: производительность обработки (По), точность обработанных поверхностей (Тч), стойкость (Си) и прочность (При) инструмента, качество поверхности (Кп), экономические показатели процесса (Эк) и др. – см. рис. 1 [1].

Входные и управляющие параметры часто называют первичными, а выходные - вторичными параметрами технологической системы обработки [1].

Первичные параметры обычно задаются [1]:

- *конструктором* - материал обрабатываемой детали, ее размеры, необходимая точность обработки;
- *технологом* - обрабатывающая система (станок), приспособление, инструмент, технологическая среда, схема обработки, припуск на обработку и режим резания.

Входные параметры ТС определяют условия обработки (режим резания), рабочий процесс и ее выходные параметры. При этом режим резания играет роль регулятора, с помощью которого можно влиять на рабочий процесс для обеспечения оптимальных значений выходных параметров с учетом свойств подсистемы «деталь - обрабатывающая система» [1].

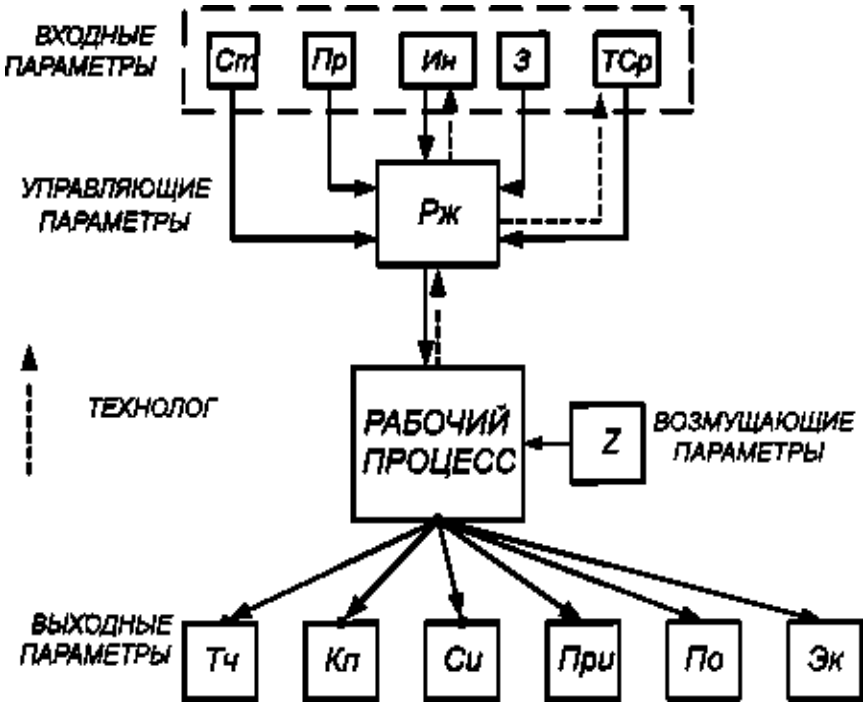


Рис. 1. Структурная схема технологической системы обработки резанием [1]

Вторичные (выходные) параметры характеризуются технологическими показателями. Они определяются как результат влияния процесса резания, осуществляемого при заданной обрабатываемой системе, на заготовку (эксплуатационные характеристики детали, в том числе, достигнутая точность обработки и качество поверхности), инструмент (его стойкость и прочность), станок и приспособление. Эти параметры в значительной степени определяют производительность и экономичность обработки [1].

В общем случае процесс обработки резанием можно характеризовать совокупностью: *заданных (требования обработки* – обрабатываемый материал, производительность обработки, допуски размеров, формы и расположения поверхностей, параметры качества поверхности, затраты на обработку и др.), *выбранных (условия обработки)* и *случайных* (неравномерность припуска, неоднородность материала срезаемого слоя, нарост, состояние режущего инструмента - хрупкое разрушение режущей кромки, пластическая деформация режущего лезвия, размер площадки изнашивания и др.) *факторов* [1].

Обеспечения необходимой работоспособности и надежности инструмента, а, следовательно, и обрабатывающей системы в целом можно добиться оптимизацией (подбором) выбранных факторов (рис. 2) и в первую очередь: инструментального материала, конструктивных параметров инструмента, схемы резания, режимов резания, качества поверхностей лезвия, контактных процессов. При этом необходимо учитывать, что на уровне оптимальных значений выбираемых факторов существенное влияние оказывает динамическое состояние обрабатывающей системы [1].

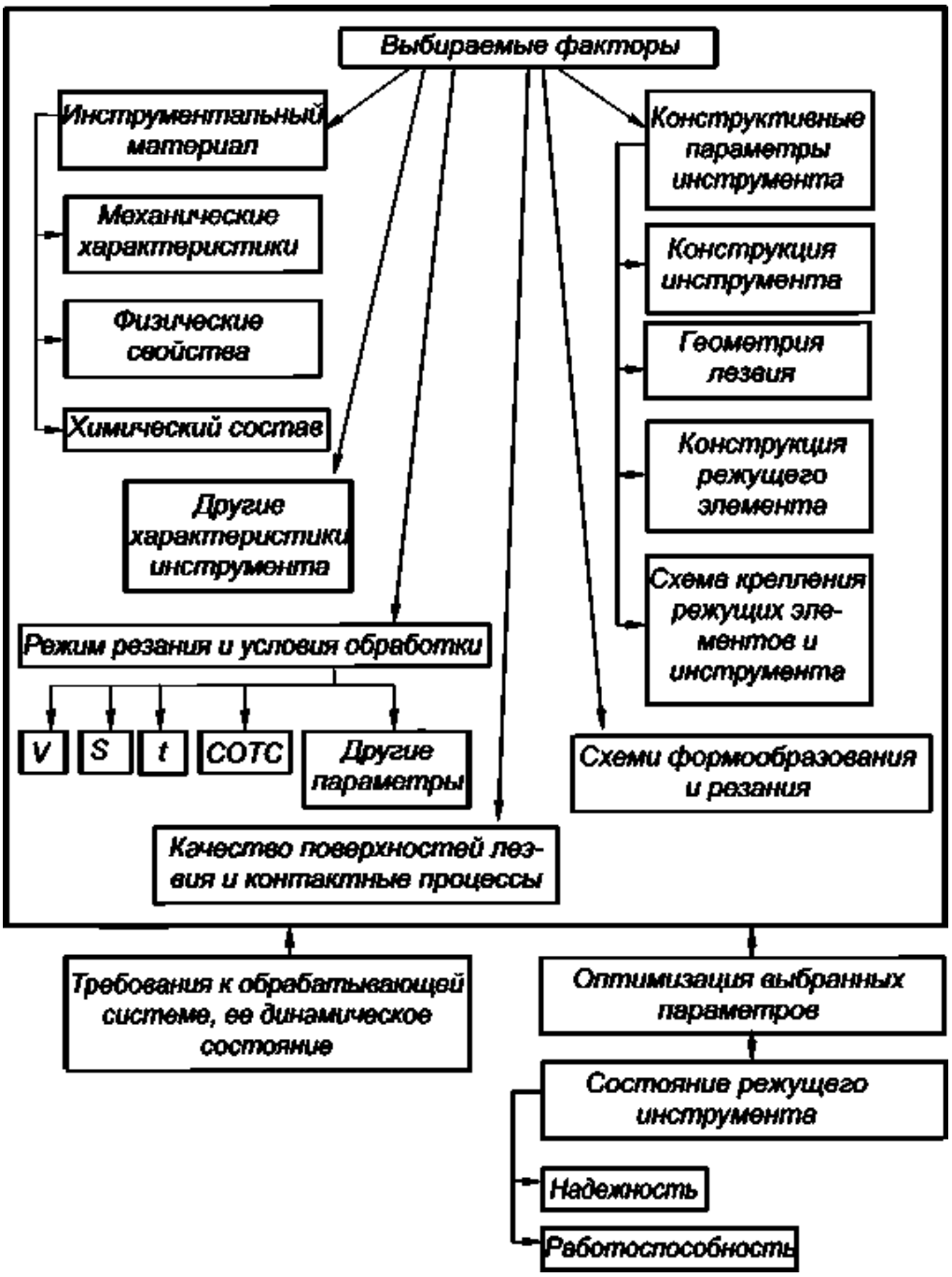


Рис. 2. Схема взаимосвязи факторов, которые определяют работоспособность и надежность обрабатывающей системы [4]

Стабильность получаемых значений вторичных параметров в последнее время становится одним из основных показателей метода обработки. Рассеивание этих значений обусловлено действием всех составляющих технологической системы и, в частности, нестабильностью таких физических характеристик обрабатываемого и инструментального материала, как плотность, прочность, пластичность и др. [1].

Стабильность сил, температуры резания и других параметров при механической обработке имеет особенное значение при построении адаптивных обрабатывающих систем [1].

Таким образом, предлагаемая технологическая система обработки определяет взаимосвязь между первичными (входными) параметрами, рабочим процессом и вторичными (выходными) параметрами [1].

На основе данных современных исследователей нами была предложена классификация структурных схем процессов резания для целей моделирования, разработки САУ, а также решения оптимизационных задач при совершенствовании процессов резания [5-7].

В работах Н.П. Мазура и др. [1], в случае использования структурной схемы процесса резания для целей разработки систем автоматического управления (САУ) процессом резания, а также решения оптимизационных задач (по В.Н. Подураеву [8], П.И. Ящерицыну [9], С.А. Грубому [10]), следует иметь ввиду, что решаемые авторами задачи методически требуют использования систем одностороннего действия, содержащих так называемый «черный ящик». Они полностью приспособлены именно для разработки САУ процессом резания, и отличаются тем, что содержат конкретно заданное количество входных и выходных параметров, формально не связанных друг с другом и между собой, что позволяет проектировать эффективные САУ из дискретных элементов, несмотря на то, что физические параметры, определяющие процесс резания, являются взаимозависимыми. Эти схемы с успехом могут быть использованы также для решения оптимизационных задач.

Фактически подход Н.П. Мазура и др. [1] в значительной мере совпадает с воззрениями ученых В.Н. Подураева [8], П.И. Ящерицына [9], С.А. Грубого [10] и потому классифицирован нами в модуле, так называемого «кибернетического» типа структурных схем системы резания [5-7].

Выводы: Работа Н.П. Мазура и др. [1], по нашему мнению, использует «кибернетический» тип структурных схем системы резания, включенный нами в качестве основного в разработанную классификацию. Этот тип полностью приспособлен для разработки САУ процессов резания, но отличается тем, что содержат конкретно заданное количество входных и выходных параметров, формально не связанных друг с другом и между собой, что позволяет проектировать эффективные САУ из дискретных элементов, несмотря на то, что физические параметры, определяющие процесс резания, являются взаимозависимыми. Кроме того, такие схемы с успехом могут быть использованы и для решения оптимизационных задач.

Список литературы

[1] Основы теории резания материалов: учебник [для высш. учебн. заведений] / Мазур Н.П., Внуков Ю.Н., Грабченко А.И. и др.; под общ. ред. Н.П. Мазура и А.И. Грабченко. - 2-е изд., перераб. и дополн. - Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. - 534 с.

[2] Клушин М.И. Оптимизация условий резания на технологической операции / М.И. Клушин // Оптимизация технологических процессов механосборочного производства: сб. докладов Всесоюзной научн.-техн. конф. - М.: Станкин, 1978. - С. 17-23.

[3] Резников А.Н. Тепловые процессы в технологической системе / А.Н. Резников. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.

[4] Разработка научных основ и принципов практического применения нестационарных видов обработки резанием на базе попутного тангенциального точения: дисс... докт. техн. наук: спец. 05.03.01: защищена 20.10.2000: утв. 15.03.2001 / Залога Вильям Александрович. - Сумы; Харьков, 2000. - 327 с.

[5] Волков А.В., Устинов И.К, Прасицкий В.В., Стрельченко С.С. Процессы резания и точения в технологиях производства изделий ЭКБ. Москва, Наукоемкие технологии, №10, 2015, т. 16. С.48-55.

[6] Волков А.В., Свитка А.С., Устинов И.К. Эволюция структурных схем процесса резания. Электронный журнал: наука, техника и образование, «Машиностроение», Калуга, ООО "Манускрипт", 2/2016 (6), стр.47-58.

[7] Волков А.В., Шестернина Е.А., Устинов И.К. Эволюция физической схемы процесса точения // Электронный журнал: наука, техника и образование. ISSN 2413-6220, СВ 2/2017 (12), 05.06.2017. Машиностроение. - [Электронный ресурс].

Волков Александр Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и инженерная графика» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru

Устинов Игорь Кириллович – канд. техн. наук, зав. кафедрой "Инструментальная техника и инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru

Э.С. Анкуда, В.В. Калмыков

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИВИБРАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

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

Как известно, вредное действие вибраций в металлоконструкциях усиливает интенсивность их износа. Причиной возбуждения вибрации на производстве являются возникающие при работе машин и агрегатов неуравновешенные силовые воздействия, имеющие различные источники. Вибрационная защита – это совокупность средств и методов уменьшения вибрации, воспринимаемой защищаемыми объектами. Вибрации способствуют снижению усталостной прочности машин и конструкций, приводящих к преждевременным отказам и снижают сроки работоспособности. Кроме того, при разработке виброзащитных систем большое внимание уделяется виброзащите человека-оператора [1]. Применение антивибрационных покрытий увеличивает срок службы изделий, а также может улучшить условия работы оператора, так как уменьшится вибрационное воздействие на организм человека.

В используемых в современности защитных смазках зачастую содержатся поверхностно-активные вещества, молекулы которых оказывают расклинивающее действие в микротрещинах, причем отталкивание молекул вызывает рост трещины и падение твердости (эффект Ребиндера) [2; 3], а, следовательно, и увеличение износа рабочей поверхности. Поэтому целесообразно применять покрытия, обладающие одновременно антивибрационными и износостойкими свойствами в деталях машин, поскольку такие покрытия частично предотвратят появление усталостных вибрационных напряжений, возникающих в результате малых колебательных относительных перемещений деталей, то есть в результате вибраций, что уменьшит шанс появления трещин и снизит трибологический износ при трении компонентов машин.

Вредное действие вибраций с последующим увеличением скорости износа необходимо подавлять, причем делать это можно с помощью использования покрытий, обладающих одновременно износостойкими и антивибрационными свойствами. Целесообразно применять такие покрытия в следующих областях техники и машиностроения: в электродвигателях, в дерево- и металлообрабатывающем оборудовании, в газотурбинных двигателях самолетов и других транспортных средств, в судовых дизельных двигателях и трансмиссии, в двигателях внутреннего сгорания и трансмиссии автомобилей, при вибрации ответственных металлоконструкций, при вибрации ракетных двигателей при работе и во многих других.

Особенно важно подавлять вредные вибрации и уменьшать износ деталей в точных металлообрабатывающих станках. Вибрации металлорежущих станков рассматриваются прежде всего с позиций их влияния на точность и качество обрабатываемых поверхностей, а также на долговечность инструмента и

элементов конструкции, определяющих точность обработки [4-9]. Точность оборудования уменьшается из-за вредного действия вибраций. Таким образом, антивибрационное и одновременно износостойкое покрытие – неотъемлемая часть эксплуатационной защиты металлорежущего оборудования.

Список литературы

[1] Алешков Д.С., Столяров В.В., Суковин М.В. Методы снижения вредного воздействия производственной вибрации на организм человека-оператора строительно-дорожных машин. *Интернет-журнал Науковедение*, 2015, №5, с. 1-9.

[2] Мышкин Н.К., Петроковец М.И. *Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии.* Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2007, 368 с.

[3] Мусохранов М.В., Калмыков В.В., Авраменко М.Ю. Технологические предпосылки повышения эксплуатационных характеристик направляющих элементов // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-1. С. 55-58.

[4] Челомей В.Н., Авдуевский В.С., Артоболевский И.И., Блехман И.И., Боголюбов А.Н., Боголюбов Н.Н., Бойцов В.В., Болотин В.В., Бутенин Н.В., Быховский И.И., Ганиев Р.Ф., Генкин М.Д., Григолюк Э.И., Диментберг Ф.М., Кобринский А.Е., Колесников К.С., Коловский М.З., Лавендел Э.Э., Лурье А.И., Митропольский Ю.А., Пановко Я.Г., Рагульскис К.М., Румянцев В.В., Седов Л.И., Серенсеи С.В., Фролов К.В. *Вибрации в технике. Т. 3.* Москва, Машиностроение, 1980, 544 с.

[5] Калмыков В.В., Космынина Е.В., Сорокин П.С. Выбор методов оценки точности технологических процессов // Инженерный вестник. 2012. № 8. С. 4.

[6] Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В. Выбор метода для автоматизации контроля состояния режущего инструмента // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 3 (7). С. 53-55.

[7] Калмыков В.В., Малышев А.Н., Покровская М.Э. Анализ способов точного позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ // Инженерный вестник. 2012. № 7. С. 1.

[8] Калмыков В.В., Федорова О.С., Малышев И.Е. Исследование статистических методов анализа технологических факторов при токарной обработке // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 48-52.

[9] Kalmykov V.V., Musokhranov M.V., Logutenkova E.V., Malyshev E.N., Gorbunov A.K. Generation of surface energy in metals using row-by-row microdeformation // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 24. С. 15621-15626.

Анкуда Эвелина Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: e.ankuda@mail.ru

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kalmykovvv@bmstu.ru

Ю.В. Паращук, М.В. Мусохранов

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОУСИЛИВАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ: ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИНСТРУМЕНТА

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

В настоящее время в науке развивается применение синергетических эффектов, т.е усиливающих эффектов взаимодействия двух и более факторов в сложных, неравновесных системах. Разрабатываются различные методики оценки взаимоусиливающих эффектов, которые могут включать в себя обобщения, логический анализ и синтез саморазвивающихся систем. Таких систем бесконечное множество и это дает нам возможность проводить исследования в данном направлении, использовать уже существующие подходы к таким системам, а также разрабатывать новые.

Огромное внимание уделяют проблеме самоорганизации и обеспечению динамической устойчивости систем. Процесс самоорганизации является сложной системой, которая может определяться соотношением порядка и хаоса.

Исследование данного эффекта и возможность применения его в области машиностроения необходимо для повышения эффективности использования ресурсов.

Давно известно, что совместное действие определенных факторов может привести как к усилению исследуемого эффекта, так и к его ослаблению, т.е эффект взаимодействия может иметь положительный, отрицательный и нулевой результат. Эффект получается положительным если исследуемые параметры взаимодействуют друг с другом и дают один усиленный эффект. Если же взаимодействие отсутствует и результат приводит к ослаблению эффекта, то возникает отрицательный эффект взаимодействия. Эффект считается нулевым, если исследуемые параметры никак не взаимодействуют и не дают никакого эффекта усиления либо ослабления. Проявление самого эффекта взаимного усиления может выражаться конкретными качественными и количественными показателями.

В процессе научно исследовательской деятельности на тему «Исследование общих закономерностей взаимоусиливающих эффектов технологических параметров: Геометрические параметры инструмента» будут рассматриваться все возможные комбинации параметров, для поиска источника взаимоусиливающего эффекта, и оцениваться сам эффект взаимодействия от их совмещения, который может оказаться, как сказано выше, либо положительным, либо отрицательным, либо нулевым.

В настоящее время существует различное количество подходов к изучению взаимоусиливающего эффекта. Для того, чтобы выбрать необходимые параметры для комбинирования и для дальнейшей оценки взаимоусиливающего эффекта, необходимо ознакомиться с геометрией инструмента и как она может изменяться в сложных процессах.

Существует огромное разнообразие режущих инструментов, которые имеют свои особенности строения геометрии режущей части. Но каждый резец имеет ряд общих элементов, таких как главная режущая кромка, вспомогательная режущая кромка, передняя поверхность лезвия, вспомогательная задняя поверхность лезвия, вершина лезвия и режущая часть. Названия поверхностей определяется в зависимости от расположения поверхности относительно обрабатываемого изделия. Все перечисленные рабочие поверхности ограничивают режущую часть инструмента.

Главная режущая кромка, выполняющая основную работу резания, образуется в месте пересечения передней и задней поверхностей лезвия инструмента. Вершиной лезвия является участок режущей кромки в месте пересечения двух задних поверхностей (главной и вспомогательной) [6].

Режущие кромки и примыкающие к ним передняя и задняя поверхности лезвия в совокупности образуют главное и вспомогательное лезвия [6].

Так же к геометрическим параметрам инструмента относятся углы лезвия резца. Для их определения используются такие понятия, как плоскость резания и основная плоскость. Основная плоскость – это координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке. Плоскость резания – это координатная плоскость касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости [3].

Данные плоскости позволяют определить углы режущего инструмента: главный задний угол, угол заострения, главный передний угол, угол резания, вспомогательные углы, углы в плане, угол при вершине в плане, угол наклона главной режущей кромки.

Геометрические параметры инструмента рассматриваются в следующих системах координат: статистическая и геометрическая.

Статическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания [7].

Кинематическая система координат – прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости результирующего движения резания [7].

Большая часть режущих инструментов стандартизована и значения всех необходимых геометрических параметров можно найти в справочниках.

Зная методики взаимоусиливающих эффектов и необходимые параметры геометрии инструмента, можно проводить исследования в данной области, решая ряд задач. Возникает необходимость работы со стандартизованными параметрами и выявление эффекта усиления при нарушении уже свойственной геометрии инструмента.

Список литературы

[1] Ачеркан Н.С. Справочник машиностроителя, Москва: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроит. лит., - 1956. – 572 с.

[2] Кемпбел Э. Стратегический синергизм. СПБ.: Питер. - 2004. - 406 с.

[3] Серебреницкий П. П., Схиртладзе А. Г. Справочник станочника. Москва, Берлин: DirektMetdia. - 2017. – 656 с.

[4] Шапиро С. В. Основы синергетики: учебное пособие - Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, - 2012. – 228 с.

[5] [Электронный ресурс]: - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=78439 (10.10.2018)

[6] [Электронный ресурс]: https://www.autowelding.ru/publ/1/rezanie_metallov/geometricheskie_parametry_i_zatochka_rezhushhej_chasti_instrumentov/23-1-0-118 (10.10.2018)

[7] [Электронный ресурс]: https://studopedia.ru/7_164478_geometricheskie-parametri-rezhushchey-chasti-instrumentov.html (10.10.2018)

Паращук Юлия Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: juliyapuliya1710@yandex.ru

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

О.В. Макеева, М.В. Мусохранов

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОУСИЛИВАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

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

В процессе обработки материалов, с использованием различных режимов резания, наблюдаются изменения свойств поверхностного слоя металла. В свою очередь, эти изменения оказывают влияние на эксплуатационные свойства детали, которые необходимо улучшать для длительного и качественного ее использования. Поэтому появляется необходимость в анализе влияния режимов резания на состояние поверхностного слоя металла, как совместно, так и по отдельности. Так же стоит отметить, что в результате проведения эксперимента, можно наблюдать отрицательный, положительный и нулевой эффект. Следует определить наиболее оптимальное сочетание режимов резания, которое привело бы к положительному эффекту.

В настоящее время в различных сферах деятельности начинают применять метод взаимоусиливающего эффекта. Данный метод помогает решить проблемы конструирования общих законов управления динамическими системами, оказывать внешние воздействие на объекты и процессы. Другими словами, позволяет сформировать в системе желаемые структуры.

Выявление взаимоусиливающего эффекта говорит о том, что целое получается в разы больше или меньше, чем сумма отдельных его частей. Таким образом данный эффект позволяет повысить или понизить эффективность проделанной работы благодаря слиянию, интеграции, соединению отдельных частей в единую систему. То есть можно сказать, что если правильно комбинировать значения параметров режимов резания, то можно будет получить такое состояние поверхностного слоя металла, которое позволило бы использовать деталь длительное время даже в самых неблагоприятных условиях.

Данный эффект несет в себе несколько главных смыслов:

- парадигма – система идей, принципов, факторов, представлений, из которых со временем вырастает фундаментальная научная теория;
- ряд научных теорий, объединяемые идеями нелинейности, открытости, переходности, неравновесности процессов, идущих в системах;
- теория самоорганизующихся систем или теория переходных процессов;
- новое мировоззрение, преодолевающее имеющееся в науке «мышление» и дающее определенные модели постановки и решения задач [1].

Особое внимание ученые уделяют взаимоусиливающему эффекту, как к науке о нелинейных, самоорганизующихся системах. Ученый Г. Хакен

предложил для этого направления в науке понятие «синергетика» (от греч. Synergetikos – совместный) [1]. Эта наука подразумевает изучение так называемых нелинейных сред. То есть таких сред, в которых их отдельные параметры и состояние в целом зависят от процессов, протекающих в этой системе. Смысл заключается в том, что в имеющихся открытых системах возникают стихийные процессы самоорганизации. Процесс протекает в неустойчивой системе, которая со временем преобразуется в устойчивую, упорядоченную структуру, обладающую новыми свойствами [2].

Рассматривая любую модель системы синергетики, можно отметить, что между ее элементами возникают связи. Наличие таких связей и задает нелинейный характер системы. Из этого следует, что при исследовании взаимоусиливающего эффекта важно наблюдать не за свойствами элементов, а за характером взаимодействия элементов друг с другом.

Г. Хакен рассматривал систему, в которой центральным процессом является процесс изменения «динамических структур» при изменении некоторого «управляющего воздействия», характеризуемого «управляющим параметром». «Динамические структуры» включают в себя некоторые измеримые функции, называемые «параметрами порядка». «Параметры порядка», по определению Г. Хакена, – это медленно меняющиеся переменные, которые подчиняют себе быстро меняющиеся переменные и определяют ход макропроцесса т. е «динамическую структуру» [2]. Так же «динамические структуры» характеризуются согласованным действием микроэлементов среды. Эта среда находится в неравновесном состоянии и является «нелинейной средой». В таком состоянии наблюдается поступление информации, энергии или других элементов, и выход поступивших элементов в преобразованном виде.

Необходимо отметить то, что ключевым фактором применения метода взаимоусиливающего эффекта является наличие системы со взаимодействующими между собой и внешней средой элементами. Эта система должна подчиняться концепции самоуправления, чего добиться довольно сложно. Причиной этому является непредсказуемость внутренних процессов самоорганизации системы. Перейти от непредсказуемого поведения системы к контролируемому движению элементов динамической системы поможет способ направленной самоорганизации. В основе данного способа лежит контролируемое изменение системы в необходимое состояние в независимости от ее первоначального состояния [4].

Список литературы

[1] Вершков А. В. Синергетика: проблемы и перспективы // Сибирский журнал науки и технологий. 2007. №1. С. 135 – 140.

[2] Колесников А. А. Прикладная синергетика: проблемы и перспективы // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2006. С. 3 – 9.

[3] Тузов В. В. Синергетика как методология исследования процессов самоорганизации сложных систем // Библиосфера. 2007. №1. С. 52 – 59.

[4] [Электронный ресурс]: Синергетическая парадигма: синергетика инновационной сложности / ред.-сост. В.И. Аршинов, О.Н. Астафьева, Е.Н. Князева; Российская академия наук и др. - Москва: Прогресс-Традиция, 2011. - 497 с.: ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-89826-376-8; URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445099 (12.10.2018).

[5] [Электронный ресурс]: Основы синергетики: учебное пособие / С.В. Шапиро; Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уфимский государственный университет экономики и сервиса». - Уфа: Уфимский государственный университет экономики и сервиса, 2012. - 228 с., URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=272504 (12.10.2018).

[6] [Электронный ресурс]: Синергетическая парадигма: синергетика образования / отв. ред. В.Г. Буданов; Российская академия наук, Институт философии РАН. - Москва: Прогресс-Традиция, 2007. - 593 с. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=445101 (14.10.2018).

Макеева Ольга Владимировна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: olechka_poops@icloud.com

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

Д.А. Тарасенков, В.М. Попков

ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

Возможность осуществления практически всех производственных процессов зиждется на преобразовании энергии. Как правило, это преобразование электрической энергии в механическую. Электричество обеспечивает работоспособность всех машин и агрегатов, выполняющих различные процессы – механическую обработку, сборку, приработку и многое другое. Преобразование электрической энергии в механическую осуществляется за счет применения электрических двигателей различных конструкций, зависящих от предполагаемых условий работы. Несмотря на это, технологию сборки большинства электродвигателей можно представить типовой, характеризующейся постоянством параметров и режимов работы.

Сборка является заключительным технологическим процессом, при котором узлы и отдельные детали соединяются в готовое изделие, отвечающее требованиям чертежей и технических условий. От качества сборки в значительной мере зависят энергетические и эксплуатационные показатели машин – КПД, уровень вибрации и шума, надежность и долговечность [1].

Основными узлами электродвигателя, вбирающими в себя большую часть ответственности за показатели всей машины, являются статор и ротор. Статор – неподвижная часть, ротор – вращающаяся часть (рис. 1) [2].

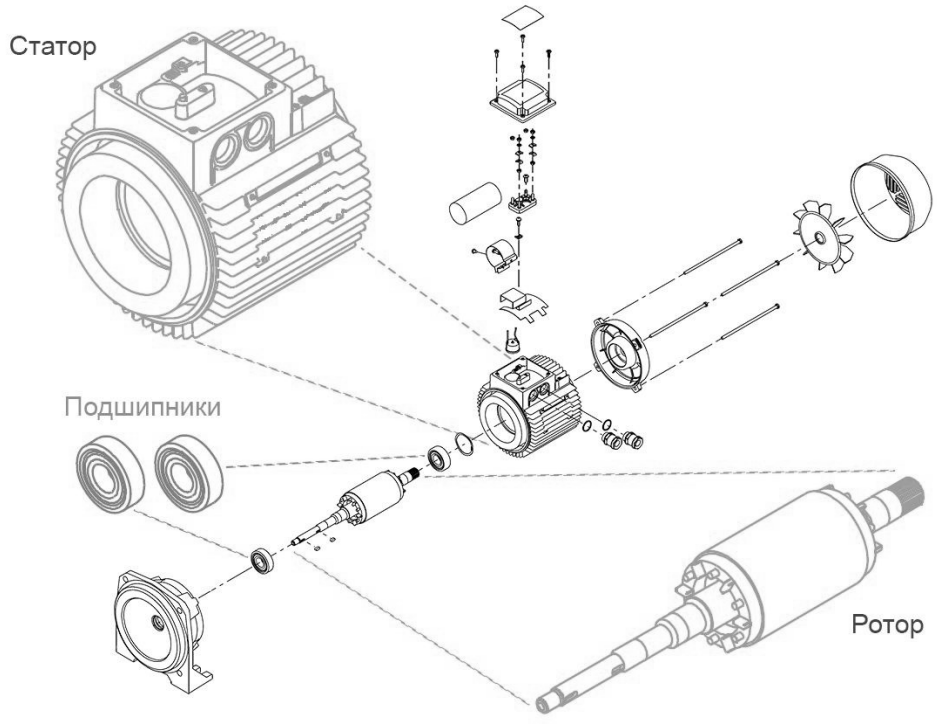


Рис.1. Типовая конструкция электрического двигателя

Вне зависимости от конструктивных особенностей, рабочая обмотка статоров синхронного и асинхронного двигателей по физическому принципу и правилу намотки проволоки ничем не отличаются, что подтверждает типичность процесса сборки основных узлов электрического двигателя.

Обмотка статора является не только его основной частью, но и основной частью всей машины. Надежность машин, главным образом, определяется качеством обмоток. Поэтому к ним предъявляются высокие требования электрической и механической прочности, влагостойкости и нагревостойкости.

Обмоткой электрической машины является система проводников, соединенных между собой по определенной схеме и вложенных в пазы сердечника. Обмотка состоит из витков, катушек и катушечных групп, проводники которых изолируют от корпуса машины корпусной изоляцией и друг от друга межвитковой изоляцией.

Виток обмотки состоит из двух последовательно соединенных между собой проводников, уложенных в два паза сердечника. Число витков обмотки определяется в зависимости от номинального напряжения машины, а площадь сечения их от мощности машины.

Помимо перечисленных выше аналитически рассчитываемых параметров есть те, которые возможно установить лишь при сборке опытных образцов. Таковыми в первую очередь являются усилие натяжения проволоки (проводника) при намотке на статор и точность соблюдения шага намотки проволоки [3]. Натяжение проволоки создают посредством огибания ими направляющих роликов намоточного станка. В том случае, если установлено недостаточное усилие натяжения, возрастает вероятность нахлеста витков проволоки друг на друга, что нарушает правильность работы электрической машины из-за неравномерности возникающей электродвижущей силы. Если же установлено чрезмерно высокое усилие натяжения – возникает вероятность упругого растяжения проводника с возможным последующим обрывом. Таким образом, имеет место противоречивость задачи – с одной стороны необходимо обеспечить максимально возможную величину натяжения, с другой – как можно меньшую.

В целях предупреждения обрыва проволоки необходимо наблюдать за качеством намотки устанавливаемых на машину катушек с проволокой, а также за состоянием всех направляющих ниппелей, своевременно заменяя пришедшие в негодность.

При намотке проволоки на статор важно соблюдать заданную величину шага, которая в свою очередь должна быть минимально возможной, чтобы минимизировать размеры намотанной катушки. При несоблюдении данного параметра вероятно запутывание проволоки, а также неравномерность электродвижущей силы по длине окружности статора.

Таким образом, можно сделать вывод, что основными параметрами, непосредственно влияющими на качество сборки электрических двигателей, являются усилие натяжения проволоки (проводника) при намотке на статор и точность соблюдения шага намотки проволоки.

Список литературы

[1] Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов/И.П. Копылов. – 6-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2009. – 607 с.

[2] Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники: Учебник. 7-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 736 с.: ил. – (Учебник для вузов. Специальная литература).

[3] Гольдберг О.Д. Электромеханика: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – 2-е изд. испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 512 с.

Тарасенков Денис Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tarasenkov.denis22@gmail.com

Попков Вячеслав Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: slaviclinde@yandex.ru

А.Н. Малышев, С.А. Бысов, С.В. Матвеев, М.Е. Сафронова

ОСОБЕННОСТИ ФОРМЫ ИСХОДНЫХ ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ВЫТЯЖКЕ НИЗКИХ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КОРОБЧАТЫХ ДЕТАЛЕЙ

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

Листоштамповочное производство является одной из наиболее прогрессивных и ресурсосберегающих технологий в машиностроении, которая позволяет изготавливать сложные детали, которые зачастую не требуют или требуют минимальной последующей механической обработки, и предъявляет определенные требования к исходным заготовкам по геометрическим параметрам и свойствам материала.

Проектирование формы исходной заготовки при разработке нового технологического процесса или изменение ее формы и размеров при совершенствовании действующего технологического процесса штамповки предполагают максимальное их приближение к форме и размерам готовой детали, что позволяет оптимизировать материалоемкость на этапе заготовительного производства при получении исходной заготовки и снизить себестоимость штампованного изделия в целом.

Анализ научной литературы и производственные данные показывают, что наряду с использованием в качестве заготовок уже ставших классическими «карточек» и «силуэтов» существует ряд случаев, требующих специального научного подхода к проектированию исходных заготовок с учетом анизотропии материала [1] в состоянии поставки, эксплуатационных требований к детали или изделию в целом, особенностей разделительных и формоизменяющих штамповочных операций, требований к ценообразованию штампованной детали и ряда других технологических особенностей процесса штамповки [2].

В рамках настоящего исследования, такой специальный научный подход требуется для расчета заготовок для низких прямоугольных коробок по методу В.П. Звороно [3], по которому на основании определенных положений дополнительно представлена схема контура угла заготовки для изготовления прямоугольных коробок, в том числе специальный расчет предложен В.П. Романовским [4], где прямоугольные коробки предложено рассматривать состоящими из двух половинок квадратных коробок, соединенных промежуточной частью. В этом случае контур заготовки принимает форму овала, образованного двумя полуокружностями и двумя параллельными сторонами, эта форма контура заготовки достаточно точна и наиболее проста для изготовления вырубного штампа. Так же указано, что применяемая иногда эллиптическая форма заготовки значительно усложняет и удорожает изготовление вырубного штампа и не дает никаких преимуществ при вытяжке [4].

В целом, имеющиеся в настоящее время методы расчета и построения заготовок для вытяжки прямоугольных коробок охватывают лишь частные случаи без четкого указания пределов их применения и заключаются в проведении расчетов длин отгибаемой части стенок, радиуса заготовки в углах и геометрическом построении плавного контура заготовки путем сопряжения полученных линий. Как правило, на практике методы расчета и построения заготовок, применяемые в одном случае, не пригодны для расчетов для вытяжки аналогичных коробчатых деталей с другими соотношениями размеров. Поэтому получение рационального контура заготовок для получения деталей без дефектов является актуальной задачей [5].

Теоретические исследования в рамках настоящей работы выполнены на основе расчетов, основанных на базе метода конечных элементов, процесса вытяжки низких прямоугольных коробок с большими угловыми радиусами в среде программного комплекса QForm 2D/3D для материала Сталь 08кп и детали, имеющую форму прямоугольной коробки со сторонами 45мм и 80мм, высотой 20мм, толщиной стенки 1мм и угловыми радиусами 10мм.

Листовой материал, подвергаемый штамповке, как правило, обладает анизотропией механических свойств, которая может оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на устойчивое протекание технологических процессов обработки металлов давлением при различных термомеханических режимах деформирования [6]. Анизотропия существенно влияет на формоизменяющие процессы листовой штамповки, особенно на вытяжку. Анизотропия при вытяжке, особенно коробчатых деталей, влияет на образование неровного края изделия (фестонов и впадин), на неравномерность толщины стенки изделия по периметру, на силовой режим вытяжки и предельную степень формообразования [7].

При вытяжке из анизотропного материала на детали появляются «фестоны» и для их удаления необходимо вводить дополнительную операцию обрезки. Поэтому интерес представляет поиск условий, когда величина фестонов вписывается в допуск на высоту детали. На величину «фестонов» влияют коэффициент вытяжки и анизотропия заготовки и при определенных значениях коэффициента вытяжки и коэффициентов анизотропии величина «фестонов» не будет превышать допуск на величину высоты детали [8].

Для устранения дефектов в виде неровного края детали после реализации процесса вытяжки выполнено исследование по уточнению формы исходной заготовки посредством сечения детали таким образом, чтобы получить ровные края, где на разрезе указаны «трассируемые» точки, обозначенные на рисунке 1.

Методика определения рационального контура профильной заготовки при вытяжке коробок прямоугольного сечения на базе программного комплекса QForm 2D/3D с использованием «трассируемых» точек заключается в создании исходного контура заготовки исходя из конечных размеров вытянутой деталей с ровным контуром.

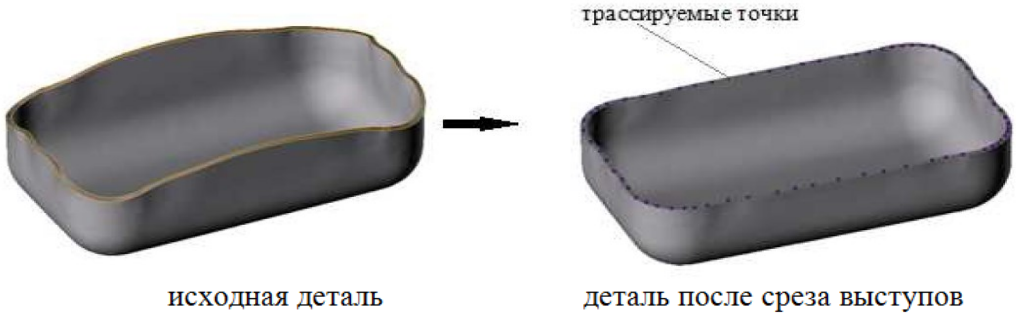


Рис. 1. Модель детали коробчатой формы после вытяжки

На рисунке 2 показаны этапы получения низкой прямоугольной коробки с большими угловыми радиусами из заготовки уточненной формы базе программного комплекса QForm 2D/3D.

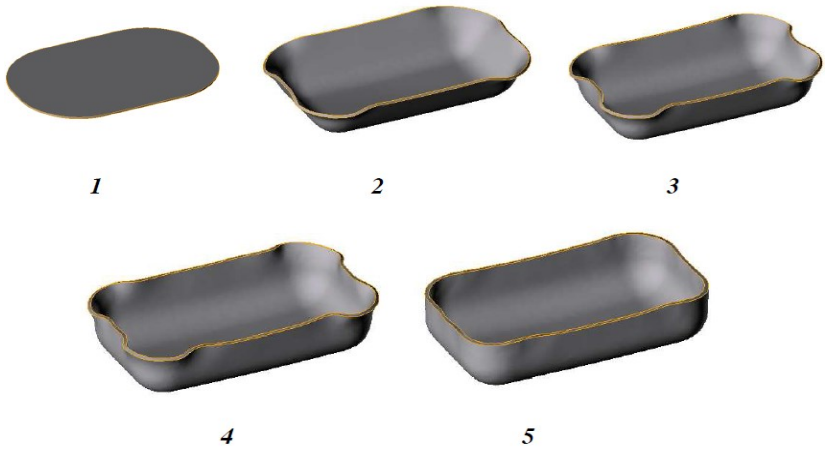


Рис. 2. Этапы получения низкой прямоугольной коробки (теор.)

Для экспериментального подтверждения теоретических предположений и расчетов на базе лаборатории кафедры М1-КФ «Технологии машиностроения» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана был спроектирован и изготовлен экспериментальный штамп для реализации вытяжной операции, показанный на рисунке 3.

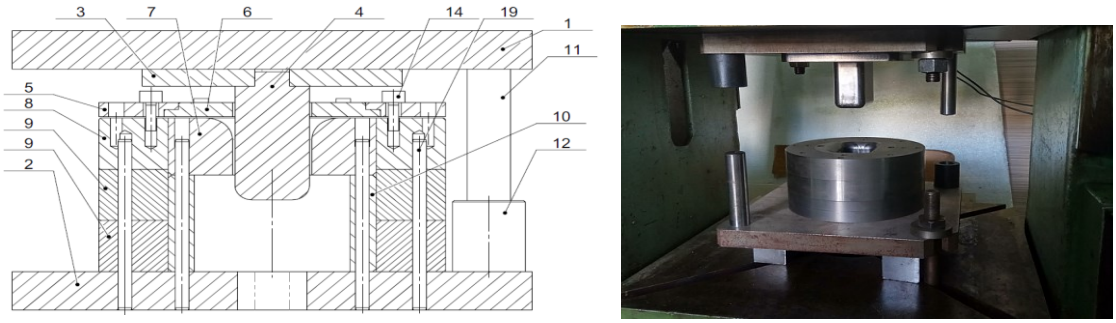


Рис. 3. Экспериментальный штамп для реализации вытяжной операции

Для выполнения экспериментальной части настоящего исследования в качестве исходной заготовки была принята листовая заготовка с контуром, уточненным в теоретической части исследования. Этапы формоизменения заготовки представлены на рисунке 4.

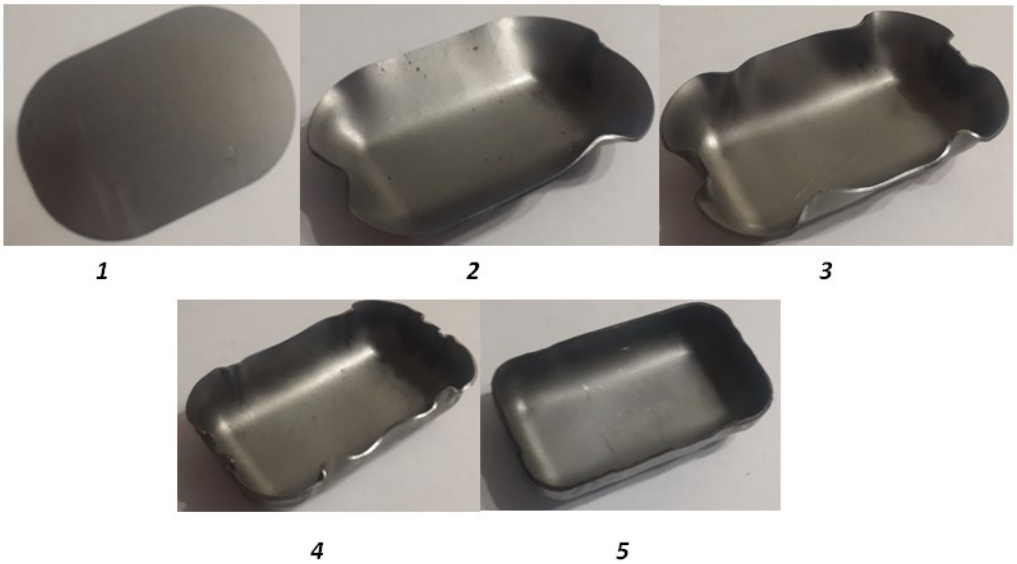


Рис. 4. Этапы получения низкой прямоугольной коробки (эксп.)

Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований показал их удовлетворительную сходимость и возможность применения результатов настоящего исследования для проектирования новых и совершенствования существующих технологических процессов штамповки, в частности вытяжки, что позволит уменьшить объем последующей механической обработки, а в некоторых случаях отказаться совсем, что, безусловно, позволит снизить себестоимость изделия в целом за счет повышения эффективности и уменьшения материалоемкости листоштамповочного производства на заготовительной стадии.

Список литературы

[1] Яковлев С.П., Кухарь В.Д. Штамповка анизотропных заготовок. М.: Машиностроение. - 1986. - 136 с.

[2] Малышев А.Н., Бысов С.А. Профильные и профилированные заготовки в современном листоштамповочном производстве // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула; Издательство ТулГУ. - 2017. - Вып.9. Ч.1. - С.415-420.

[3] Справочник по листовой штамповке: учебное пособие. Демин В.А., Львович К.Д., Маркин П.В., Семенов В.И., Феофанова А.Е.; Под ред. Демина В.А. и Семенова Е.И. – М.: МГИУ, 2011. – 177с.

[4] Справочник по холодной штамповке. Романовский В. П. Ленинград, Машиностроение, 1971. – 782с.

[5] Кухарь В.Д., Малышев А.Н., Бессмертная Ю.В. К вопросу определения рационального контура плоской заготовки при вытяжке низких прямоугольных коробок с большими угловыми радиусами // Известия ТулГУ. Технические науки. Тула; Издательство ТулГУ. - 2018. - Вып.1. - С.179-188.

[6] Гречников В.Ф. Деформирование анизотропных материалов. М.: Машиностроение, 1998. – 446с.

[7] Яковлев С.С., Ларин С.Н., Трегубов В.И., Малышев А.Н. Вытяжка низких коробчатых деталей из высокопрочных анизотропных материалов в режиме кратковременной ползучести: монография в 2-х ч. / под ред. С.С. Яковлева. Ч.1. Тула: Изд. ТулГУ, РАРАН, 2015. - 140с.

[8] Демин В.А. Проектирование инновационных технологий в обработке металлов давлением // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2017. - № 8. - С.3-6.

Малышев Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Бысов Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 1m-kf.mgtu@inbox.ru

Матвеев Сергей Валентинович – канд. техн. наук, главный инженер ООО НПО "Телеметрия". E-mail: matveevm72@yandex.ru

Сафронова Мария Евгеньевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: svetlaya.dom@mail.ru

В.В. Калмыков, Д.П. Ермольчева

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТАРИЯ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА

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

В рыночной экономике, характеризующейся жесткой конкурентной борьбой деятельность предприятий должна быть максимально эффективной. Эффективность производства обеспечивается уровнем технологий и менеджментом. На российских промышленных предприятиях сложилось негласное правило «работает – не вмешивайся», ставшее негативной традицией. Данный подход противоречит современной концепции Lean Production (бережливое производство), ставящей, по примеру японской Kaizen, в основу принцип непрерывных изменений к лучшему. А народная мудрость: «Лучшее – враг хорошего» зачастую делает невозможным внедрение современных форм организации производства на конкретном предприятии, что приводит к слабой конкурентоспособности выпускаемой продукции.

Согласно статистическим данным [1], прогрессивные предприятия уже внедряющие Lean в производство достигли следующие результаты по отраслям:

1. В нефтедобывающей отрасли:
- сокращение затрат 11,5 млн. руб. в год достигнуто за 2 недели;
- сокращение незавершенного производства повлекло дополнительный доход 130 млн. руб. в год;
- сокращение трудозатрат более 1,3 млн. руб. в год;

2. приборостроение:
- сокращение затрат 65 млн. руб. в год достигнуто за 6 месяцев;
- высвобождение 25% производственных площадей;
- сокращение производственного цикла в 9 раз;

3. металлургия:
- повышение производительности оборудования на 35%;
- сокращение времени переналадки оборудования на 67%.

Главным отличием системы бережливого производства от традиционного подхода является рассмотрение конечного результата с точки зрения потребителя. Это соответствует современным определениям качества продукции в международных стандартах.

Основным условием (и главной трудностью) эффективного применения Lean-технологий является командная работа.

На сегодняшний день, в той или иной степени теперь все российские предприятия и компании пытаются оптимизировать свои производственные и бизнес-процессы. Рынок достиг той стадии развития, когда за каждый

«лишний» шаг платит уже не клиент, а производитель. Соответственно, программы ликвидации потерь и снижения издержек будут набирать силу все стремительнее.

Список литературы

[1] О методике Lean. Информационный портал Pro Lean. URL: http://prolean.ru/about_lean_methods/ (дата обращения: 12.09.2018).

[2] Калмыков В.В., Атрощенко В.Н., Короходкина К.Г. Анализ инструментов бережливого производства для оптимизации загрузки производственного оборудования // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2018. № СВ1 (18). С. 7-12.

[3] Ерохина Е.В., Ермольчева Д.П. Изучение маркетинговой стратегии организации // Перспективные направления развития современной науки / Сборник научных работ 37й Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения (г. Москва, март 2018). – Москва: ЕНО, 2018. – 262 с.

[4] Павлова Т.В., Калмыков В.В. Методы увеличения эффективности машиностроительного производства // В сборнике: Наукоемкие технологии в приборо-и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе 2013. С. 62-66.

[5] Управление производством: [сайт] Российский опыт внедрения бережливого производства. URL: http://www.up-pro.ru/library/production_management/lean/otsech-lyshnee.html (дата обращения: 11.09.2018).

Калмыков Вадим Владимирович – старший преподаватель кафедры «Машиностроительные технологии» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sorat-vad@yandex.ru

Ермольчева Дарья Петровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: darya.ermolcheva@yandex.ru

Е.В. Рыков, А.О. Штокал, А.В. Артемьев, Т.А. Говорун,
В.К. Шаталов, К.Б. Добросовестнов, В.А. Богачев,
О.П. Баженова

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ, ПРИ СОЗДАНИИ ГРУНТОЗАБОРНЫХ УСТРОЙСТВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

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

Согласно Федеральной космической программе на 2016–2025 гг. космическая экспедиция «Луна-25» («Луна-Глоб») станет первой миссией в рамках российской лунной программы, которая будет прологом к целой серии космических аппаратов (КА), обеспечивающих изучение Луны, с последовательным увеличением объема задач исследования [1].

Основной задачей КА «Луна-25» (рис. 1) будет отработка технологии полета к Луне и проведение точной посадки в заданной области южного полярного региона Луны. Вторая задача – исследование физико-химических свойств лунного полярного реголита. Выбор посадки КА в полярной области Луны определен многими исследованиями, включая и дистанционные наблюдения с орбитальных лунных космических аппаратов, как район с возможным существованием льда и летучих соединений, поэтому исследования грунта контактными методами представляют значительный интерес [1].

Рис. 1. Общий вид КА «Луна-25»

В состав КА «Луна-25» входит лунный манипуляторный комплекс для доставки в прибор ЛАЗМА-ЛР образцов реголита из разных мест вблизи КА и с

разной глубины, для наведения оптического блока прибора ЛИС-ТВ-РПМ на объекты вблизи КА и для изучения механических свойств реголита.

Манипулятор для забора грунта КА «Луна-25» изображен на рис. 2. Манипулятор имеет три степени свободы, три вращательных кинематических пары и представляет собой разомкнутую кинематическую цепь.

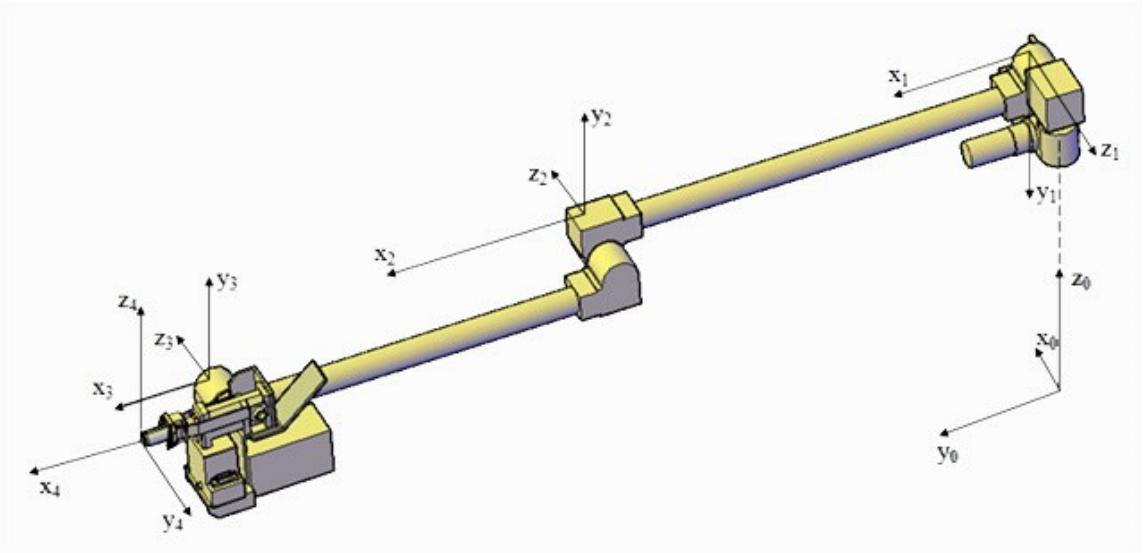


Рис. 2. Манипулятор для забора грунта

Рабочий орган представляет собой кронштейн, на одной стороне которого расположен ковш, на другой стороне – заборник грунта (рис. 3). При выкапывании ковш должен находиться в горизонтальном положении до момента высыпания. При этом манипулятор не должен касаться стенок ямы. В горизонтальном положении ковш с кронштейном и заборником грунта имеет длину 284 мм.

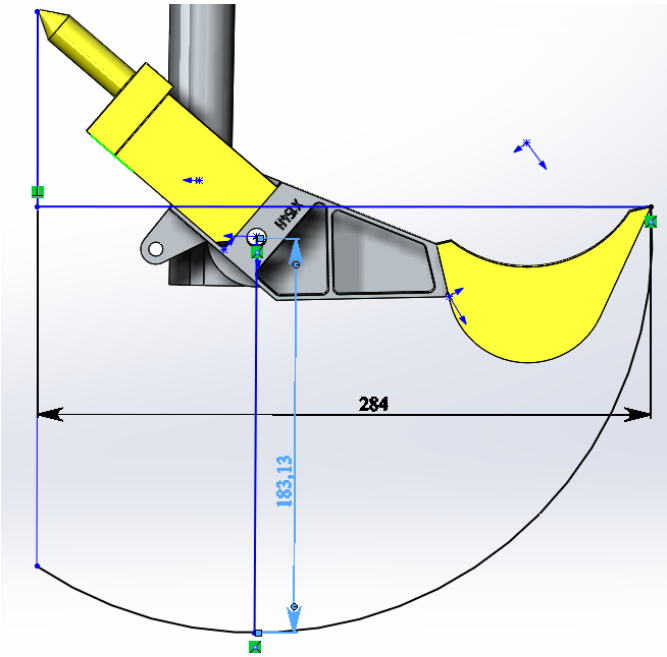


Рис. 3. Рабочий орган манипулятора

В качестве материала для ковша используется алюминиевый сплав. Детали из алюминиевых сплавов обладают множеством достоинств: низкой массой, достаточно высокой прочностью и относительно небольшой стоимостью. Однако у них имеется существенный недостаток – низкая износостойкость поверхностей [2].

Лунный реголит представляет собой рыхлый покров обломочного материала, включая камни и обломки любых размеров, смещенные с места своего первоначального залегания. Реголит образуется под преимущественным воздействием ударно-взрывных процессов кратерообразования с заметным участием гравитационного перемещения вещества вниз по склонам лунного рельефа и некоторых других процессов. Состав реголита определяется процессами смешения местного материала с веществом из удаленных источников на Луне и внелунным веществом, а также процессами физико-химических преобразований материала реголита при его ударно-взрывной метеоритной переработке.

Для практических целей в настоящее время наибольший интерес представляет реголит, который служит объектом исследований при большинстве контактных и дистанционных методов изучения лунной поверхности, будучи средой, воспринимающей нагрузки от всех современных посадочных устройств и средств передвижения [3].

Лунный реголит обладает высокой склонностью к адгезии. Она проявляется в налипании лунного грунта на всевозможные соприкасающиеся с ним поверхности как металлические и минеральные, так и органические, в частности, поверхности пластмасс. При всех посадках по программам «Аполлон» лунный грунт налипал на детали космических аппаратов и обмундирование космонавтов. Для экипажа «Аполлон-12» это создало определенные трудности в кабине корабля, куда космонавты занесли много пыли. После пребывания в атмосфере командного отсека корабля при давлении 0,35 атм. пыль потеряла свои адгезионные свойства [4].

Для снижения трения рабочие поверхности бура как в отечественных, так и в американских установках покрывались износостойкой смазывающей пленкой, нейтральной по отношению к минеральному и химическому составу частиц реголита.

В ходе миссий «Луна-16» и «Луна-20» вместе с образцами грунта были возвращены и буровые снаряды. Их наружная поверхность тщательно изучалась в лаборатории. Как и ожидалось, несмотря на кратковременную работу снаряда, в очагах контакта металла с частицами реголита образуются многочисленные микроскопические следы адгезионного изнашивания в виде язв, трещин, разрывов и отдельных осповидных дефектов. Ученые получили экспериментальное подтверждение о благоприятных условиях изнашивания металла при взаимодействии механизмов с лунным грунтом [5].

Одним из наиболее перспективных способов повышения износостойкости поверхностей деталей из алюминиевых сплавов на сегодняшний день является метод микродугового оксидирования (МДО). Суть технологии МДО заключается в формировании керамического слоя на поверхности деталей под действием искровых разрядов [6].

Толщина упрочненного слоя, формируемого на алюминиевых сплавах, может достигать 400 мкм, а микротвердость 22 ГПа [6-8]. МДО-слои характеризуются высокой износостойкостью, тепло- и коррозионной стойкостью [7, 9, 10].

Покрытия толщиной 65 мкм существенно увеличивают износостойкость образцов из сплава Д16. В табл. 1 [11] приведены данные по приведенным износам сплава Д16 и покрытий, полученных в различных электролитах.

Табл. 1. Приведенные износы сплава Д16 (γ) и покрытий (γ_n) толщиной приблизительно 65 мкм, полученных на его поверхности методом ПЭО в различных электролитах, при нагрузке 5 Н [11]

Сплав Д16 и покрытия, полученные в водных растворах электролитов; ТЖС – техническое жидкое стекло	Средний приведенный износ, $\frac{мм^3}{м \cdot Н}$	$\frac{\gamma}{\gamma_n}$
Сплав Д16	$6{,}3 \cdot 10^{-4} \pm 1{,}5 \cdot 10^{-4}$	-
Покрытие, полученное в электролите $2\frac{г}{л} NaOH + 10\frac{г}{л} ТЖС$	$0{,}45 \cdot 10^{-4} \pm 0{,}15 \cdot 10^{-4}$	14,0
Покрытие, полученное в электролите $2\frac{г}{л} NaOH + 10\frac{г}{л} ТЖС + 1\frac{г}{л} Co(OH)_3$	$0{,}29 \cdot 10^{-4} \pm 0{,}10 \cdot 10^{-4}$	22,7
Покрытие, полученное в электролите $2\frac{г}{л} NaOH + 10\frac{г}{л} ТЖС + 1\frac{г}{л} Co(OH)_3 + 1\frac{г}{л} V_2O_5$	$0{,}41 \cdot 10^{-4} \pm 0{,}15 \cdot 10^{-4}$	15,3

Экспериментально подтверждена стойкость МДО-покрытий к многократным перепадам температур. На основе исследований поведения МДО-покрытий различной толщины в условиях многократных перепадов температур рекомендовано для деталей из алюминиевого сплава АМг6 с покрытиями толщиной более 50 мкм, предназначенных для работы в условиях перепада температур более 200°С, избегать концентраторов напряжений (вершин и кромок) [12].

Также установлено, что композиционные керамические МДО-покрытия являются более стойкими в отношении воздействия протонов на их отражающие свойства по сравнению с используемым на практике покрытием ЭКОМ-1. Практически отсутствует влияние облучения протонами на микротвердость покрытий, высокие значения которой являются одним из достоинств МДО-покрытий. Воздействие атомарного кислорода приводит к небольшому эффекту отбеливания покрытия. Эрозия МДО-покрытий под действием потока атомарного кислорода является незначительной, по сравнению с эрозией многих углеродных и полимерных композиционных материалов, применяемых на внешней стороне космических аппаратов. Эксперименты проводили для условий длительного воздействия протонами энергии 500 кэВ и потока атомарного кислорода со средней энергией 30 эВ. Сравнительным методом исследовали влияние указанных факторов на морфологию, отражательные и механические свойства МДО-покрытий. В экспериментах также использовали образец с терморегулирующим лакокрасочным покрытием ЭКОМ-1. Облучение протонами с энергией 500 кэВ проводили на каскадном генераторе КГ-500 НИИЯФ МГУ с флюенсом $10^{16}\ \frac{ион}{см^2}$ при плотности потока $6\cdot10^{12}\ \frac{ион}{с\cdot см^2}$. Облучение потоком атомарного кислорода проводили на имитационном стенде с магнитоплазмодинамическим ускорителем кислородной плазмы. Эквивалентный флюенс в описываемых экспериментах с энергией атомов кислорода 30 эВ составлял $4{,}3\cdot10^{20}\ \frac{ион}{см^2}$, что соответствует фактическому флюенсу $0{,}72\cdot10^{20}\ \frac{ион}{см^2}$ [13].

Известно [12], что МДО-покрытия на алюминиевом сплаве АМг6 в условиях высокого вакуума обладают низким газовыделением (максимальная удельная масса легко конденсирующихся веществ менее $3\cdot10^{-4}\ \frac{г}{см^2}$ при остаточном давлении в камере $6{,}67\cdot10^{-3}\ Па\ (5\cdot10^{-5}\ мм\ рт.ст.)$).

Исходя из вышеперечисленного, можно заключить, что использование покрытий, сформированных методом микродугового оксидирования, на рабочих поверхностях деталей грунтозаборных устройств космических аппаратов для исследования Луны выглядит оптимальным решением. Т.к. позволяет изготовить детали из алюминиевых сплавов с высокой удельной прочностью, придать рабочим поверхностям высокую износостойкость для осуществления операций с лунным реголитом, а также обеспечить высокую стойкость деталей к факторам космического пространства. И что особенно

важно, высокая износостойкость МДО-покрытия наряду с низким газовыделением позволяет минимизировать загрязнение проб лунного грунта и получить наиболее точные данные о его структуре и химическом составе.

Список литературы

[1] *Ефанов В.В., Долгополов В.П.* Луна. От исследования к освоению (к 50-летию космических аппаратов «Луна-9» и «Луна-10») // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. – 2016. – № 4 (34). – С. 3-8.

[2] *Дударева Н.Ю., Мусин Н.Х., Кальщиков Р.В., Шехтман С.Р., Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е.* Исследование износостойкости МДО-покрытий, сформированных в силикатно-щелочном электролите на алюминиевом сплаве АК4-1 // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2017. – Т. 21. – № 3 (77). – С. 12-18.

[3] *Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Николаева О.В.* Лунный грунт: свойства и аналоги. Модель 1974 года. – М.: АН СССР. Ин-т геохимии и аналит. химии им. В.И. Вернадского, 1975. – 71 с.

[4] *Черкасов И.И., Шварев В.В.* Грунт Луны. – М.: Наука, 1975. –144 с.

[5] *Копылов В.Е.* Бурение?.. Интересно! – М.: Недра, 1981. – 160 с.

[6] *Эпельфельд А.В.* Микродуговое оксидирование // Ресурсо-, энергосберегающие и наукоемкие технологии в машино- и приборостроении. – 1991. – С. 47-48.

[7] *Федоров В.А., Великосельская Н.Д.* Влияние микродугового оксидирования на износостойкость алюминиевых сплавов // Трение и износ. –1989. – Т. 10. – № 3. – С. 521-524.

[8] *Koshuro V.A., Nechaev G.G., Lyasnikova A.V.* Composition and Structure of Coatings Formed on a VT16 Titanium Alloy by Electro Plasma Sputtering Combined with Microarc Oxidation // Technical Physics. – 2014. – Vol. 59. – No. 10. – P. 1570-1572.

[9] *Yerokhin A.L., Voevodin A.A., Lyubimov V.V., Zabinski J., Donley M.* Plasma electrolytic fabrication of oxide ceramic surface layers for tribotechnical purposes on aluminum alloys // Surface and Coatings Technology. – 1998. – No. 110. – P. 140-146.

[10] *Марков Г.А., Белеванцев В.И., Терлеева О.П., Шулепко Е.К., Кириллов В.И.* Износостойкость покрытий, нанесенных анодно-катодным микродуговым методом // Трение и износ. – 1988. – Т. 9. – № 2. – С. 286-290.

[11] *Чыонг Ф.В.* Кинетические особенности формирования декоративных защитных покрытий на сплавах Д16 и ВТ6: Дис. … канд. хим. наук. – М., 2018. – 127 с.

[12] *Штокал А.О., Рыков Е.В., Добросовестнов К.Б., Говорун Т.А., Баженова О.П., Рожкова Т.В.* Многофункциональный метод изготовления прецизионных узлов космического телескопа // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2016. – Т. 21. – № 1. – С. 27-41.

[13] *Борисов А.М., Жиляков Л.А., Кирикова К.Е., Новиков Л.С., Черник В.Н.* Воздействие факторов космического пространства на свойства покрытий, получаемых методом микродугового оксидирования // Материалы Международной объединенной конференции (V конференции «Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии», IV конференции «Электрохимические и электролитно-плазменные методы модификации металлических поверхностей» (16-20 сентября 2013 г.)). – Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2013. – С. 87.

Рыков Евгений Валентинович – начальник сектора конструирования наземных систем Филиала АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: rik@laspace.ru

Штокал Александр Олегович – канд. техн. наук, ведущий конструктор сектора конструирования наземных систем Филиала АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: cuauthemoc1@yandex.ru

Артемьев Артем Валентинович – главный конструктор Филиала АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: arav@laspace.ru

Говорун Татьяна Александровна – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Glancet@yandex.ru

Шаталов Валерий Константинович – д-р техн. наук, зав. кафедрой "Материаловедение и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vkshatalov@yandex.ru

Добросовестнов Константин Борисович – начальник сектора надежности, безопасности, прочности и эргономического обеспечения Филиала АО "НПО Лавочкина" в г. Калуга. E-mail: dkb@laspace.ru

Богачев Вячеслав Алексеевич – начальник отдела экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО "НПО Лавочкина". E-mail: tribolab@laspace.ru

Баженова Ольга Петровна – начальник сектора экспериментальной отработки и внедрения новых материалов АО "НПО Лавочкина". E-mail: bazhenova_laspace@mail.ru

Е.Н. Малышев, М.П. Карпов

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЛАНШЕТНОГО РЕЖУЩЕГО ПЛОТТЕРА MIMAKI CF3

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

Современная промышленность характеризуется агрессивными средами и повышенными температурами. Поэтому возникает необходимость использования уплотнительных материалов, которые способны работать в тяжелых условиях.

В настоящее время широко используются детали из паронита в машиностроении, металлургии, химической и нефтяной промышленностях, - паронит используется во многих отраслях благодаря своим особым востребованным свойствам.

Паронит – уникальный прокладочный материал, поэтому целесообразно, чтобы качество деталей из паронита не уступали их тенологическим возможностям.

В последнее время часто используются в производстве прокладок из паронита планшетные режущие плоттеры (рис.1).

Рис. 1. Планшетный режущий плоттер Mimaki CF3

Планшетные режущие плоттеры Mimaki серии CF3 с новейшей технологией резки позволяют производить резку жестких материалов с высочайшей точностью для решения широкого круга задач и удовлетворения самых высоких требований.

Фрезерная головка планшетных режущих плоттеров Mimaki CF3 позволяет резать материалы толщиной до 50 мм, а сверхбольшая рабочая зона дает возможность разместить на рабочем столе этого планшетного режущего плоттера не только маленькие заготовки, но и материалы размером до 3,1х1,6 метра. [4]

С одинаковой легкостью и высоким качеством можно резать легкий пенопласт, толстые акриловые стекла и даже композитные алюминиевые панели. Сменная режущая головка еще больше расширяет возможности резки.

Патентованный цветной фотосенсор считывает напечатанные на носителе регистрационные марки для автоматической коррекции положения, направления и длины траекторий резки.

Установив разницу в цветах носителя и напечатанных на нем оптических меток, сенсор режущего плоттера Mimaki CF3 с высокой точностью находит их положение на носителе независимо от его цвета. [5]

Визуальный световой указатель режущего плоттера облегчает позиционирование начальной точки на оптической метке, используется также для уточнения ориентации носителя на рабочем столе.

Детектирование точного положения четырех краевых меток обеспечивает геометрическую коррекцию погрешностей печати и позиционирования носителя. Тем самым достигается отличная приводка самых сложных контуров печати и резки.

Вакуумный стол режущего плоттера Mimaki CF3 поделен на 8 зон: шесть для CF3-1631 и две для CF3-1610. Зоны в зависимости от размеров носителя активируются независимо друг от друга.

Большое количество отверстий и высокая производительность вакуумной системы режущего плоттера Mimaki CF3 обеспечивают прочную фиксацию заготовок на рабочем столе. Вакуумная система может быть реверсирована, обеспечивая наддув, для облегчения позиционирования тяжелых носителей. [1,2]

Удаление опилок из рабочей зоны фрезерной головки является необходимым элементом для плавного движения рабочего инструмента. Для этого режущий плоттер снабжен механизмом автоматической очистки рабочего стола. И это не только повышает безотказность работы режущего плоттера, но и снижает трудозатраты на уборку по завершении работы.

Планшетный режущий плоттер Mimaki CF3 поставляется в комплекте с высокопроизводительным программным обеспечением для контурной резки: Mimaki Plotter Assistant и FineCut7. Данные для резки подготавливаются в FineCut7, мониторинг плоттера и задание установок производится с помощью Mimaki Plotter Assistant. Это программное обеспечение полностью использует возможности режущего плоттера Mimaki CF3. [3] FineCut 7, программный плагин для CorelDRAW и Adobe Illustrator CS2/CS, максимально эффективно использует мощные интеллектуальные функции Mimaki CF3. Программа оптимизирует производительность процесса резки, настраивая направление и последовательность траекторий, стартовую точку и глубину резки.

Таким образом планшетный режущий плоттер Mimaki CF3 обладает широким спектром технологических возможностей, способен облегчить трудоемкость и увеличить производительность изготовления деталей в том числе из листового паронита, увеличить качество и точность поверхностей, снизить затраты на материал благодаря программной оптимизации и встроенному режиму эмуляции, позволяющему отследить траектории, направление резки, последовательность обработки. Эта возможность гарантирует безошибочное выполнение задания.

Список литературы

[1] *Бысов С.А., Малышев Е.Н.* Выявление и анализ организационно-технологических факторов, влияющих на результативность технологических систем, организованных на основе концентрации обрабатывающих и сборочных процессов // Машиностроение и компьютерные технологии. 2012. № 3. С. 3.

[2] *Васильев С.Е.* Способ изготовления паронита // Электронный ресурс: http://www.freepatent.ru/patents/2393097. 2010.

[3] *Высоцкий А.В., П.К. Кузнецов П.К., докт.техн. наук*. Применение современных инновационных методов обработки. Электро, № 1, 2011. - стр. 30-46.

[4] *Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В., Малышев Е.Н.* Организация статистического приемочного контроля качества продукции по количественному признаку // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 162.

[5] *Малышев Е.Н., Малышев А.Н.* Повышение эффективности использования обрабатывающего оборудования путем расширенной реализации его технологических возможностей // Инженерный вестник. 2012. № 8. С. 3.

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

Карпов Максим Петрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Maks96F@yandex.ru

Е.Д. Степанов, В.Н. Атрощенко, К.Г. Короходкина,
В.В. Калмыков

УВЕЛИЧЕНИЕ СТОЙКОСТИ ФРЕЗ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

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

В 21 веке в промышленности важным показателем успешного предприятия является умение рационально использовать имеющиеся ресурсы [1-2]. Лидерами рынка становятся компании, производящие продукцию высокого качества. В машиностроении наиболее важную роль играет инструментальное производство, ведь именно от выбора инструмента будет зависеть конечное качество производимой продукции.

Создание инструментального производства на предприятии в настоящее время довольно затруднительный процесс, ведь для полного развертывания этого производства предприятию необходима своя научно-исследовательская лаборатория с высококвалифицированными специалистами, наличие больших площадей, возможность организации гибкого производства, наличие современного высокоточного оборудования и другие факторы. В связи с этим, в настоящее время производством инструментов для машиностроительного производства занимаются специализированные инструментальные заводы.

Развитие инструментального производства показало нецелесообразность производства цельного инструмента. Т.к. цельный инструмент необходимо перетачивать при его износе, что вносит дополнительные размерные погрешности недопустимые в прецизионном машиностроении и, следовательно, необходимо производить перенастройку инструмента. В это же время нельзя использовать данный инструмент на производстве, т.к. процесс переточки занимает длительное время, что увеличивает временные затраты производства [3-5]. Именно по этим причинам наиболее рациональным в настоящее время считается использование сменных многогранных неперетачиваемых пластин для инструментов из твердых и сверхтвердых материалов. Для повышения их стойкости получило широкое распространение нанесение на пластины износостойких покрытий.

Существуют следующие методы нанесения износостойких покрытий, получившие наибольшее распространение в инструментальном производстве:

1. Метод физического осаждения в вакууме (PVD – Physical Vapour Deposition)

2. Метод химического осаждения из газовой среды (CVD – Chemical Vapour Deposition)

Таблица 1. Температура нанесения покрытий при использовании методов CVD и PVD

Метод	**Температура нанесения, °С**
PVD	350…600
CVD	900…1100

Из приведенной таблицы 1 видно, что процесс CDV происходит при более высоких температурах, чем процесс PVD. Технология PVD может быть использована для мелкоразмерных концевых инструментов, но достигаемая суммарная толщина покрытий в несколько сотен раз меньше, чем покрытие CDV [6]. Большинство покрытий в настоящий момент выпускаются многослойными с целью создания требуемого уровня защиты инструментальной основы от механических и химических факторов износа, за счет комбинации свойств различных частей своей слоистой структуры, среди таких покрытий наиболее известными являются Raptor и Diamond.

На предприятии ПАО «КАДВИ» стоит задача увеличения стойкости фрез за счет применения специальных покрытий. В ходе исследования будет выявлена зависимость стойкости инструмента от выбранного покрытия и применения инструмента без покрытия при обработке лопаток газотурбинного двигателя. В качестве покрытия будет использован материал на основе хромонитрида алюминия, проверка стойкости инструмента будет производится до полного разрушения инструмента.

Список литературы

[1] *Калмыков В.В., Атрощенко В.Н.* Исследование влияния методов обработки поверхностей на их износостойкость // В сборнике: Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе Материалы Всероссийской научно-технической конференции. 2017. С. 20-22.

[2] *Калмыков В.В., Антонюк Ф.И., Зенкин Н.В.* Выбор метода для автоматизации контроля состояния режущего инструмента // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 3 (7). С. 53-55.

[3] *Калмыков В.В., Малышев А.Н., Покровская М.Э.* Анализ способов точного позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ // Инженерный вестник. 2012. № 7. С. 1.

[4] *Калмыков В.В., Федорова О.С., Малышев И.Е.* Исследование статистических методов анализа технологических факторов при токарной обработке // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 48-52.

[5] *Калмыков В.В., Барков А.В.* Аналитическое и статистическое оценивание упругих деформаций при фрезеровании по контуру // Фундаментальные исследования. 2016. № 8-1. С. 34-38.

[6] *Александров В.А., Вдовин В.М., Сергеева А.С.* Создание износостойких покрытий для режущего инструмента // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. № 11. С. 85-89.

Степанов Евгений Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: 20jenya04@mail.ru

Атрощенко Виктор Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: atroshchenkoviktor@gmail.com

Короходкина Кристина Геннадьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: korokhodkina.k@gmail.com

Калмыков Вадим Владимирович – ст. преподаватель кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: soratvad@yandex.ru

Н.А. Чемборисов, И.К. Устинов, А.В. Мерзлов

ФОРМИРОВАНИЕ ВИНТОВОЙ КАНАВКИ КОНЦЕВОЙ ФРЕЗЫ

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

Эффективное проектирование режущего инструмента (РИ) невозможно без применения систем автоматизированного проектирования (САПР). Универсальные САПР РИ решают лишь распространенные, типовые задачи. При решении новых задач, связанных с расчетом по какому-либо новому алгоритму и визуализацией результатов, можно разрабатывать специализированные САПР на базе открытых систем в самые кратчайшие сроки. Одной из таких задач, является расчет и графическое отображение результатов формообразования винтовой канавки концевой фрезы.

Для обработки канавок с винтовой поверхностью в РИ (спиральные сверла, концевые фрезы и другие) широко применяются шлифовальные круги. Определение профиля такого инструмента в его диаметральном сечении является достаточно сложной задачей, которая решается с учетом профиля детали, параметра винтовой поверхности, положения инструмента относительно детали и его габаритных размеров. [1]

Существуют различные методы определения профиля инструмента: метод определения сопряженных точек с помощью общих нормалей и касательных [1]; метод определения профиля как огибающей совмещенных круговых проекций сечения детали [2]. Недостатками таких методов являются: сложность расчетов, трудоемкость придания необходимой формы шлифовального круга, которая увеличивается при использовании алмазного круга, при необходимости частого профилирования шлифовального круга, происходит его быстрый износ из-за правки. Таким образом, профилирование винтовых канавок шлифовальным кругом с простым профилем является актуальной задачей.

Частично данный способ обработки был рассмотрен в работе [3], предложено применение данного способа только для нарезания зубьев борфрез. Решается кинематическая задача, суть которой в том, что по заданному массиву точек касания определяются координаты центра шлифовального круга в процессе шлифования зубьев на режущей части инструмента.

Автором разработана система, основанная на открытых технологиях и использующая алгоритм, разработанный в работе [3]. В качестве основы системы была выбрана программная платформа OpenCASCADE, предназначенная для разработки специализированных научно-технических приложений. Платформа обеспечивает моделирование и визуализацию, а также экспорт и импорт данных в стандартных форматах, обеспечивая обмен данными с большими САПР. Данная платформа распространяется бесплатно,

имеет поддержку операционных систем Windows, Linux, Sun Solaris и SGI, имеет подробную документацию и большое сообщество разработчиков. [5]

Помимо OpenCASCADE система использует библиотеку Qt4, которая используется для построения графического интерфейса пользователя, работы с файлами и т.п. Данная библиотека также может работать на множестве операционных систем, обладает хорошей документацией и постоянно развивается. [6]

Так как и OpenCASCADE и Qt поддерживают несколько операционных систем, приложение, основанное на них, может работать минимум в двух операционных системах -Windows и Linux (различные дистрибутивы).

В случае работы в Linux не требуется затрат даже на покупку операционной системы, приложение, выполняющее все необходимые расчеты и построения, было создано без расходов на программное обеспечение для разработки и операционную систему (рисунок 1).

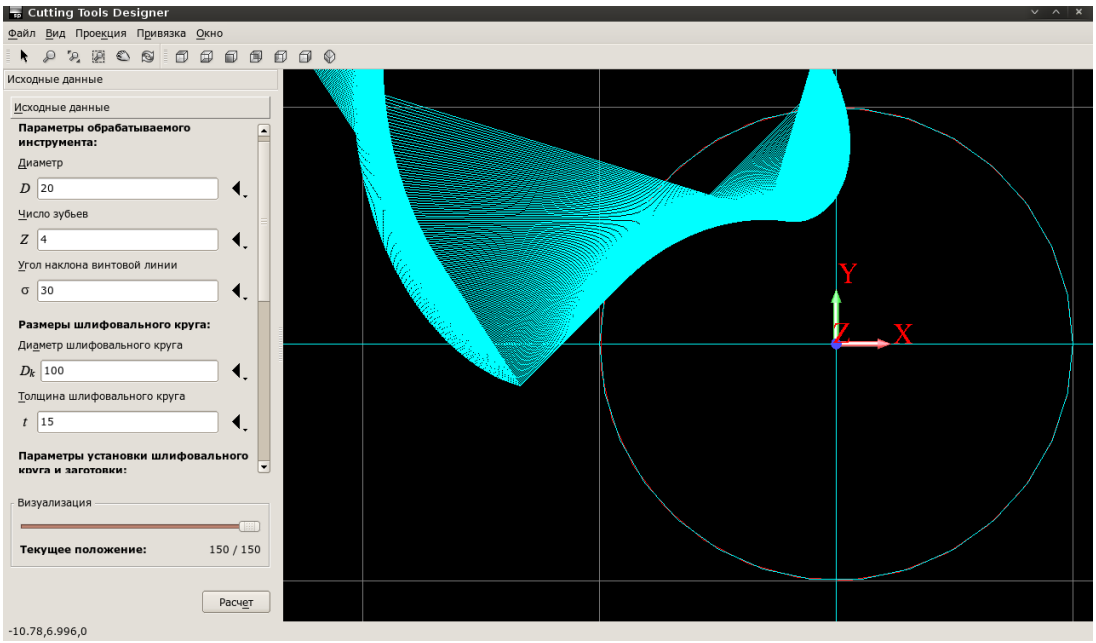


Рисунок 1. Результат имитации обработки

Алгоритм, описанный в работе [4] позволяет определять параметры установки шлифовального круга в зависимости от геометрических параметров обрабатываемого инструмента. Программное обеспечение, используя данный алгоритм, позволяет быстро рассчитать и отобразить результат формообразования. Ввод исходных данных осуществляется в левой панели, приложение предлагает ряды из самых распространенных значений.

Профиль инструмента характеризуется следующими параметрами: z – число зубьев фрезы, H – шаг винтовой линии, D – диаметр фрезы, γ – передний угол, h_1 – высота передней поверхности зуба, h – глубина канавки, l – ширина ленточки. На этом профиле можно выделить четыре точки достаточно точно определяющих конфигурацию канавки. Точка 1 расположена на вершине зуба инструмента, точка 2 в зоне перехода передней поверхности к радиусному участку, точка 3 – нижняя точка канавки, точка 4 расположена на конце ленточки зуба инструмента (рисунок 2).

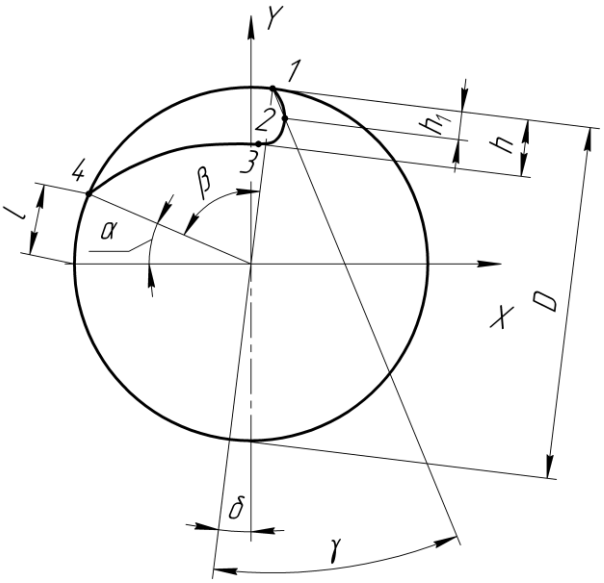


Рисунок 2. Ключевые точки профиля канавки

Обработку канавок можно осуществлять на шлифовальных станках с ЧПУ шлифовальными кругами стандартного профиля (прямоугольный и чашечный). Сложный профиль канавки образуется за счет кинематики движения шлифовального круга. Данный способ реализован, например, на станках фирмы «Michael Deckel». Обработка профиля канавки осуществляется при винтовом относительном движении шлифовального круга. При этом значение имеет предварительная установка шлифовального круга относительно заготовки.

Взаимное расположение шлифовального круга и заготовки характеризуется следующими параметрами (рисунок 3):

- a - межосевое расстояние;
- b – смещение круга;
- t – толщина шлифовального круга;
- ω – угол наклона шлифовального круга.

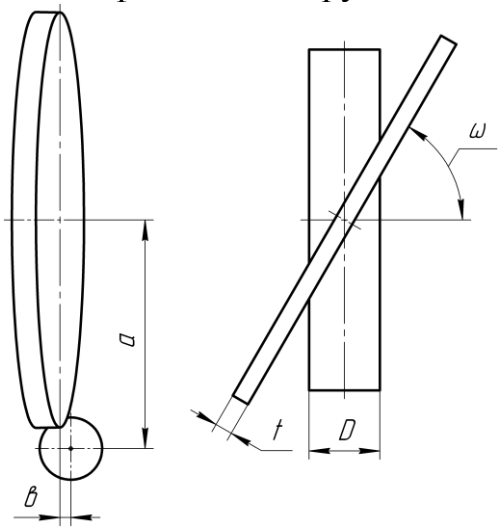


Рисунок 3. Взаимное расположение шлифовального круга и заготовки

Приложение позволяет быстро рассчитать положение шлифовального круга и заготовки в наладке, а также построить результат формообразования профиля винтовой канавки концевого инструмента. Система позволяет значительно повысить производительность труда конструктора, сократить потери от брака, ускорить процесс подготовки производства. Трудоемкость разработки системы сопоставима с трудоемкостью расширения функциональности существующих универсальных САПР. Использование существующих открытых решений позволяет существенно сокращать затраты на разработку, а также создавать комплексные системы для проектирования режущего инструмента.

Список литературы

[1] *Чемборисов Н. А.* Профилирование дисковых режущих инструментов для обработки винтовых поверхностей цилиндрических и конических деталей: Дис. … д-ра техн. наук / КГТУ им. А. Н. Туполева. Казань, 2003. 352 с

[2] *Истоцкий В.В.* Принципы подготовки управляющих программ при изготовлении зубьев фасонных борфрез на заточных полуавтоматах с ЧПУ. Известия ТулГУ. Серия. Машиноведение, система приводов и детали машин: Вторая Международная научно-техническая конференция «Проектирование, технологическая подготовка и производство зубчатых передач» - Тула: Изд-во Тулгу, 2005. – С.115-117.

[3] *Фасхутдинов А.И.* Точность профиля винтовой канавки концевого инструмента / А.И. Фасхутдинов // Металлообработка. – 5-ый номер 2008 г. – С. 10-13.

[4] Программная платформа OpenCASCADE - www.opencascade.org.

[5] Visual C++ 2008 Express Edition - www.microsoft.com.

Чемборисов Наиль Анварович – д-р техн. наук, профессор кафедры "Инструментальная техника и инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nail-che@yandex.ru

Устинов Игорь Кириллович – канд. техн. наук, зав. кафедрой Инструментальная техника и инженерная графика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: volkovkfmgtu@yandex.ru

Мерзлов Артем Витальевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: merzlov101296@mail.ru

Р.О. Ермачков, А.Г. Вяткин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ ОСАДКИ С УПОРОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ ОСАЖЕННЫХ ЗАГОТОВОК НА ГИДРАВЛИЧЕСКОМ ПРЕССЕ

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

Осадка может производиться на различных типах прессов (кривошипных, гидравлических и винтовых).

Перед началом процесса осадки необходимо произвести наладку технологической системы [9].

Наладкой технологической системы называется процесс подготовки технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению определенной технологической операции [10].

Способ наладки – один из менее изученных факторов, влияющих на точность размеров при осадке. При наладке любой технологической системы неизбежно возникает погрешность наладки, так как нельзя каждый раз добиться одного и того же значения регулируемого параметра. Наладка любого пресса заключается в установлении основного параметра, при котором размеры штампуемых поковок находились бы в пределах, ограниченных полем допуска [12].

Исходя из результатов исследований процесса осадки, можно предположить, что способ наладки пресса будет оказывать существенное влияние на точность размеров (как высотных, так диаметральных) заготовок.

Мной был изучен один из важнейших способов осадки – осадка по упору. Был проведен эксперимент с целью наглядного представления преимуществ данного способа наладки.

Цель эксперимента: выявить зависимость высоты осаженных заготовок от способа наладки технологической системы.

Методика проведение эксперимента:

В ходе эксперимента была проведена осадка цилиндрических заготовок диаметром 18 мм из меди М1 на гидравлическом прессе модели П481А с номинальной силой *P=400кН.* Заготовки имели разный высотный размер с шагом 0,5 мм. Осадка проводилась двумя способами: с металлическим упором высотой 22,5 мм и без упора. Каждый опыт эксперимента проводился 2 раза, после чего вычислялось среднее значение.

Каждой заготовке присвоили номер, согласно ее высоте.

Таблица 1. Обозначение исходных заготовок, исходя из их высоты

№	1	2	3	4	5	6	7
h_0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31	31,5

После чего была проведена осадка заготовок на гидравлическом прессе с силой 45 кН.

В результате осадки были получены результаты, разброс которых может быть наглядно представлен на следующем графике:

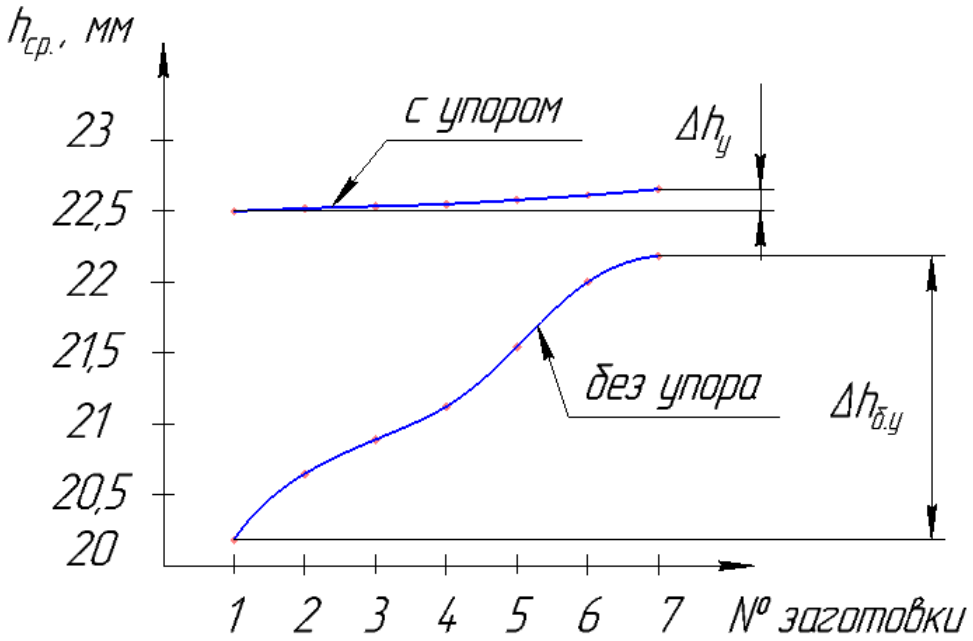


Рис. 1. Зависимость высоты осаженной заготовки от высоты исходной заготовки при осадке с упором и без него

Вывод: в ходе эксперимента было установлено, что осадка с упором позволяет достичь меньшего разброса высот осаженных заготовок, благодаря тому, что упор берет на себя большую часть приложенной силы. Следовательно, осадка с упором позволяет достичь большей точности размеров, чем осадка без упора.

Список литературы

[1] Антонюк Ф.И. Вяткин А.Г. Анализ факторов, влияющих на точность холодной плоской осадки // Кузнечно-штамповочное производство. 2000. –№ 1. - с. 3-5.

[2] Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г., Точность холодной осадки цилиндрических заготовок //КШП.ОМД. – 2000. №10. С.16-21.

[3] Антонюк Ф.И., Зенкина И.А., Кузнецов И.В. Повышение точности диаметральных размеров цилиндрических поковок при холодной осадке // Фундаментальные исследования. 2017. № 2. С. 9-15.

[4] Антонюк Ф.И., Калмыков В.В., Сорокина И.И., Формоизменение цилиндрических заготовок при холодной осадке на кривошипном и гидравлическом прессах // Заготовительные производства в машиностроении. – 2016. №6. С. 13-18.

[5] Антонюк Ф.И., Логутенкова Е.В., Малышев А.Н. Анализ точности холодной штамповки выдавливанием стержневых изделий с фланцами на кривошипных прессах // Фундаментальные исследования. 2015. № 4-0. С. 11-15.

[6] Антонюк Ф.И., Малышев А.Н. Повышение точности холодной объемной осадки на гидравлических прессах// КШП.ОМД. – 2005.

[7] Вяткин А.Г., Матвеев С.В., Влияние погрешности наладки винтового пресса на точность высотных размеров поковки при осадке// Заготовительные производства в машиностроении. – 2012. №7. С. 22-25.

[8] Ковка и штамповка: справочник. В 4-х т. Т.3 Холодная объемная штамповка/ под ред. Г.А. Навроцкого. – М.: Машиностроение, 1987. – 384с.

[9] Ланской Е.Н., Антонюк Ф.И., Вяткин А.Г. Точность поковок, изготавливаемых холодной объемной штамповкой на кривошипных и гидравлических прессах // КШП. ОМД. – 2002. – №1. – С. 25–29.

[10] Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник для студентов вузов. Л.: Машиностроение, 1985. 512с.

[11] Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отдние, 1991. – 304 с.

[12] Охрименко Я.М. Технология кузнечно-штамповочного производства: учеб. Для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Машиностроение, 1987. – 384 с.

[13] https://elibrary.ru/item.asp?id=15809142 (Вяткин А.Г. Сравнительная оценка точности операций холодной объемной штамповки, выполняемых на кривошипных и гидравлических прессах)

[14] https://elibrary.ru/item.asp?id=28800188 (Антонюк Ф.И, Зенкина И.А., Кузнецов И.В. Повышение точности диаметральных размеров цилиндрических поковок при холодной осадке)

Ермачков Роман Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: don.ermachckow2015@yandex.ru

Вяткин Андрей Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Машиностроительные технологии" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: and-vyatkin@mail.ru

СЕКЦИЯ 2.

ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е.А. Харченкова, Н.Н. Максимов

ВЫБОР МЕТОДА ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЖАРОВОЙ ТРУБЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

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

Технико-экономический уровень и надежность сварной конструкции во многом определяется работоспособностью сварного соединения, которое ввиду несоответствия практически всех его характеристик основному материалу существенно снижает общую несущую способность изделия, его коррозионную стойкость, сопротивляемость статическим и ударным нагрузкам, устойчивость и другие показатели. Для снижения отрицательного влияния термодеформационного цикла сварки разработано большое количество способов, направленных на повышение работоспособности сварных конструкций.

Целью исследований, изложенных в данной статье, является изучение особенностей свариваемых материалов, причин снижения работоспособности сварных соединений при многоцикловом нагреве и высоких температурах, методов повышения работоспособности.

Применительно к тонкостенным конструкциям способы повышения работоспособности разделены на шесть основных направлений:

1. Металлургическое, включающее способы, основанные на легировании, рафинировании металла шва, а также создание новых сплавов.

2. Конструкторское, обеспечивающее требуемую несущую способность сварной конструкции путем рационального конструирования сварных соединений, увеличения усиления шва, а в отдельных случаях и сечения основного металла на всей ширине зоны термического влияния.

3. Технологическое, основанное на применении режимов сварки, регулирования тепловложения, измельчения структуры металла шва путем электромагнитного и ультразвукового воздействия на расплавленный металл.

4. Термическое, использующее повторный нагрев шва и околошовной зоны электрической дугой неплавящимся электродом, общую и местную термическую обработку.

5. Вибрационное, применяющее различные способы низкочастотной обработки как в процессе сварки, так и после ее завершения.

6. Деформационное, предусматривающее пластическое воздействие на зону сварного соединения [1].

Камера сгорания является ответственным элементом газотурбинного двигателя (ГТД). Устойчивость ее работы определяет надежность работы

ГТД, эффективность и экономичность. Конструкция камеры сгорания работает с учетом тяжелых условий ее эксплуатации в высокотемпературной среде, определяемой горением топлива.

Жаровая труба - это один из основных элементов камеры сгорания газотурбинного двигателя, в которой происходит высокотемпературное горение топлива и создается высокое давление газов. Она состоит из отдельных листовых секций, выполненных из листового жаропрочного сплава ХН78Т. Секции соединяются между собой точечной контактной сваркой. Данный способ соединения обеспечивает высокую производительность, стабильное качество сварных соединений, малую себестоимость за счет низкого расхода вспомогательных материалов и высокую экологичность процесса, легко механизируется и автоматизируется. На рисунке 1 показана зона сварки трех элементов: стенки наружной, экрана наружного и головки, толщины которых составляют 0,6 мм, 1 мм и 1 мм соответственно.

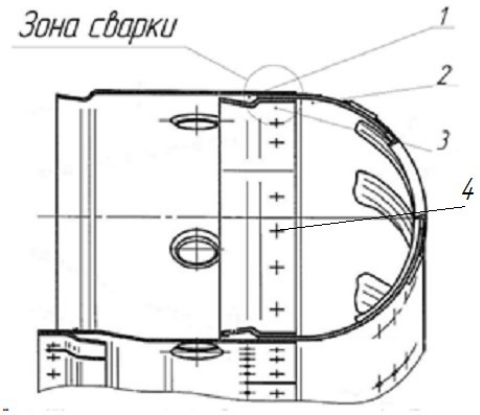


Рис 1. Жаровая труба, 1 – Стенка наружная, 2 – Головка,
3 – Экран наружный, 4 – Сварные точечные соединения

Жаропрочный сплав на основе никеля ХН78Т рассчитан на длительную работу при температуре до 1100°С. Никелевые сплавы обладают сравнительно низкой электропроводностью (значительно ниже, чем у малоуглеродистых сталей). Поэтому их точечная сварка осуществляется при умеренной силе тока. Сплав ХН78Т окалиностойкий при температуре 950 - 1050°С. После высокотемпературной обработки приобретает практически однородную структуру твердого раствора на основе никеля, что способствует легкой деформируемости. Рекомендуемый режим термической обработки: закалка с 1000-1150°С на воздухе или в воде. Сплав относительно трудносвариваемый. Такой материал для получения качественных сварных соединений перед сваркой подогревают до 200-300 градусов с последующей термообработкой после сварки [2], [3].

Из рассмотренных методов для нашего изделия наиболее предпочтительными являются технологический, вибрационный и деформационный способы.

Список литературы

[1] Кондаков Г.Ф. *Повышение работоспособности сварных тонкостенных конструкций.* - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004 - 332 с

[2] Сорокин Л.И. *Технология сварки специальных сталей. Способы уменьшения сварочных деформаций и напряжений.* - М.: Машиностроение, 1996

[3] Чулошников П.Л., *Контактная сварка:* Учебное пособие для проф. обучения. - М.: Машиностроение, 1987

Харченкова Елена Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: elenka23811@gmail.com

Максимов Николай Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2kf@bmstukaluga.ru

М.И. Шаталов, К.Ю. Труханов

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАХЛЕСТОЧНОГО СОЕДИНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОТКЛОНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ

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

При производстве сварных деталей автомобилей наиболее часто используются тавровое и нахлесточное соединения (рис. 1). Это объясняется удобством их сборки, в том числе для автоматизированной и роботизированной сварки. При этом виду относительно небольших толщин деталей (1,5-3 мм) и, как следствие, применение небольших токов для сварки, отклонения размеров деталей и точности сборки оказывают существенное влияние на качество изготовления изделий.

Рис. 1. Макрошлиф нахлесточного соединения

Для нахлесточного соединения (рис. 2) в качестве геометрических факторов, влияющих на качество, можно выделить толщину деталей (t_1, t_2), зазор (c). Так же существеннее влияние оказывает положение горелки относительно соединения. Для предварительной оценки влияния параметров на изделие было выполнено исследование влияния зазора c на напряженно-деформированное состояние (НДС) соединения средствами CAE-пакета ANSYS. Конечно-элементная модель соединения представлена на рисунке 3.

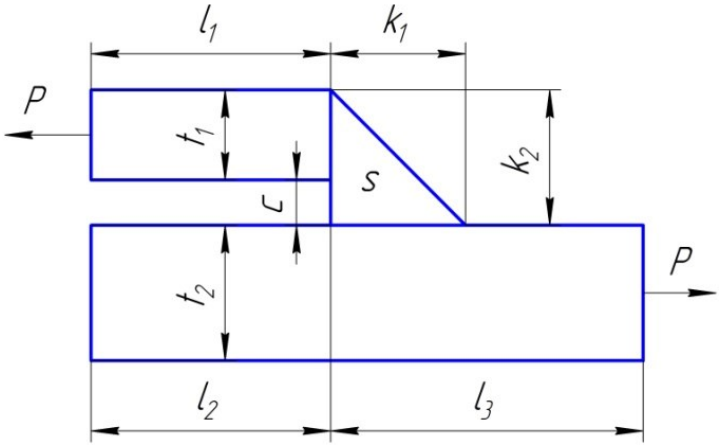


Рис. 2. Схема соединения и нагружения

Моделирование выполнялось для следующих значений параметров соединения: t_1 = 1,5мм, t_2 = 2 мм, l_1 = 50 мм, l_2 = 50 мм, l_3 = 50 мм S = 5 мм^2, P = 7000 Н. Параметры k_1 и k_2 определялись исходя из площади сечения S. Зазор c 0,5, 0,75 и 1,0 мм.

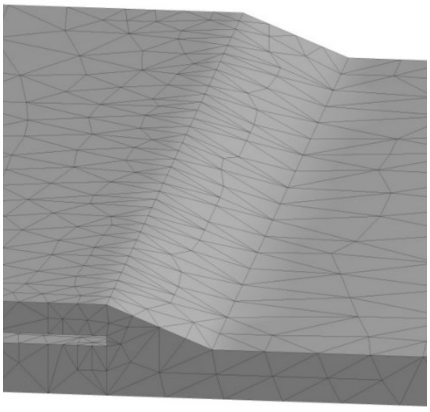
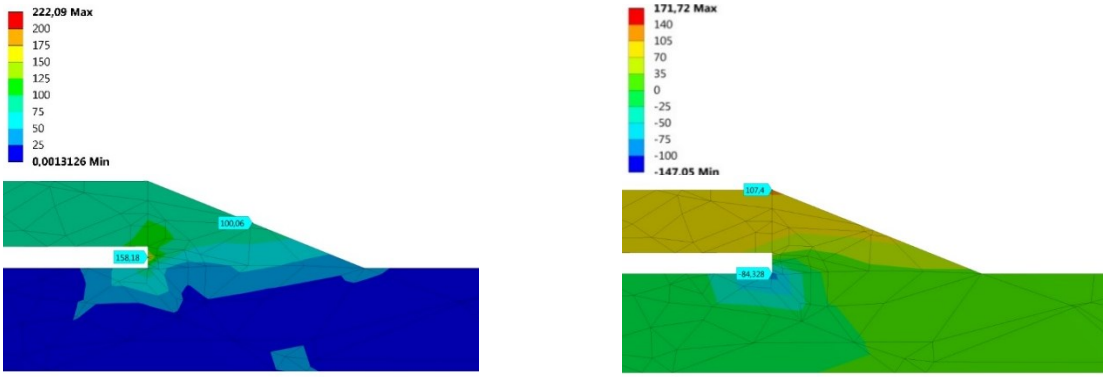


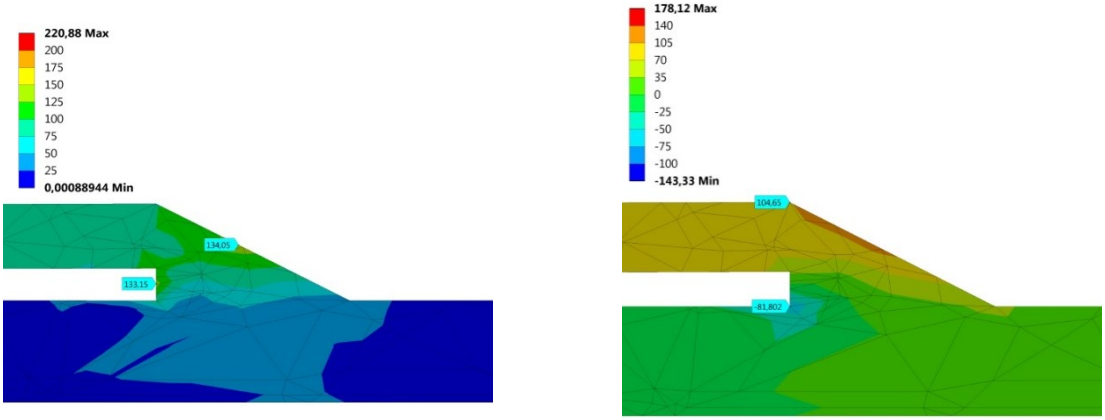
Рис. 3. КЭ-модель

На рисунках 4-6 представлены результаты моделирования в виде полей эквивалентных напряжений по von-Mises (рис.2а, 3а, 4а) и нормальных напряжений (по оси z) (рис. 2б, 3б, 4б).



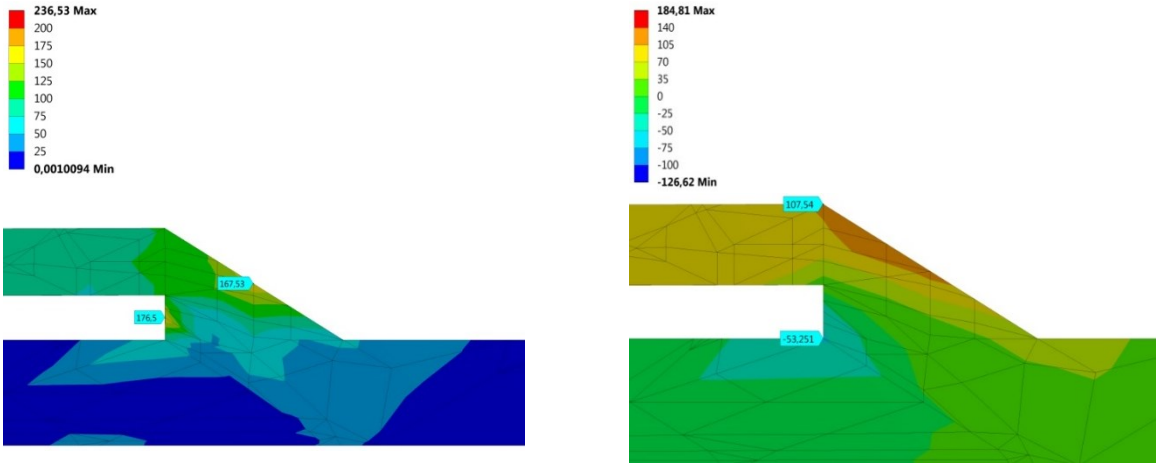
а) б)

Рис. 4. НДС, зазор c = 0,5 мм



а) б)

Рис. 5. НДС, зазор c = 0,75 мм



а) б)

Рис. 6. НДС, зазор c = 1,0 мм

Увеличение зазора с 0,5 до 1,0 мм приводит к увеличению эквивалентных напряжений с 100 до 170 МПа в области усиления шва и с 160 до 180 МПа в области корня шва. В дальнейшем планируется более широкое исследование влияние различных геометрических параметров на качество сварки тонколистовых нахлесточных соединений.

Список литературы

[1] Теория сварочных процессов: учебник для вузов / [В.М. Неровный и др.]под ред. В.М. Неровного. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 702 с.

[2] Труханов К.Ю., Шаталов М.И., Ткачев Д.А. Импорт твердотельной модели из CAD-системы КОМПАС-3D в CAE-систему ANSYS // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 4 (16). – С. 12–17

[3] Труханов К.Ю., Шаталов М.И., Головачева Ю.Г.Моделирование напряженно-деформированного состояния таврового соединения сварных конструкций // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2018. – №СВ2 (20).– С. 10–17

Шаталов Максим Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shatalovmaxim1996@mail.ru

Труханов Константин Юрьевич – ассистент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru

П.Ю. Дитковский, П.С. Левко, К.Ю. Труханов

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ 65Г

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

В автомобилестроении особое внимание уделяется амортизирующим деталям, так как они способны поглощать энергию от удара. Они воспринимают продольно-осевую нагрузку, вследствие этого такие элементы изменяет свой размер, а после прекращения воздействия восстанавливает исходное состояние.

Для изготовления амортизирующего узла кресел автомобиля, используется пружинная проволока из стали 65Г, химический состав которой представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав стали 65Г

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,62 – 0,7	0,17 – 0,37	0,9 – 1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2

Примеры использования данной стали в промышленности: пружины, рессоры, упорные шайбы, тормозные ленты, фрикционные диски, шестерни, фланцы, корпусы подшипников, зажимные и подающие цанги и другие детали, к которым предъявляются требования повышенной износостойкости, и детали, работающие без ударных нагрузок.

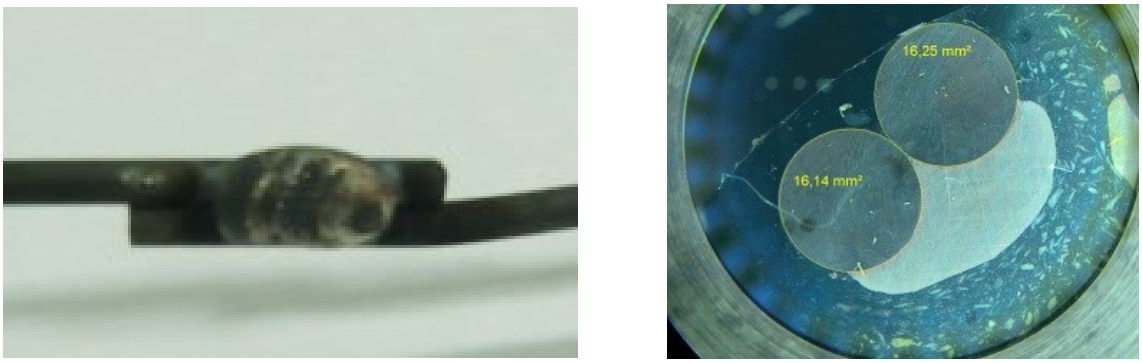
В рассматриваемом изделии используется проволоки диаметром 4,5 мм и 2,0 мм. В процессе сварки происходит быстрое охлаждение металла – это может привести к образованию мартенсита. Мартенсит - это зерна игольчатой формы в микроструктуре металла, представляющие собой перенасыщенный твердый раствор углерода в α-железе. Мартенсит делает проволоку очень хрупкой и непригодной для использования по назначению. Таким образом, при разработке технологии сварки рассматриваемых изделий необходимо учитывать и минимизировать отрицательное влияние термического цикла сварки на свойства соединений.

Возможным вариантом сварки данных изделий является полуавтоматическая дуговая пайка плавящимся электродом (MIG/MAG). В качестве присадочной проволоки используются материалы с более низкой температурой плавления, чем у основного материала. Это позволяет снизить воздействие сварки на его структуру и свойства. Так же преимуществами данного способа является:

– высокое качество соединение, благодаря удобному инструменту подачи проволоки, помогающему осуществлять беспрерывные швы большой длины,

– возможность работы со сложными сплавами и разнородными деталями,
– отсутствие флюсов и покрытий, а соответственно операций по очистке шва от шлака.

В качестве сварочной проволоки может быть использована медно-кремниевая проволока CuSi3, а также CuSi2Mn, CuA18. Температура плавление этих проволок, в зависимости от материала, составляет 950-1080 ºС. При их использовании обеспечивается низкая коррозия соединения, минимальное разбрызгивание, малое тепловложение, простая последующая обработка.



а) б)

Рис. 1. Общий вид (а) и макрошлиф (б) соединения высоуглеродистой проволоки с помощью полуавтоматической сварки-пайки

Для сварки более тонкой проволоки (2 мм) стоит рассмотреть сварку неплавящимся электродом в среде защитных газов (TIG). Данный способ отличает относительно небольшое тепловложение и, как следствие, возможность сварки тонких материалов без образования дефектов, таких как прожиги, подрезы и т.д. Однако высокая скорость охлаждения сварного соединения может ухудшить свойства материала и требует более тщательного подбора режимов сварки и дополнительных технологических мероприятий, таки как предварительный подогрев.

В качестве защитного газа для обоих способов рекомендуется использовать аргон (Ar). Аргон обеспечивает очень высокий уровень защиты, так как он нейтрален ко многим металлам и средам. Несмотря на высокие показатели качества при сварке им, он оказывается наиболее вредным для организма человека. При этом он не образует взрывчатую смесь с воздухом.

Таким образом, разработка технологий изготовления изделий из высокоуглеродистой стали с использованием предлагаемых способов сварки позволит обеспечить высокое качество соединения без существенного увеличения сложности и себестоимости производства.

Список литературы

[1] Макаров, Э.Л. Теория свариваемости сталей и сплавов / Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 487 с.

[2] Краснопевцев А.Ю. Пайка в контролируемых средах, классификация и развитие // Сварочное производство. – 2016. - №11, - С.40-45

[3] Оценка технико-экономических показателей различных способов соединения деталей кузова автомобиля / А.Ю. Краснопевцев [и др.] // Вектор науки ТГУ. – 2016. – № 3 (37)

Дитковский Павел Юрьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pavelditkovskiy@gmail.com

Левко Павел Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Nuuuer@gmail.com

Труханов Константин Юрьевич – ассистент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2-kf@bmstu-kaluga.ru

В.А. Дубровский, А.Ю. Амеличева, В.С. Меньшиков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАВАРКИ ПРОВОЛОКОЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ВАЛ»

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

В работах [1-3] были указаны основные положения рациональной технологии ЭКНП изделий, при осуществлении которых можно достигнуть минимальных затрат при осуществлении качественного ремонта наружных цилиндрических поверхностей изделий в условиях единичного и мелкосерийного производства. Было предложено связать все параметры процесса наварки с одной величиной – осадкой проволоки ε, простой в измерении и информативной [1], восстанавливаемые детали было предложено разделить на группы по условиям эксплуатации (табл. 1) назначив для каждой свой рекомендуемый интервал осадки проволоки, в котором обеспечивается качественный ремонт, но с разной высотой подъема металла за проход [2].

Таблица 1. Группы деталей, восстанавливаемых ЭКНП.

Группа деталей	Условия работы, наружных поверхностей восстановленных деталей, в эксплуатации	Типовые детали
Первая	Неподвижная	Различные стаканы, а также наружные поверхности фланцев, осей и валов под неподвижные цилиндрические и конические поверхности подшипников качения, в т. ч. шпиндели станков и т.д.
Вторая	Трение скольжения или качения, в зависимости от материалов сопрягаемых пар поверхностей («сталь-бронза», «сталь-чугун», «сталь-пластмасса», «сталь-резина», «сталь-сталь», а также с принудительной жидкой смазкой соприкасающихся поверхностей и (или) наличии контакта внутренней обоймы подшипника, с восстановленной поверхностью)	Штоки гидроцилиндров различных машин, золотники гидрораспределителей, пиноли и червяки зубошлифовальных станков, поворотные и разжимные кулаки, распредвалы и т.д.
Третья	Трение скольжения или качения(пара «сталь-сталь», без принудительной смазки соприкасающихся поверхностей и (или) при наличии контакта иголки (ролика) подшипника, с восстановленной поверхностью детали)	Оси, опоры, катки, крестовины и т.д.
Четвертая	Переменные нагрузки и детали, условия, работы которых заранее неизвестны.	Различные гладкие валы, коленчатые валы, вибровалы и т.д.

Под качественным восстановлением понимаются цельные (без дефектов сплошности) покрытия наружных поверхностей ремонтируемых цилиндрических изделий, прочность сцепления основного и навариваемого материала которых достаточна, а также требуемое качество поверхности, не имеющей дефектов в виде раковин и трещин. В работе [2] приведены технологические (обеспечивающие достаточную прочность сцепления валика или покрытия с основой) и допустимые (обеспечивающие цельное сплошное покрытие) интервалы изменения осадки проволоки ε, через которые выражены режимы ЭКНП различных групп цилиндрических деталей.

Подъем слоя наваренного металла за один проход определяется диаметром проволоки $d_{пр}$ и ее осадкой ε, то есть, для снижения затрат на восстановление изделия необходимо использовать проволоку наибольшего возможного диаметра – 2 мм и понижать количество навариваемых слоев, уменьшая осадку. Схема наварки также играет роль - наиболее производительной является одновременная наварка двух проволок.

Для деталей типа «вал» подобрать рациональный режим наварки значительно проще, чем для деталей-втулок, поскольку исключены возможные изменения внутренних размеров после ЭКНП. Подбор схемы восстановления деталей-валов заключается в указании в технологии ремонта таких режимов наварки, которые выражены через определенную внутри допустимого для их группы деталей интервала рациональную осадку проволоки ε при постоянном усилии сжатия электродов P=1,5кН, времени импульса $t_и$=0,1с, времени паузы $t_п$=0,2с и подобранном числе оборотов n. Необходимое число оборотов (скорость наварки) n определяли в зависимости от наружных диаметров деталей D восстанавливаемых изделий ($n = 85/D$) [4].

В результате исследований, подтвержденных экспериментально [2, 3], было установлено, что при ЭКН двумя проволоками Нп-65Г или Св-08Г2С технологический интервал осадки ε_2 : $55\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$. Допустимые интервалы определялись исходя из минимальной требуемой прочности сцепления нанесенного ЭКН покрытия с основным металлом [4]. В каждом допустимом интервале изменения осадки проволоки из возможных значений режимов ЭКНП должен быть определен один единственный, который будет являться более оптимальным для восстанавливаемого изделия.

Величина осадки проволоки определяет прочность сцепления основы и присадочнного материала, которая необходима для надежной работы изделия. Из условия эксплуатации детали выбирается группа, к которой можно отнести восстанавливаемое изделие (табл. 1).

В зависимости от принятой группы назначается интервал осадки проволок ε_2 (табл. 2).

Таблица 2. Допустимые интервалы осадки ε_2 при наварке двумя проволоками в зависимости от группы детали.

для первой группы	$- 55\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$;
для второй группы	$- 60\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$;
для третьей группы	$- 65\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$;
для четвертой группы	$- 65\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$ для конических деталей; $70\% \pm 2\% \le \varepsilon_2 \le 80\% \pm 2\%$ для цилиндрических деталей.

Далее определяется число навариваемых слоев двумя проволоками C_2. Количество слоев зависит от необходимой величины общего подъема наваривaемого металла $\Delta_{под}$, а также слоя металла, который можно нанести за один проход двумя проволоками $\Delta^2_{под}$.

При ЭКН двумя проволоками диаметром $d_{пр}$ = 2 мм и среднем минимальном значении припуска $\Delta_{прип}$ = 0,9 мм и $\Delta_{ос}$ = 0 расчетное количество слоев C_2 принимает следующий вид

$$C_2 = \frac{\Delta_{изн} + 0,9мм}{4 \cdot (1 - 0,01 \cdot \varepsilon_2)} \approx 1,2 \text{ или } 3 \qquad (1)$$

Расчетное минимальное целое количество слоев C_2 при ЭКН двумя пружинными 2 класса или сварочными Св-08Г2С проволоками, определенное по формуле (1) в зависимости от износа детали $\Delta_{изн}$ и осадки проволоки ε_2 приведено в таблице 3. Выделенные значения являются приоритетными.

Таблица 3. Значения количества навариваемых слоев в зависимости от осадки проволоки и величины износа поверхности.

Расчетное количество слоев (проходов), C_2	$\Delta_{изн}$, мм	Осадка проволоки ε_2, %.							
		50	55	60	65	70	75	80	85
	0,1	Выполняется операция обязательного занижения до 0,5 мм для всех значений осадки проволоки ε				-	1,00*	1,25*	1,66*
	0,2					0,92*	1,10*	1,37*	1,83*
	0,3					1,00*	1,20*	1,50*	2,0*
	0,4					1,08*	1,30*	1,62*	2,16*
	0,5	0,70	0,78	0,88	1,00	1,17	1,40	1,75	2,33
	0,6	0,75	0,83	0,94	1,07	1,25	1,50	1,88	2,5
	0,7	0,80	0,89	1,00	1,14	1,33	1,60	2,00	2,66
	0,8	0,85	0,94	1,06	1,21	1,42	1,70	2,13	2,83
	0,9	0,90	1,00	1,13	1,29	1,50	1,80	2,25	3,0
	1,0	0,95	1,06	1,19	1,36	1,58	1,90	2,38	3,16
	1,1	1,00	1,11	1,25	1,43	1,67	2,00	2,50	3,33
	1,2	1,05	1,17	1,31	1,50	1,75	2,10	2,63	3,5
	1,3	1,10	1,22	1,38	1,57	1,83	2,20	2,75	3,66
	1,4	1,15	1,28	1,44	1,64	1,92	2,30	2,88	3,83
	1,5	1,20	1,33	1,50	1,71	2,00	2,40	3,00	
	1,6	1,25	1,39	1,56	1,79	2,08	2,50	3,13	
	1,7	1,30	1,44	1,63	1,86	2,17	2,60	3,25	
	1,8	1,35	1,50	1,69	1,93	2,25	2,70	3,38	
	1,9	1,40	1,56	1,75	2,00	2,33	2,80	3,50	
	2,0	1,45	1,61	1,81	2,07	2,42	2,90	3,63	
	2,1	1,50	1,67	1,88	2,14	2,50	3,00		
	2,2	1,55	1,72	1,94	2,21	2,58	3,10		
	2,3	1,60	1,78	2,00	2,29	2,67	3,20		
	2,4	1,65	1,83	2,06	2,36	2,75	3,30		
	2,5	1,70	1,89	2,13	2,43	2,83	3,40		

**Только для деталей D≤75мм может не выполняться операция обязательного занижения при износе меньше 0,5мм и ЭКНП с осадкой Ɛ=75% - 85%.*

В случае такой величины износа, при которой, согласно таблице 3 требуется нецелое количество слоев, осадку проволоки необходимо уточнить. При этом припуск на механическую обработку назначается $\Delta_{\text{прип}} = 0{,}9$ мм, нецелое число слоев C_2 округляется до ближайшего меньшего целого значения. Это количество слоев является фактическим C_2^f и используется для определения фактической осадки ε_2^f по формуле (2):

$$\varepsilon_2^f = 100 - \frac{25 \cdot \left(\Delta_{\text{изн}} + 0{,}9\right)}{C_2^f}, \text{ в \%,} \qquad (2)$$

Если ε_2^f не входит в допустимый интервал для восстанавливаемой детали, округление следует произвести в большую сторону и повторить расчет.

Принимая по данным таблицы 3 минимальные целые значения количества слоев наварки C_2 или пересчитанное C_2^f, при значениях осадки проволоки ε_2^f определенной по формуле (2), всегда припуск на последующую механическую обработку наружной поверхности детали будет равен заданному минимальному среднему значению равному 0,9 мм.

Детали с наружными диаметрами D до 100 мм можно наваривать на режимах с постоянной осадкой проволоки сварочной Св-08Г2С и пружинной 2 класса без операций механической обработки между навариваемыми слоями.

При диаметре детали свыше 100 мм, механическая обработка поверхности между навариваемыми слоями также необязательна, однако, необходимо увеличивать осадку проволоки ε на 3-5% после наварки каждого слоя. Такая необходимость вызвана большим сопротивлением окисленной поверхности металла после ЭКН первого или второго слоя.

Руководствуясь приведенными формулами и рекомендациями, можно подобрать рациональный режим электроконтактной наварки для большинства деталей типа "вал".

Список литературы

[1] Дубровский В.А., Потапов А.В., Амеличева А.Ю., Зезюля В.В., Зыбин И.Н. Текущее состояние и направление дальнейшего развития технологии электроконтактной наварки проволокой. // Сварка и диагностика. 2017. №3. С. 30 – 34.

[2] Дубровский В.А., Амеличева А.Ю., Потапов А.В., Зезюля В.В., Зыбин И.Н. Технологические и допустимые интервалы изменения осадки проволоки при электроконтактной наварке различных групп деталей. // Сварка и диагностика. 2017. №5. С. 43 – 50.

[3] Дубровский В. А., Амеличева А. Ю., Потапов А. В., Зезюля В. В., Головачева Ю.Г., Меньшиков В.С. Экспериментальные исследования технологических свойств металлических покрытий в наружных поверхностях цилиндрических образцов после электроконтактной наварки различными проволоками. // Сварка и диагностика. 2018, №1, С. 17 – 22.

[4] Дубровский В.А., Зезюля В.В., Столяров И.В. Расчет прямых затрат на электроконтактную наварку проволокой оплавлением. //Сварочное производство. – 2008. -№12. - С.41 – 44.

Дубровский Владимир Анатольевич – д-р техн. наук, директор ООО "НПП Велд". E-mail: nppveld@yandex.ru

Амеличева Анна Юрьевна – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: aallkko@gmail.com

Меньшиков Вячеслав Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Vyacheslav.menshikov@inbox.ru

А.А. Никитин

ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «ПИНОЛЬ» ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ НАВАРКОЙ ПРОВОЛОКОЙ

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

Пиноль - подвижная в осевом направлении гильза в задней бабке металлорежущего станка, в которой закрепляют обрабатывающий инструмент или центр для поддержания детали.

Пиноль фрезерного станка (рис. 1) изготовлена из материала Сталь 45. Наружный диаметр детали пиноль составляет 265 мм. В ней имеются посадочные места под подшипники, имеющие диметр 240 мм. Деталь не контактирует с агрессивными средами и работает при нормальных температурах. Деталь изнашивается в результате трения скольжения по наружной поверхности. Величина износа, как правило, составляет 0,5-1 мм на сторону.

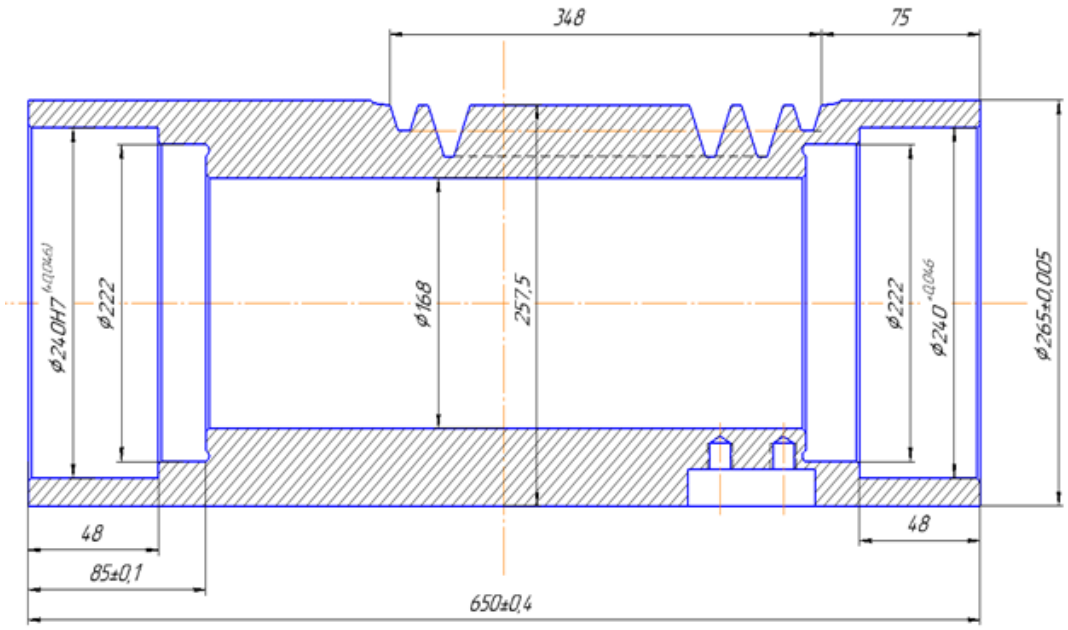


Рис. 1. Пиноль фрезерного станка

Для восстановления детали пиноль возможно применять такие способы как дуговая наплавка под слоем флюса, наплавка в среде защитных газов, электроконтактная приварка ленты, электроконтактная наварка проволокой, плазменная наплавка, вибродуговая наплавка и напыление.

Следует отметить, что при восстановлении детали пиноль, относящейся к деталям типа “втулка”, необходимо обеспечить точность внутреннего диаметра 240 мм в пределах своего допуска. Толщина стенки детали в месте нахождения этого размера составляет 12,5 мм.

Среди вышерассмотренных способов восстановления такой детали наиболее целесообразной технологией является электроконтактная наварка проволокой, характеризующаяся рядом преимуществ, такими как, возможность получения покрытий различной твердости, толщины и химического состава, меньшим термическим влиянием на основной металл и т.д.

Однако при применении данной технологии для восстановления деталей типа “втулка” возможно появление таких формоизменений детали, как изменение радиальных размеров детали – происходит их уменьшение на величину Δ S (рис. 2).

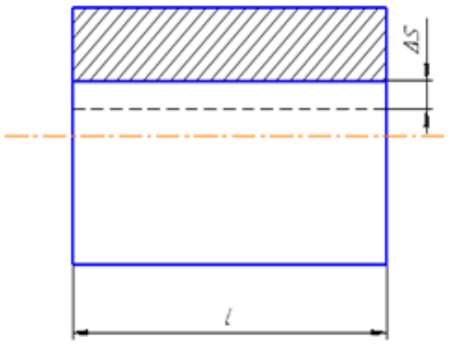


Рис. 2. Радиальные формоизменения деталей типа “втулка” после ЭКНП: поперечные формоизменения [1]

Также при восстановление таких деталей возможно изменение формы поперечного сечения внутренней поверхности детали – появляется эллипсность (рис.3). Разница между большой и малой осями эллипса, как правило составляет 0,2…1%. При этом характер отклонения формы внутренней поверхности после наварки и первого и последующих слоев сохраняется [2].

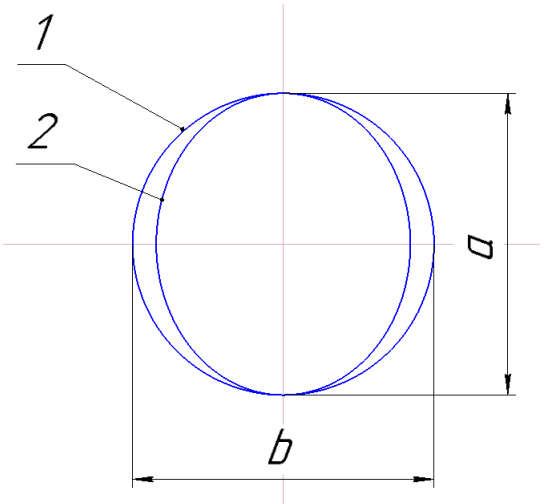


Рис. 3. Схематической изображение формы внутренней поверхности образца в его поперечном сечении до ЭКНП (1) и после (2):
a- длина большей оси эллипса; b- длина малой оси эллипса

Так как внутренний диаметр пиноли 240 мм имеет жесткий допуск, то для обеспечения точности размера следует принимать специальные технологические мероприятия, направленные на предотвращение формоизменения внутренней поверхности деталей при восстановлении наружных поверхностей. К таким технологическим мероприятиям можно отнести применение цанговых зажимов, предотвращающих изменение формы внутренней поверхности детали, применение ответных деталей (например, при наличии на внутренней поверхности шлицев можно использовать ответную деталь со шлицами).

К данным технологическим мероприятиям можно отнести подачу охлаждающей жидкости на внутреннюю поверхность детали с целью уменьшения термического влияния процесса наварки на основной металл детали. Это позволяет не применять дополнительные устройства (цанговых зажимов) и ответных деталей, при этом для подачи воды на внутреннюю поверхность детали можно использовать ту же магистраль, что применяется и для подачи охлаждающей жидкости в зону наварки.

Таким образом, для предотвращения радиальных формоизменений внутренних поверхностей деталей в процессе наварки их наружных поверхностей предложено подавать охлаждающую жидкость на внутреннюю поверхность детали, чтобы уменьшить термическое влияние процесса наварки на основной металл и предотвратить появление радиальных формоизменений внутренних поверхностей восстанавливаемых деталей.

Список литературы

[1] Дубровский В.А. Формоизменения деталей типа "втулка" при электроконтактной наварке проволокой / В.А. Дубровский, В.В. Зезюля, И.Н. Зыбин // Сварка и диагностика. –2016 .– №6 – С. 40-45.

[2] Дубровский В.А. Экспериментальные исследования радиальных формоизменений в тонкостенных цилиндрических образцах после электроконтактной наварки проволокой / В.А. Дубровский, В.В. Зезюля, И.Н. Зыбин // Сварка и диагностика. –2015 .– №2 – С. 44-48.

Никитин Артем Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: artem220808@gmail.com

Г.В. Орлик, А.Г. Орлик, А.В. Дымов

ОСОБЕННОСТИ НАНЕСЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ

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

Износостойкие наплавленные слои применяют и в условиях комбинированного абразивного и эрозионного износа оборудования, такого как: спусковые лотки гравийных и песчаных карьеров, транспортирующие шнеки.

Исследования свойств покрытия производилось на примере шнека. Основным требованием к наплавленному слою на реборду являются: стойкость к гидроабразивному износу, твердость (55 HRC), ширина наплавленного слоя (25 мм) и толщина наплавленного слоя (4мм).

В базовой технологии применялась ручная дуговая наплавка электродами Т-590 на постоянном токе прямой полярности. При этом твердость наплавленного слоя на рекомендуемых параметрах режима сварки составляла 56 HRC. Следует отметить, что данные прочностные характеристики наплавленного слоя могут быть получены при наплавке второго слоя, а исходя из рекомендаций производителя данных электродов, необходимо наносить не более двух слоев, что ограничивает применение данных электродов при значительном износе реборды шнека. В процессе наплавки допустимы поперечные трещины.

С целью механизации процесса наплавки и повышения эксплуатационных свойств, рассмотрены возможные пути нанесения наплавленного слоя:

- Применение наплавочных материалов, обеспечивающих получение мартенситной структуры в состоянии после наплавки.
  Мартенсит как структура закалки является одним из самых твердых структурных образований в стали, но следует учитывать, что наплавленный слой при работе в условии ударно-динамических нагрузкой склонен к отрыву.
- Нанесение композиционных металлокерамических покрытий на основе железа и тугоплавких фаз.
  Для защиты от абразивного изнашивания и коррозионных повреждений применяют композиционные покрытия из класса так называемых «твердых металлов», состоящие из таких дефицитных компонентов, как карбиды тугоплавких металлов (в основном WC в количестве до 97 вес%) и связки на основе кобальтовых сплавов [1, 2]. Качество связи между карбидами и матрицей обеспечивается благодаря высокой растворимости и смачиваемости кобальтом частиц WC.
  На основании имеющихся литературных данных требуемые свойства наплавленного слоя могут быть получены при применении дуговой полуавтоматической наплавки порошковой проволокой DO*48. По данным производителя возможно получение твердости наплавленного слоя 65HRC. Это достигается за счет введение в состав наполнителя порошковой проволоки дефицитных материалов (50% WC).
- Технология in situ.

Для получения композиционных покрытий на железной основе необходимо выполнить следующие условие: для обеспечения высокой адгезии по межфазным границам матрица должна иметь минимальное несоответствие решеток с армирующим наполнителем. Следовательно, предпочтительны методы создания формирования композиционной структуры покрытий in situ, когда наполнитель формируется в процессе нанесения покрытия.

При дуговой полуавтоматической наплавке порошковой проволокой DO*390N, возможно получить требуемую твердость и износостойкость, соизмеримую со стойкостью твердых материалов, без использования дефицитных WC+Co. По данным производителя возможно получение твердости 71HRC. Это достигается за счет введения в состав порошковой проволоки интерметаллидных и карбидных фаз на основе Cr,Mo,Nb (40%). Наличие макротрещин в покрытии было отмечено также изготовителем проволоки при описании особенностей формирования покрытия. Вероятнее всего, они возникают в процессе релаксации сварочных напряжений. Полагают, что покрытие с микротрещинами сохраняет высокую износостойкость, но рекомендуется для эксплуатации только при умеренных ударных нагрузках [3].

С целью изучения механизма формирования наплавленного слоя, представлен общий вид наполнителя в порошковой проволоке, снятый на РЭМ FEI Quanta 200 3D и его химический состав. На внешнем виде наполнителя порошковой проволоки видно, что частицы наполнителя имеют форму кристаллов размером 100мкм и менее со скольными фасетками или конгломератов из мелких порошинок. Согласно МРСА частицы представляют собой оксикарбиды железа и ниобия или, возможно, феррониобий, высшие бориды, карбиды бора или включения чистого бора и ферровольфрам. Вероятно, наполнитель является смесью из ферросплавов после размола, карбидов и чистых элементов. Анализируя полученный химический состав наполнителя порошковой проволоки, следует отметить, что такие элементы как B, Si, C, P, Al могут способствовать аморфизации сплавов на основе железа, и содержание этих элементов в проволоке достаточно для обеспечения аморфной структуры при спиннинговании, но в наплавленном металле покрытия ее образование маловероятно [4, 5]. Высокая прочность наплавленного слоя возможна при полной реализации функций армирующих фаз, получение таких свойств обеспечивает нано структурирование матрицы, которое может быть достигнуто как за счет параметров режима наплавки, так и за счет состава порошковой проволоки.

Дуговую наплавку износостойкого покрытия производили на установке фирмы «Fronius», оборудованного источником питания TPS-2700 со встроенными четырьмя подающими роликами для порошковой проволоки. Для механизированного перемещения образца используется манипулятор, позволяющий регулировать скорость в диапазоне от 10 до 150 м/ч. Наплавка производилась на образцы из Ст3, толщиной 8мм. В качестве защитного газа использовались сварочные смеси 98%Ar + 2%CO_2 и 80%Ar + 20%CO_2. Определение оптимальных параметров режима наплавки порошковой проволокой DO*390N.

Наплавка производилась на том же оборудовании. Замер твердости производился на поверхности наплавленного валика. Наплавка осуществлялась в обычном режиме(№8-№11), с применением колебания электрода(№13-№15) и с принудительным водяным охлаждением образца (№12).

Зависимость твердости наплавленного слоя от величины погонной энергии, выполненного порошковыми проволоками DO*48 и DO*390N диаметром 1,6 мм. В качестве защитного газа использовали сварочные смеси 98%Ar + 2%CO_2 и 80%Ar + 20%CO_2.

Максимальная твердость для исследуемых образцов на проволоке DO*48 достигается на параметрах режима наплавки, соответствующих образцу№7, а для проволоки DO*390N образцу №8.

Макрошлиф наплавки и типичная микроструктура, для проволоки DO*390N. В зоне сплавления, наблюдается прорастание дендритов в наплавленный металл, а требуемые прочностные характеристики в верхней части наплавленного валика, вероятно, достигаются за счет интерметаллидных и карбидных фаз, на основе Cr, Nb, Mo.

Микроструктура наплавленного валика плавящимся электродом DF3B характеризуется наличием обильного количества WC. В сплавах на основе Fe высокая износостойкость определяется твердостью армирующих фаз, где содержание WC, более 50%. Такие покрытия не могут быть получены с матрицей на основе железа.

Вывод. Экспериментально установлена возможность получения наплавленного слоя с требуемыми прочностными характеристиками, без применения дефицитных компонентов WC+Co, выполненного механизированной дуговой наплавкой порошковой проволокой DO*390N.

Для обеспечения необходимого состава структуры покрытия необходимо провести исследования по определению величины погонной энергии и последующей модифицирующей обработки наплавленной поверхности.

Список литературы

[1] D.J. Branagan, «Formation of Nanoscale Composite Coating Via HVOF and Wire-Arc Spraiyng» ITSC 2005, Basel, Switzerland, Mai 2-4, 2005, p 539-544.

[2] Branagan D.J. «Dewitrified Nanocomposite Steel Powder», Powder Metallurgy Alloys and Particulate Materials for Industrial Application, St. Louis, MO, 2000, ed, By David E Alman and Joseph W. Newkirk, TMS, 111-122.

[3] Аморфные металлы. Судзуки К, Фудзимори Х, Хасимото К / Под. Ред Масумото Ц. Пер. с японского. М.: Металлургия. 1987. 328 с.

[4] Справочник по конструкционным материалам: Справочник / Б.Н. Арзамасов, Т.В. Соловьева, С.А. Герасимов и др.; Под ред Б.Н Арзамасова Т.В. Соловьевой. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 640 с.

[5] Castolin Eutectic, Flux-cored Wire EnDOtec DO*390, Test Report EN 10204-2.2, 1672/2007

Орлик Геннадий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: G.V.Orlik@yandex.ru

Орлик Антон Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Материаловедение и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: a.g.orlik@yandex.ru

Дымов Антон Викторович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: dimow.anton@yandex.ru

Н.Н. Максимов, Е.И. Грибовский

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ И ВЕЛИЧИНЫ СВАРОЧНОГО ТОКА ПРИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ АЛЮМИНИЯ

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

Алюминий и его сплавы обладают свойствами, выгодно отличающими их от других металлов. Это легкие материалы с плотностью 2,5-2,8 г/см^3, примерно в три раза меньшей, чем у железа, меди или цинка. Но при этом они обладают высокой прочностью, электропроводностью и коррозионно-стойкостью [1].

Увеличение объема использования алюминия и его сплавов в различных отраслях промышленности приводит к возрастанию потребности в технологиях, обеспечивающих качественные сварные соединения изделий из данных материалов.

Одним из распространенных способов получения неразъемных соединений алюминиевых деталей является точечная контактная сварка. Она обеспечивает высокую производительность, стабильное качество сварных соединений, низкую себестоимость, отвечает современным санитарно-гигиеническим требованиям.

Однако при этом способе возникают затруднения, обусловленные химическими, теплофизическими и механическими свойствами алюминия, а именно: химической активностью, высокой тепло- и электропроводностью, низкой прочностью и сопротивляемостью деформации при температурах 400-600°С, высоким коэффициентом теплового объемного расширения [3].

В данной работе рассматриваются пути решения проблемы повышения качества сварных соединений на примере кронштейна, выполненного из сплава АМц. Кронштейн (рис. 1) представляет собой конструкцию, состоящую из пластины толщиной 0,8 мм к которому приваривают 4 скобы из того же сплава. Для защиты от щелевой коррозии сварку ведут по слою эпоксидного клея.

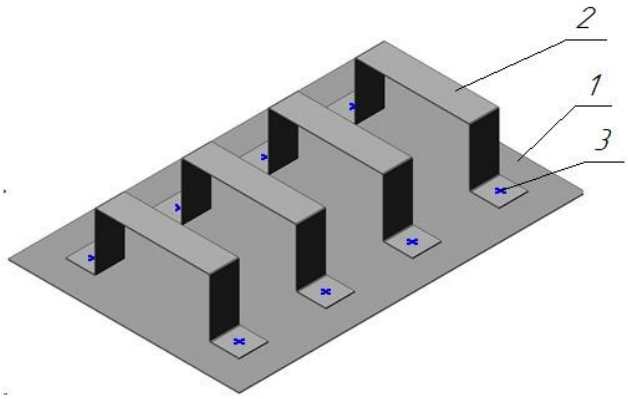


Рис. 1. Кронштейн; 1 – Пластина, 2 – Скоба, 3 – Сварочные точки

К данной конструкции предъявляются высокие требования к качеству соединений.

Основные методы решения проблемы получения качественных соединений при сварке кронштейна описаны в работе [2]. Представленные исследования посвящены решению проблемы шунтирования сварочного тока обусловленного конструктивными особенностями кронштейна (рис. 2) и относительно низким значением удельного электрического сопротивления (ρ_0) алюминиевого сплава АМц $\left(4{,}3 \div 6{,}0 \text{ Ом} \cdot \text{м} \cdot 10^8\right)$, высокой теплопроводностью $(\lambda = 101 \div 133 \text{ Вт/м} \cdot °\text{C})$ и сводятся к решению нескольких основных задач определяемых особенностями конструкции детали и свойствами алюминия.

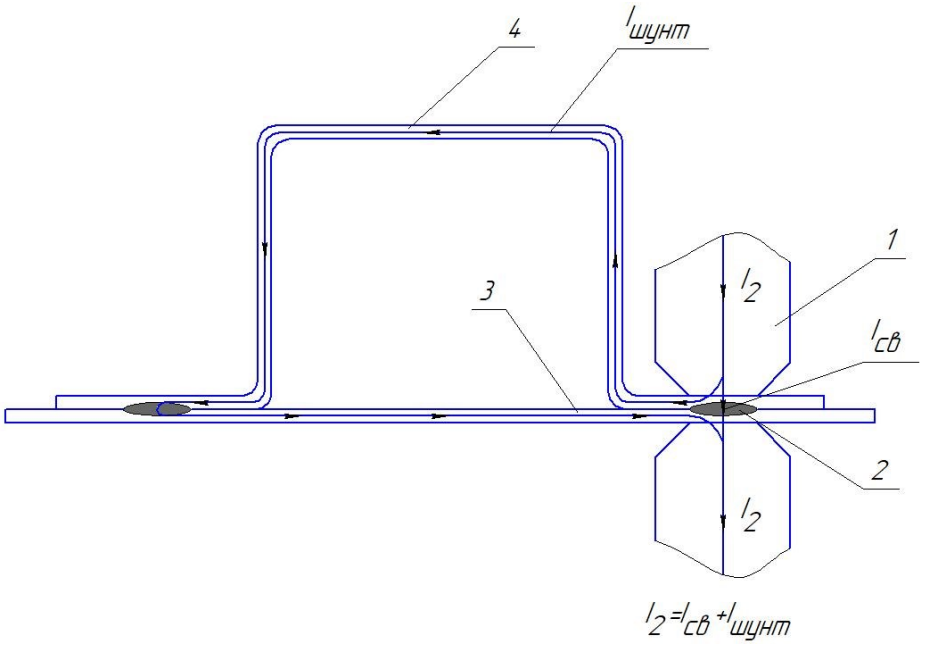


Рис. 2. Схема протекания тока при сварке кронштейна и измерения тока вторичного контура I_2 и $I_{шунт}$; 1 – электроды БрХ, 2 – литое ядро $643°C$; 3 – пластина; 5 – скоба

Высокие теплофизические свойства алюминия затрудняют тепловыделение в зоне соединения при точечной контактной сварке [2]. При достижении температуры плавления и формировании литого ядра в контакте деталь-деталь температура в контакте между электродом из БрХ и наружной поверхностью деталей из АМц достигает значений 420-480°С. При такой температуре предел прочности алюминиевых сплавов резко снижается и, как следствие, формируется отпечаток от электрода с деформацией более 15-20% от толщины деталей, вызванный не только сварочным давлением, но и тепловым расширением материала деталей под электродами при формировании литого ядра если привод подвижного электрода обладает значительной массой и инерционностью, препятствующей его перемещению вверх для компенсации дилатометрического эффекта.

Для уменьшения тепловложения в сварное соединение необходимо применить сварочный импульс оптимальной величины и формы. Для выявления оптимальных характеристик импульса сварочного тока был проведен расчет с использованием модели (рис. 3).

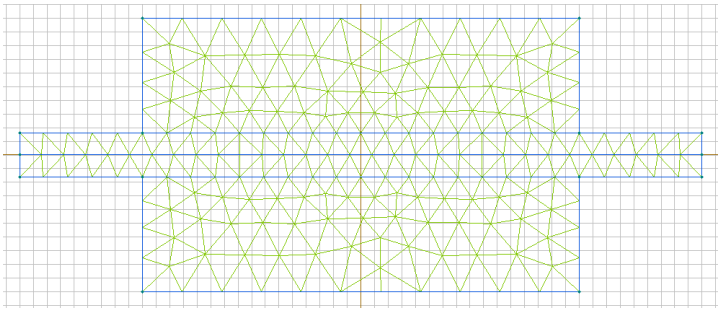


Рис 3. Расчетная схема

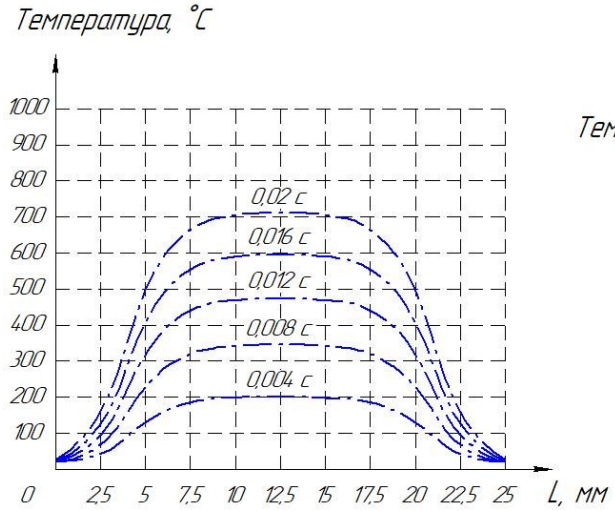


Рис. 4. Распределение температуры в контакте деталь-деталь при частоте переменного тока 50 Гц

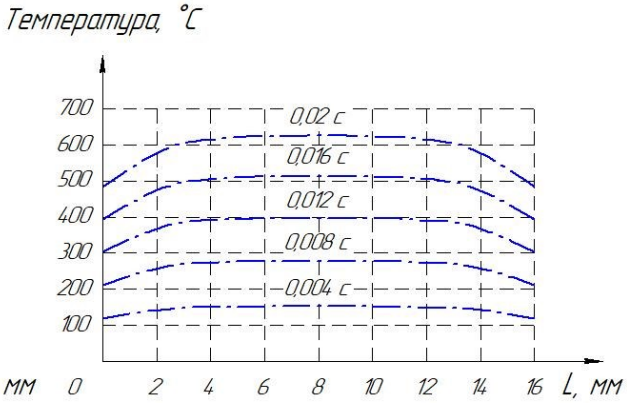


Рис. 5. Распределение температуры в контакте электрод-деталь при частоте переменного тока 50 Гц

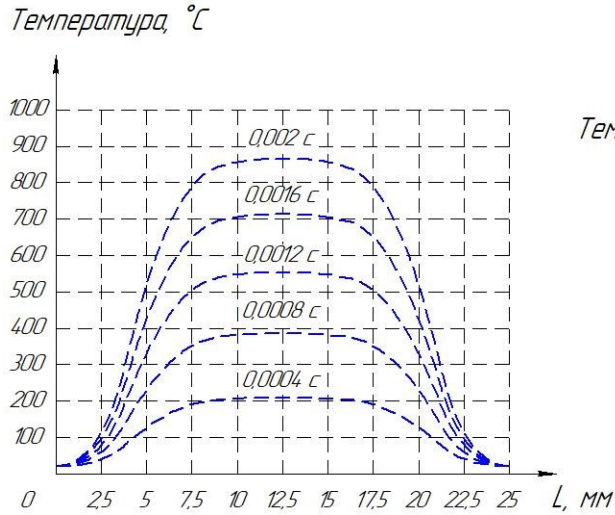


Рис. 6. Распределение температуры в контакте деталь-деталь при частоте переменного тока 500 Гц

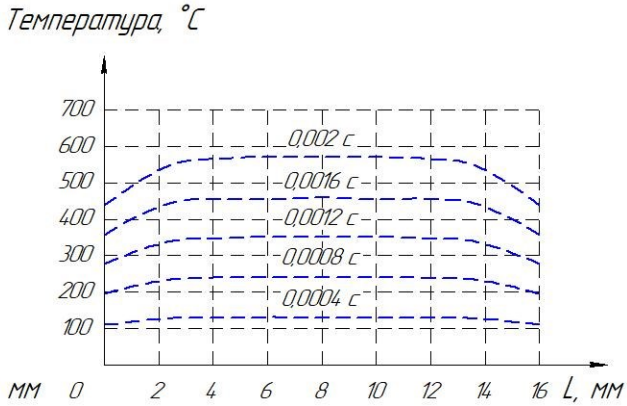


Рис. 7. Распределение температуры в контакте электрод-деталь при частоте переменного тока 500 Гц

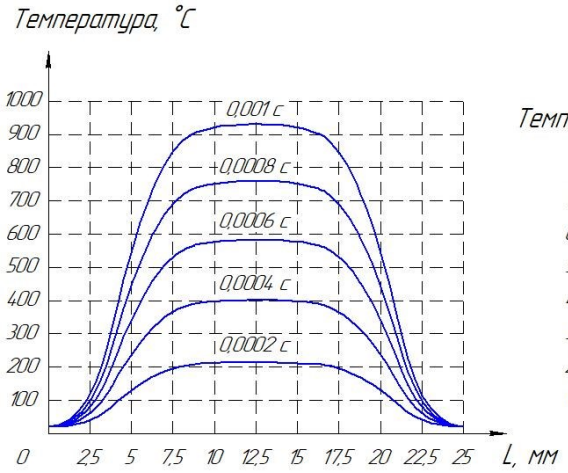


Рис. 8. Распределение температуры в контакте деталь-деталь при частоте переменного тока 1000 Гц

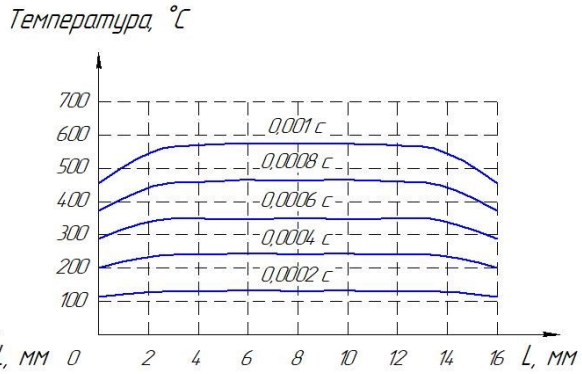


Рис. 9. Распределение температуры в контакте электрод-деталь при частоте переменного тока 1000 Гц

Из графиков на рис. 4, 6, 8 видно, что при частоте переменного тока 1000 Гц процесс сварки происходит быстрее, чем при частоте 500 и 50 Гц, что способствует снижению величины отпечатка электрода на поверхности свариваемых деталей.

Из графиков на рис. 5, 7, 9 видно, что при частоте переменного тока 1000 и 500 Гц нагрев поверхности электрода и детали меньше чем при частоте 50 Гц, что способствует уменьшению прилипания электрода к поверхности детали и улучшению качества сварного соединения.

Дальнейший технологический прием обеспечил меньший нагрев в контактах электрод-деталь и способствовал снижению степени деформации от электрода (глубины отпечатка) до $5 \div 7\%$ и удовлетворить конструкторско-технологические требования к изделию.

Список литературы

[1] Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки, М.: «Академия»,2009. – 224с.

[2] Максимов Н.Н., Сергеев В.Ю. Совершенствование технологического процесса контактной сварки деталей из алюминиевых сплавов, «Научно-практический электронный журнал Аллея Науки» №10 2017.

[3] Максимов Н.Н., Белобородов А.С., Осипова М.В., Кишкин А.Е. Опыт применения контактных машин переменного тока для сварки алюминиевых сплавов, НТК. – Калуга: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. -38с.

[4] Кочергин К.А. Сварка давлением, Л.: Машиностроение, 1972. – 155с.

Максимов Николай Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2kf@bmstu-kaluga.ru

Грибовский Егор Ильич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: eg.gribovskiy@gmail.com

А.В. Зырянов, Т.Г. Чернова

СВАРКА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

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

Полимерные технологии уже стали незаменимой составляющей современности. Полиэтилен – это один из самых широко распространенных полимеров на планете, заслуживший свою популярность благодаря долговечности, прочности и безопасности. К основным видам полиэтилена относят полиэтилен высокого давления (ПВД) и полиэтилен низкого давления (ПНД). ПНД – термопластичный полимер высокой плотности, выпускается путем полимеризации этилена в условиях невысокого давления. Возможность сварки и другой термической обработки позволяет использовать ПНД при монтаже полиэтиленовых газопроводов.

Целью сварки является получение неразъемных соединений равнопрочных основному материалу. К процессу сварки предъявляют следующие требования:

- процесс сварки должен быть технически не сложным и экономически целесообразным,
- технология сварки должна обеспечивать прочность соединения, сопоставляемую с прочностью самих труб,
- технологические операции должны быть легко осуществимы и в достаточной степени универсальны для надежного соединения труб с разными физико-механическими характеристиками,
- процесс получения соединения должен исправлять небольшие отклонения в соблюдении технологии (небольшие отклонения в обработке торцев труб, в параметрах режимов сварки).

Соединения полиэтиленовых труб между собой и с полиэтиленовыми соединительными деталями следует выполнять неразъемными, двумя методами сварки: сваркой встык нагретым инструментом или сваркой при помощи соединительных деталей с ЗН (закладными нагревателями) (ГОСТ Р 55473-2013).

Сварка встык нагретым инструментом.

Основные технологические параметры:

- температура нагревателя;
- продолжительность нагрева;
- усилие прижатия инструмента к детали (давление оплавления);
- давление осадки;
- продолжительность выдержки под давлением после сварки;
- скорость оплавления;
- скорость осадки;
- величину осадки.

Технология сварки встык нагретым инструментом включает следующие основные операции:

1. Подготовительный этап. Трубы отрезаются под прямым углом.

Рис. 1. Подготовительный этап

2. Концы труб, устанавливаемые в центратор, очищаются, трубы выставляются по оси и закрепляются в сварочном аппарате

Рис. 2. Установка в центратор

3. В аппарат устанавливается торцеватель, соприкасающиеся поверхности труб обрабатываются, торцеватель убирается и производится регулировка смещения кромок труб (норма - меньше 10% толщины стенки).

Рис. 3. Установка торцевателя

4. Устанавливается нагреватель, трубы сводятся и оплавляются, нагреватель удаляется.

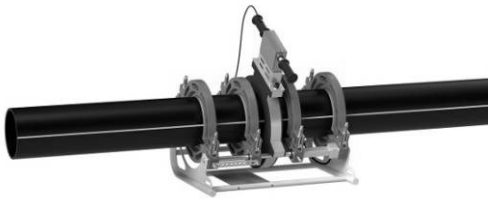


Рис. 4. Установка нагревателя

5. Торцы труб сводятся и выдерживаются под давлением до охлаждения.

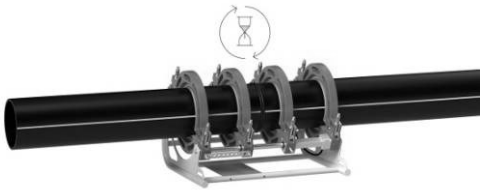


Рис. 5. Выдержка под давлением и охлаждение

6. Готовое соединение.

Рис. 6. Сварное соединение

Сварка при помощи соединительных деталей с ЗН (закладными нагревателями).

Муфта с закладным электронагревателем (муфта с ЗН): - полиэтиленовая деталь с раструбными концами с закладными электронагревателями, предназначенная для получения сварного соединения с полиэтиленовой трубой или деталью с трубным концом.

Основные технологические параметры сварки:

- напряжение, подаваемое на ЗН;
- время сварки, в течение которого происходит разогрев ЗН и расплавление полиэтилена;
- время охлаждения соединения, в течение которого происходит застывание расплава и образование сварного соединения;
- время охлаждения должно подразделяться на время до перемещения (до 70°С) и до нагружения газопровода давлением.

Технология сварки встык нагретым инструментом включает следующие основные операции:

1. Подготовительный этап. Трубы отрезаются под прямым углом. Параметры сварки вводятся в аппарат с помощью сканера штрих-кодов или вручную. Сварка происходит в автоматическом режиме

Рис. 7. Подготовительный этап

2. Трубы устанавливаются встык. Трубы фиксируются с помощью позиционера или подручных средств. Ставится метка.

Рис. 8. Фиксация с помощью позиционера

3. С помощью зачистного инструмента с трубы удаляется оксидный слой, соприкасающиеся поверхности трубы и соединительной детали (фитинга) обезжириваются.

Рис. 9. Зачистка труб

4. Метка возобновляется

Рис. 10. Восстановление метки

5. Трубы устанавливаются внутрь детали (фитинга) по меткам. Соединение фиксируется с помощью позиционера или подручных средств. Подключается сварочный аппарат.

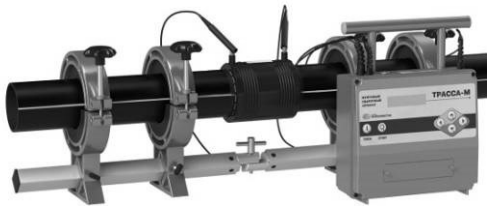


Рис. 11. Фиксация с помощью и подключение сварочного аппарата

6. Параметры сварки вводятся в аппарат с помощью сканера штрихкодов или вручную. Сварка происходит в автоматическом режиме.

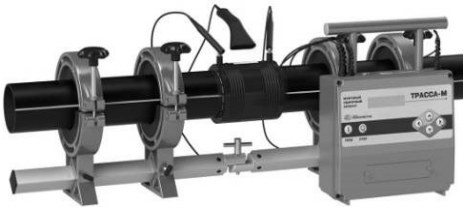


Рис. 12. Ввод параметров

7. Соединение выдерживается требуемое для охлаждения время.

Рис. 13. Охлаждение соединения

8. Готовое соединение.

Рис. 14. Сварное соединение

Заключение. Оба метода сварки очень похожи – они надежно соединяют пластиковые трубы и достаточно просты по технологии, хотя и подразумевают использование специального сварочного оборудования. По степени автоматизации процесса сварка с ЗН по сравнению со сваркой встык нагретым инструментом сводит к минимуму влияние на качество соединения уровня подготовки и квалификации рабочего персонала. Сварка с ЗН требует источник энергии значительно меньшей мощности, чем сварка встык, однако оборудование для сварки встык потребляет меньше энергии. Меньший вес и габариты сварочного аппарата для сварки ЗН по сравнению с аппаратом для стыковой сварки упрощают и ускоряют сварку в монтажных условиях. Площадь контакта свариваемых элементов при сварке с ЗН больше, чем при сварке встык, что значительно повышает надежность соединения. Сварка встык исключает декогезию (отрыв) сварного шва. Важным условием для обоих способов является неподвижность деталей во время выполнения сварки и остывания деталей. Важно учитывать диаметр труб и толщину их стенок, внешние условия и способ прокладки трубопровода.

Список литературы

[1] СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. - М.: Полимергаз, 2003.

[2] Сварка полиэтиленовых труб: причины дефектов, Газ России №1, 2012

[3] Ялышко Г.Ф. Сварка и монтаж трубопроводов из полимерных материалов: - М.: Стройиздат, 1990.

Зырянов Антон Валерьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: antoha.zirianov@yandex.ru

Чернова Татьяна Георгиевна – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: chernova-tg@yandex.ru

Г.В. Орлик, А.Г. Орлик, Д.А. Мишин

СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

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

Сварка трением перемешиванием (СТП) является относительно новым методом получения неразъемных соединений материалов (запатентована TheWeldingInstitutein UK (TWI), (Великобритания)) в 1991 году [1].

Выполненные в последние годы исследования показали, что СТП является эффективным способом получения высококачественных соединений конструкций различной геометрии, включая листовые материалы, пространственные профильные конструкции, трубы, восстановления изношенных деталей, модифицирования и улучшения структуры материалов, залечивания трещин и литейных дефектов. Обладая широкими технологическими возможностями по получению неразъемных соединений деталей узлов, она может быть использована в качестве альтернативы заклепочным соединениям, контактной, шовной электродуговой, электроннолучевой и лазерной сваркам, сваривания разнородных материалов. Таким образом, СТП становится универсальной технологией, имеющей большие перспективы в различных отраслях производства [2]. По мнению ведущих мировых экспертов, данный процесс является революционным в области сварки листовых материалов из легких сплавов (алюминиевых и магниевых). Эту технологию считают ключевой для создания авиационной техники пятого поколения. Толщины свариваемых СТП листовых материалов достигли для алюминиевых сплавов 110 мм, а для сталей и никелевых сплавов 45 мм.

СТП получает широкое применение во многих отраслях производства. В авиаракетостроении для сварки ответственных конструкций фюзеляжа, баков, панелей различного назначения. В судостроении СТП используется для сварки корпусов маломерных судов. Так же известен опыт использования СТП в сваривании трубопроводов.

Расширяющееся применение сварки трением обусловлено высоким качеством получаемых сварных соединений. Перемешивание металла в твердой фазе в условиях «теплой» деформации иногда создает микроструктуры более прочные, чем основной материал. Обычно прочность на растяжение и усталостная прочность сварного шва составляет 90% от характеристик основного материала на уровне, обеспечиваемом применением дорогостоящих электронно-лучевой, диффузионной и лазерной сварок. Сварка трением может выполняться в различных позициях (вертикальной, горизонтальной, под наклоном, снизу вверх и т.д.), поскольку силы гравитации в данном случае не играют роли. Обеспечивается возможность сваривания разнородных материалов, термопластичных пластиков и композиционных

материалов. При выполнении сварочных операций не требуется предварительной очистки рабочих поверхностей, отсутствует разбрызгивание расплавленного металла, нет необходимости в присадочных материалах. Немаловажен тот факт, что при наличии специальной оснастки и инструмента сварка трением может выполняться на обычном металлорежущем оборудовании универсальных фрезерных станках и станках с ЧПУ, а также с использованием робототехнических систем. При прочих равных условиях, по сравнению с традиционными процессами дуговой и контактной сварки, СТП имеет энергопотребление в 2...5 раз меньшее. Эти факторы обуславливают то, что применение СТП ежегодно возрастает на 15...20%.

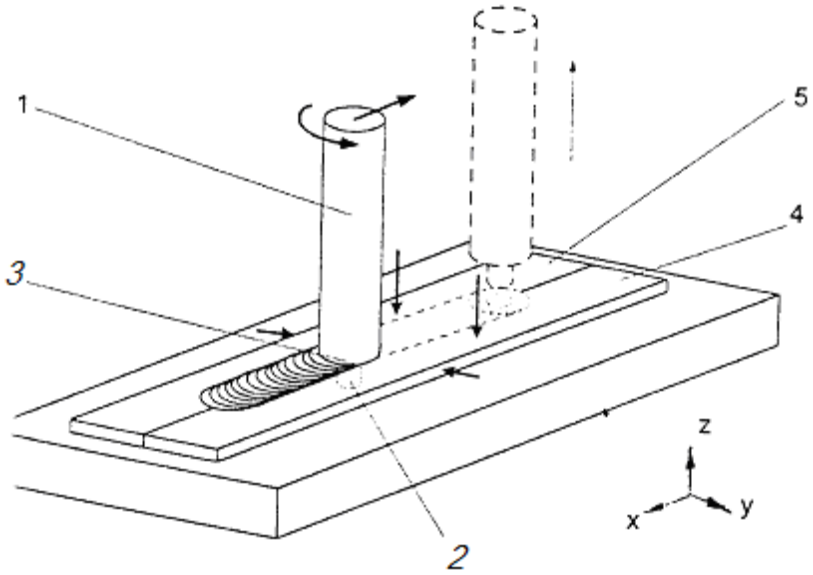


Рис. 1. Схема процесса СТП: 1 − корпус инструмента;
2 − рабочий стержень; 3 − опорный бурт (заплечник); 4, 5 – детали

Вращающийся инструмент, содержащий корпус 1, рабочий стержень 2 с различным рельефом поверхности и опорный бурт 3, медленно погружают в стык деталей 4 и 5 на глубину, примерно равную толщине соединяемых кромок; при этом опорный бурт (заплечник) опирается на поверхность кромок. Материал кромок за счет теплоты, выделяющейся при трении, нагревается до пластичного состояния, вследствие чего уменьшается усилие, действующее на инструмент. При поступательном перемещении вращающегося инструмента по стыку пластическое течение выносит материал в зону, освобождающуюся позади движущегося инструмента. При этом образуется шов.

Таким образом, **основными преимуществами сварки трением с перемешиванием** являются следующие:

- в зоне сварки лучше сохраняются свойства основного металла
- соединения имеют меньший уровень остаточных напряжений и деформаций;
- отсутствие присадочного материала и защитного газа;
- меньшие затраты денежных средств при больших объемах производства;

– возможность автоматизации процесса;
– отсутствие вредных испарений и ультрафиолетового излучения в процессе сварки;
– возможность получения соединений во всех пространственных положениях;
– не требуется придание специального профиля кромкам;
– возможность получения бездефектных швов на сплавах, при сварке плавлением которых сложно получить качественное соединение;
– не требуется удаление поверхностных оксидов перед сваркой, а также шлака и брызг после сварки;
– возможность увеличения скорости сварки без ухудшения свойств;
– благодаря относительной простоте оборудования достигается высокая эффективность использования энергии (для однопроходной сварки алюминиевого сплава толщиной 12,5 мм требуется около 3 кВт энергии).

С помощью СТП можно получить крупные панели, состоящие из многочисленных небольших профилей, которые практически невозможно или экономически нецелесообразно прессовать или отливать; легковесные прессованные панели могут быть соединены между собой без деформации для получения более крупных конструкций судов, железнодорожных платформ или тяжелых грузовиков; сборка стыков не требует очень точной подгонки кромок, так для листов толщиной 1,6 мм зазор может быть до 0,2мм, для плит толщиной 12,7 мм – до 1,25 мм.

К недостаткам способа сварки трением с перемешиванием можно отнести следующие:
– необходимость мощных подкладок, на которых должны надежно закреплять свариваемые заготовки;
– образование в конце шва отверстия, равного размеру штыря, которое необходимо заполнять с помощью других методов, таких как вварка трением специальных пробок;
– применение вводных и выводных планок для получения протяжных швов на всю длину заготовок;
– ограничения в применении способа в портативном варианте из-за необходимости закрепления заготовок на подкладке;
– более низкий уровень скорости по сравнению с механизированной дуговой сваркой для некоторых марок сталей;
– отсутствие стандартов на данный способ сварки и проинформированной рабочей силы.

Инструменты для СТП (рис.2) изготавливают из инструментальных сталей (сварка пластиков и легкоплавких металлов), быстрорежущих сталей (сварка алюминиевых и магниевых сплавов), металлокерамических твердых сплавов и минералокерамик, специальных композиционных материалов (сварка алюминиевых сплавов, сталей, сплавов на никелевой и титановой

основах). При выборе инструментального материала стремятся избежать намазывания оттесняемого металла на поверхности инструмента. Для этих целей могут быть использованы специальные покрытия. При СТП достигается высокое качество сварки. Деформация и перемешивание металла в твердой фазе иногда создают микроструктуры более прочные, чем основной материал. Обычно прочность на растяжение и усталостная прочность сварного шва составляет 90 % от этих характеристик для основного материала. Сварка может выполняться в различных позициях (вертикальной, горизонтальной, под наклоном, снизу вверх и т.д.), поскольку силы гравитации в данном случае не играют никакой роли. Перемещение инструмента или детали может производиться в различных направлениях и по программе. Режимы Основными параметрами режима СТП являются: - скорость вращения инструмента; - характер вращения инструмента (вращательный, возвратно-вращательный, направление и скорости вращения наружных и внутренних частей инструмента); - скорость сварки; - конструкция, форма и геометрические характеристики рабочей части инструмента; - угол наклона инструмента к поверхности детали.

Рис. 2. Инструмент для СТП

Рабочий инструмент (рис.3) представляет собой цилиндр, диаметром 12 мм и длиной 70 мм [3], на одном из торцов которого находится усеченный конус с резьбовой нарезкой. Материал РИ – конструкционная подшипниковая сталь ШХ 15, с твердостью 750 НВ. Усеченный конус носит название сердечник, а поверхность основания конуса – заплечник.

Вращающийся по часовой стрелке с угловой скоростью n=1400 об/мин рабочего инструмента заглублялся в образец до касания заплечника, после чего включалась продольная подача стола к термопаре с постоянной линейной скоростью V=35 мм/мин. Угол наклона РИ относительно оси шва в направлении сварки – 3°.

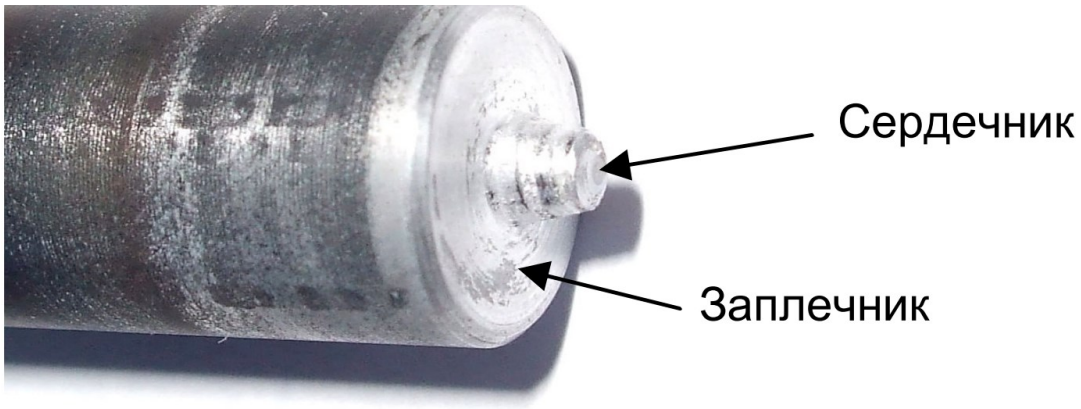


Рис.3. Рабочий инструмент для СТП

Основными видами неразрушающего контроля соединений, полученных сваркой трением с перемешиванием, являются визуальный (оптический) контроль и ультразвуковой контроль, в том числе автоматический.

Благодаря методу акустического контроля также можно получать полезную информацию о дефектах в шве, поскольку дефекты разных типов дают разные сигналы, которые по-разному отражаются на частотных диаграммах.

Список литературы

[1] W. M. Thomas et al., 1991. US Patent No. 5,460,31 7.

[2] Влияние параметров процесса сварки трением с перемешиванием на формирование швов соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,8…2,5 мм / Покляцкий А. Г., Ищенко А. Я., Подъельников С. В. // Автоматическая сварка. – 2008. – № 10. – С. 27-30.

[3] Володин В.Я. «Современные сварочные аппараты», Наука и техника, 2008г

Орлик Геннадий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: G.V.Orlik@yandex.ru

Орлик Антон Геннадьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Материаловедение и химия" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: a.g.orlik@yandex.ru

Мишин Дмитрий Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: pa1malchik69@yandex.ru

М.С. Козлова, Н.Н. Максимов

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОБРАТНОГО ВАЛИКА ШВА БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКЕ ПОД ФЛЮСОМ

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

При односторонней дуговой сварке плавящимся электродом принудительное формирование корня шва обеспечивается флюсовыми подушками, флюсо-медными и керамическими подкладками, гибкими флюсовыми лентами. На калужском предприятии ООО «НПП «35 механический завод» возникла необходимость сварить корпус напорной дренажной емкости, где проблема формирование обратного валика шва стоит очень остро.

При данном способе сварки на весу и с применением прокладок, формирующих обратную сторону шва, возникает необходимость создания шлаковых систем сварочных материалов, которые участвуют в формировании лицевого и обратного валиков одностороннего однопроходного или корневого валика шва [1]. Существует много различных исследований, которые показывают достижение хороших результатов в формировании обратного валика шва с использованием монолитных и порошковых проволок, а также флюсов [2,3].

Разработанная технология сварки стыковых, угловых и тавровых соединений в различных пространственных положениях нашла применение в отечественной промышленности. Но появление за последние годы многочисленных разработок в области источников питания, оборудования, сварочных материалов требует очевидной доработки в моделировании процесса взаимодействия «верхних и нижних» шлаковых систем [4].

Создание универсальных стекловолоконных подкладок определило некоторые требования к формирующим слоям по физическим свойствам: плотности и теплопроводности. До этого были получены требования, гарантирующие качество обратного валика шва такие, как вязкость, поверхностное натяжение, температура плавления и затвердевания.

Участие расплавленных шлаков флюсов, шихты порошковых проволок, покрытий электродов в процессе формирования обратного валика предполагает выявить определенные особенности взаимодействия разнородных шлаковых систем с целью корректировки химического состава «верхних» сварочных материалов и создания новых и универсальных, учитывающих особенности не только формирования шва, но и некоторые металлургические и химические требования к совместимости шлаковых систем [1].

Анализ литературных данных показал, что для нашего случая наиболее предпочтительным является способ вормирования обратного валика шва с

применением физико-химических свойствх сварочных флюсов. Физико-химические свойства флюсов должны существенно отличаться от свойств «верхних» флюсов, т.е. поверхностное натяжение шлаков, формирующих обратных валик, должно быть значительно выше, чем у сварочных и наплавочных шлаков, а межфазное натяжение металл шлак и поверхностное натяжение металла – как можно ниже.

Также необходимо учитывать процессы взаимодействия расплавленного металла и формирующего шлака, предусматривать меры по микролегированию, рафинированию и раскислению металла корневых валиков с целью влияния на поверхностные свойства переходной зоны металл-шлак и самого металла. Это может оказывать решающее влияние на качество корневого валика и механические характеристики сварного шва [1].

При соблюдении этих требований, в идеальном случае, флюс может формировать обратных валик без специальных устройств в определенном диапазоне режимов при сварке на весу в условиях автоматической и полуавтоматической сварки.

Данная технология была разработана и предложена для решения проблемы формирования обратного валика шва при автоматической сварке под слоем флюса корпуса емкости.

Список литературы

[1] *Доронин Ю.В., Волобуев Ю.В.* Особенности физико-химических свойств шлаковых систем сварочных материалов, формирующих обратную сторону шва при односторонней дуговой сварке // Сварка и диагностика. – 2008. – №2. – С. 17–23.

[2] *Тераи К., Арикава М.* Современное состояние односторонней автоматической сварки. СПб.: Судостроение, 1974. – 136 с.

[3] *Доронин Ю.В., Ханапетов М.В.* Односторонняя сварка в строительстве. М.: Машиностроение, 1990. – 150 с.

[4] *Веселков В.Д.* Односторонняя сварка стыковых соединений стальных корпусных конструкций. СПб.: Судостроение, 1984. – 200 с.

Козлова Мария Сергеевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mariya.kozlova2013@yandex.ru

Максимов Николай Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Сварка и диагностика" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: m2kf@bmstu-kaluga.ru

СЕКЦИЯ 3.

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА

Е.А. Кудряшов, Д.В. Андреев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МДП-СТРУКТУР ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

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

В настоящее время структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) являются основой большинства цифровых интегральных микросхем [1]. Одним из основных электрофизических способов контроля параметров МДП-структур является анализ их вольт-фарадных характеристик (ВФХ). Данный метод позволяет получить обширную информацию о зарядовых параметрах.

Данная работа посвящена разработке автоматизированной установки для измерения вольт-фарадных характеристик МДП-структур с использованием шасси National Instruments (NI) cDAQ-9172 и модулей NI-9263, NI-9205, управление которыми осуществляется программным обеспечением, разработанным в NI LabVIEW.

Сущность метода измерения высокочастотных ВФХ характеристик заключается в том, что для измерения емкости МДП-структуры используется высокочастотный переменный сигнал с периодом, существенно меньшим, чем время жизни неосновных носителей и время перезарядки поверхностных состояний. Кроме малого по амплитуде измерительного напряжения в этом методе к МДП-структуре прикладывается линейно изменяющееся постоянное напряжение, изменяющее ее емкость. [2]. На рисунке 1 приведена схема установки, используемой для исследования.

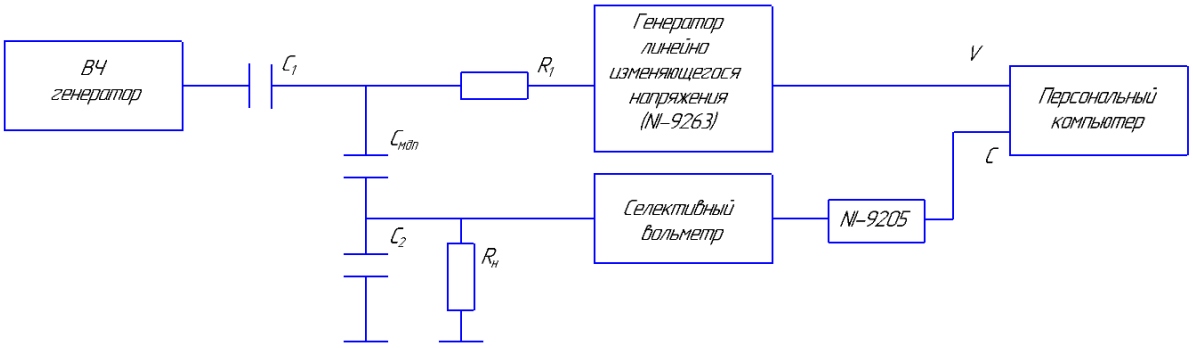


Рис. 1. Схема установки измерения вольт-фарадных характеристик высокочастотным методом

В приведенной установке в качестве высокочастотного генератора используется генератор сигналов специальной формы Г3-112, позволяющий генерировать синусоидальный сигнал с частотой 1 МГц. Линейно изменяющееся напряжение генерируется посредством использования модуля NI-

9263, управление которым осуществляется при помощи программы, написанной в среде разработки NI LabVIEW. Данный модуль имеет максимальную частоту обновления сигналов 100 килосемплов в секунду, что является достаточным для измерения ВФХ.

В таблице 1 приведены основные параметры модуля.

Таблица 1. Основные параметры модуля NI -9263

Максимальное подаваемое напряжение	10 В
Количество аналоговых выходов	4
Разрешение	16 бит
Частота обновления сигналов	$100 \cdot 10^3$ семпл/с

Измерение падения напряжения на нагрузочном резисторе, пропорционального емкости, исследуемой МДП-структуры осуществляется селективным вольтметров В6-10.

В таблице 2 приведены характеристики данного вольтметра.

Таблица 2. Основные характеристика селективного вольтметра В6-10

Диапазон измеряемых напряжений	1 мкВ-10 мВ (в полосе пропускания 1 кГц); 3 мкВ-10 мВ (в полосе пропускания 9 кГц); 10 мВ-1 В (с делителем напряжения 1:100).
Диапазон частот	0,1-30 МГц
Входное сопротивление, емкость	2 МОм, 10 пФ

Считывание показаний с вольтметра реализуется посредством модуля входного напряжения NI-9205. Полученные данные отправляются на персональный компьютер (ПК), где в последствии обрабатываются для получения параметров МДП-структуры.

Для обеспечения соединения исследуемой МДП-структуры и непосредственно измерительных блоков используется специальное контактирующее устройство, обеспечивающее минимальный уровень шумов и наводок.

На рисунках 2 и 3 представлена блок-диаграмма виртуального прибора LabVIEW для измерения вольт-фарадных характеристик МДП-структуры и его управляющий интерфейс (лицевая панель), соответственно. Основная логика программы состоит генерации линейно изменяющегося напряжения с заданной частотой дискретизации, с одновременным считыванием показаний падения напряжения [3].

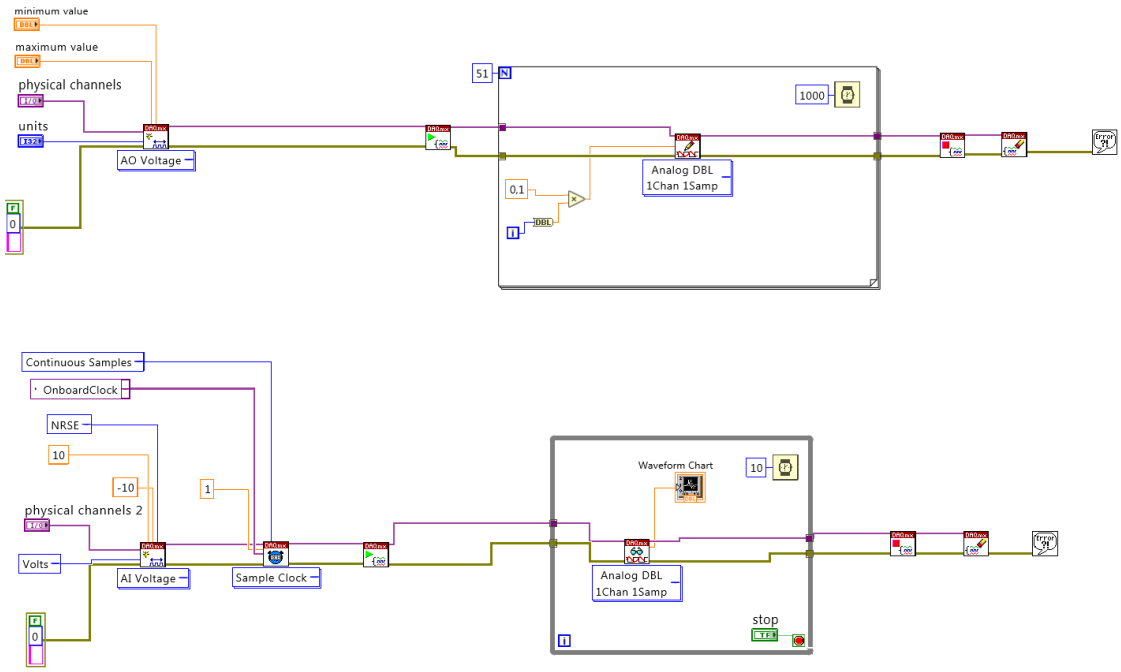


Рис. 2. Блок-диаграмма виртуального прибора в NI LabVIEW для измерения ВФХ МДП-структур и приборов на их основе

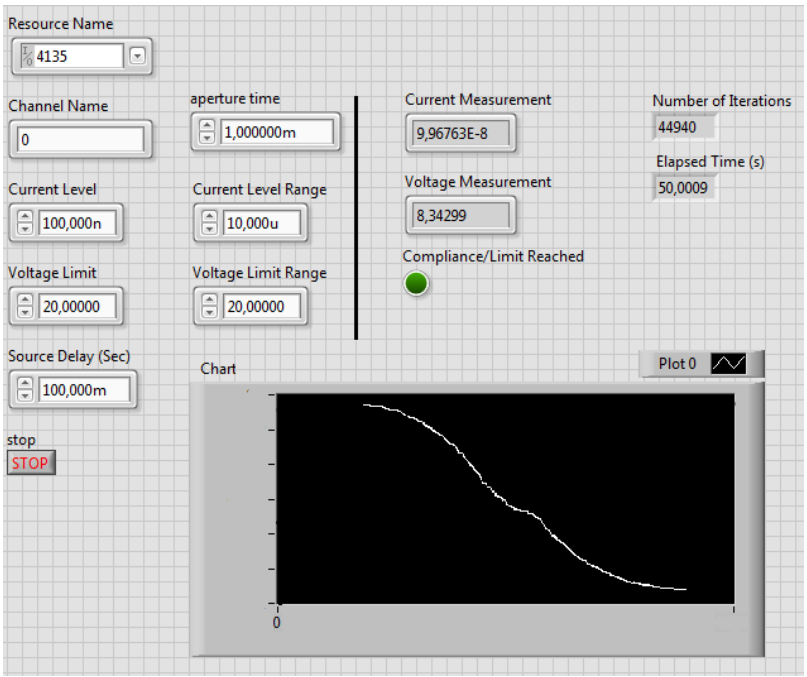


Рис. 3. Управляющий интерфейс (лицевая панель) виртуального прибора в NI LabVIEW

Вышеизложенный подход позволяет значительно упросить получение и анализ вольт-фарадных характеристик путем автоматизации процесса вычисления посредством ПК, по сравнению со стандартной схемой установки, использующей самописец.

Таким образом, на базе шасси NI cDAQ-9172, модулей NI-9263, NI-9205, селективного вольтметра В6-10 и генератора сигналов Г3-112 разработана автоматизированная установка измерения вольт-фарадных характеристик МДП-структур, позволяющая автоматизировать получение основных зарядовых параметров исследуемой структуры на основе полученных данных. Представлены способы реализации управляющей программы в NI LabVIEW.

Список литературы

[1] Sze S.M, Lee M.K. Semiconductor devices. Physics and technology. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd. Third edition. 2013. 582 p.

[2] Гуртов, В. А. Г957 Твердотельная электроника: Учеб. пособие / В. А. Гуртов; ПетрГУ. – Петрозаводск, 2008. – 512 с.

[3] Nasser K. Digital Signal Processing System-Level Design Using LabVIEW. 2011. 305p. ISBN: 0-7506-7914-X

Кудряшов Евгений Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: jeksonklg@gmail.com

Андреев Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

В.Е. Драч, Н.С. Богомолов

АДАПТЕР ДЛЯ МИКРОСХЕМЫ 525ПС3

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

Современное развитие микроэлектроники обусловлено быстрыми темпами роста. Такое развитие технологий требует от разработчиков быть готовым к разработке и усовершенствованию новых технологий в области электроники. При разработке новых технологий, устройства становятся все сложнее, а, следовательно, становятся все жестче требования к тестирующему оборудованию. Оно должно осуществлять тестирование, настройку и полноценный контроль будущих устройств.

Тестирование микросхем производиться с помощью различных устройств и технологий, в зависимости от сложности и типа микросхем. Тестирование позволяет провести разбраковку микросхем, а именно: провести функциональный контроль микросхем, определить развивающиеся дефекты при измерении микросхем на пластине, измерить электрические параметры микросхем в составе пластин и корпусном исполнении.

Цель данного исследования – разработать устройство, позволяющее измерить необходимые параметры используемой микросхемы, для дальнейшего увеличения выхода серийной партии годных микросхем постоянной памяти при программировании. Для достижения данной цели воспользуемся устройством – адаптер.

Устройство относится к вычислительной технике и может быть использовано в программаторах постоянных запоминающих устройств. Устройство содержит адресный счетчик, счетчик циклов, блок управления, блок элементов И, ИЛИ, НЕ. Увеличение выхода годных микросхем серии 525ПС3 достигается путем измерения электрических параметров, согласно ТУ, с помощью адаптера.

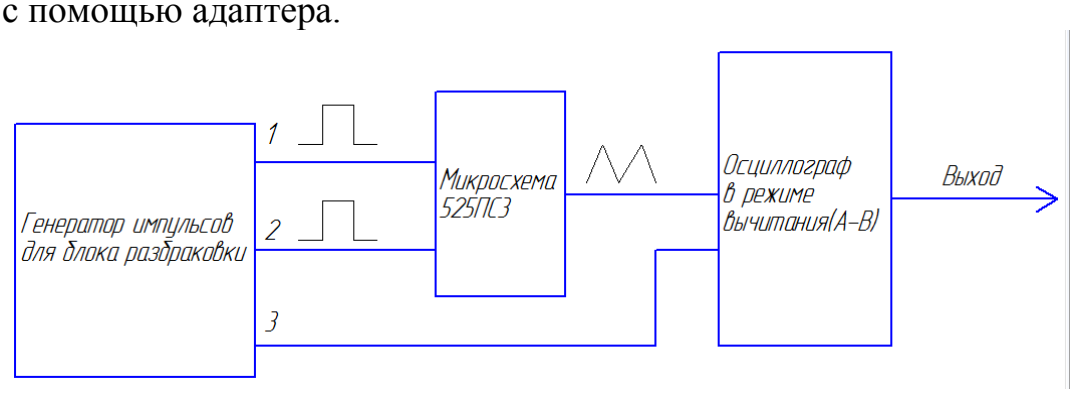


Рис.1 Структурная схема Адаптера для микросхемы 525ПС3

Описание работы адаптера: на микросхему 525ПС3, проходящие проверку, на вход подается два прямоугольных сигнала с канала 1 и канала 2. Двулучевой осциллограф подключается к выходу микросхемы одним каналом и другим к каналу 3 генератора импульсов. Осциллограф переводится в режим вычитания А-В и выставляются горизонтальные курсоры относительно результирующего сигнала на ± погрешность. При корректной работе схемы, результирующий сигнал

не меняется и остается в нулевом положении. При повышении горизонтальных курсоров, ошибка вычисления слишком велика и микросхема бракуется.

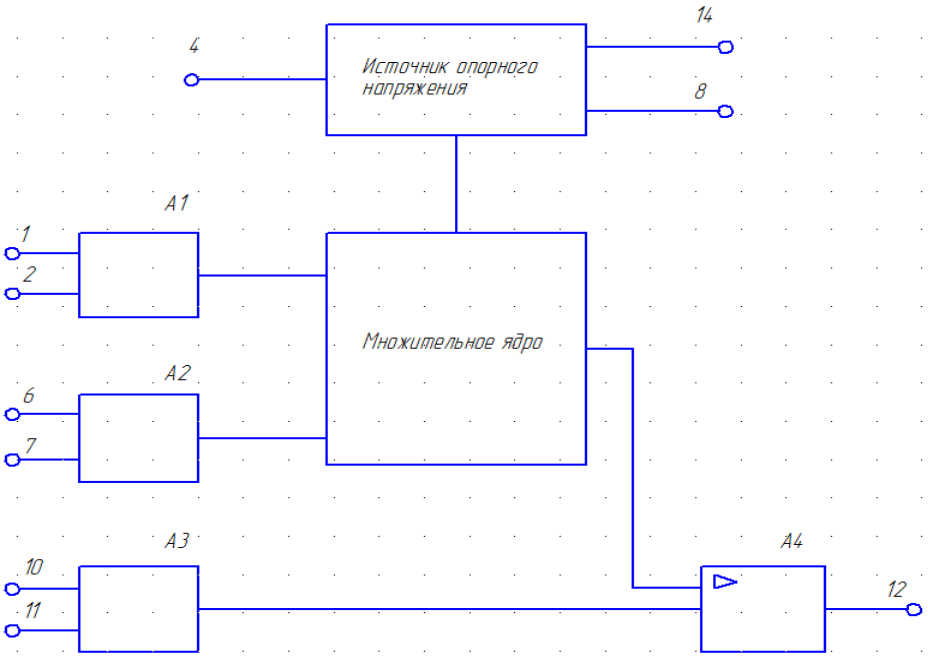


Рис. 2 Функциональная схема 525ПС3
A1,A2,A3- входные преобразователи “напряжение-ток” ;A4 - выходной усилитель;1 - вход X1, 2 – вход X2, 6 – вход Y1, 7 – вход Y2, 8 – напряжение питания $-U_{cc}$, 10 – вход Z1, 11 – вход Z2, 12 – выход U_3, 14- напряжение питания $+U_{cc}$.

В результате проведения исследований, можно сделать вывод, что адаптер позволяет выполнить нестандартные измерения и позволяет увеличить выход годных микросхем в соответствии с предъявленными требованиями к разработчику. Преимуществом данного устройства является то, что пользователь может сам выбрать необходимые параметры для измерения каждой микросхемы, необходимые для выявления годных/негодных микросхем. Также является преимуществом, уменьшения времени затраченного на выявления брака в микросхеме, при помощи измерения доступных электрических параметров микросхемы.

Список литературы

[1] Афонский А., Дьяконов В. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. 2017. С. 31-68

[2] Модульные измерительные системы для автоматизированных испытаний // Журнал контрольно-измерительные приборы и системы. 2010. №4 с. 12-18.

[3] Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений // Измерительные приборы. 1990. Том 1. с. 48

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Богомолов Никита Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: tolmiice1@yandex.ru

Е.А. Лутовин, Д.В. Андреев

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ РЕЗИСТИВНОЙ ПЛЕНКИ НА ДРЕЙФ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ И МЕТОДЫ ЕЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ В ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

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

В связи с развитием современной электроники, требования к параметрам микросхем стремительно повышаются. Одним из основных параметров, является напряжение смещения нуля (далее U_{i0}). На основании вышесказанного принято решение о разработке улучшенного аналога прецизионного операционного усилителя 140УД17. Основные параметры разрабатываемого операционного усилителя представлены в таблице 1.

При разработке микросхемы было принято решение о использовании в первом каскаде резисторов изготовленных по тонкопленочной технологии с помощью метода магнетронного распыления резистивной мишени. Преимуществом данной технологии является возможность с высоким разрешением получать такие параметры, как ТКС, ρs, Rk. Немаловажную роль в получении пленки несет режим отжига, в нашем случае опытным путем был подобран следующий режим: вжигание в среде N_2, при T=475°C, в течении 20 минут после термокомпрессии. Также при использовании пленочной технологии, с помощью установки лазерного реза, с высоким разрешением можно получать необходимое сопротивление самого резистора, что в свою очередь позволят подгонять до необходимой величины U_{i0}.

Таблица 1. Основные параметры разрабатываемой микросхемы.

Параметры	Норма	
Максимальное выходное напряжение, В	Не менее	Не более
	± 12	-
Напряжение питания, В	Не менее	Не более
	±3	±18
Напряжение смещения нуля, мкВ	Не менее	Не более
	-	± 25
Входной ток, нА	Не менее	Не более
	-	4,0
Разность входных токов, нА	Не менее	Не более
	-	3,8
Ток потребления, мА	Не менее	Не более
	-	2,0
Коэффициент усиления напряжения $x10^3$	Не менее	Не более
	1000	-
Коэффициент ослабления синфазных входных напряжений, дБ	Не менее	Не более
	106	-
Коэффициент влияния нестабильности источников питания на напряжение смещения нуля	Не менее	Не более
	94	-
Частота единичного усиления, МГц	Не менее	Не более
	0,4	-
Скорость нарастания, В/мкс	Не менее	Не более
	0,2	-

В ходе дальнейшей разработки микросхемы встал вопрос о возможной деградации полученных пленочных резисторов, которая может привести к температурному дрейфу U_{i0} со временем наработки. Возникновение температурного дрейфа U_{i0} со временем наработки, является критичным для устройств, в которых используется операционный усилитель, т.к. этот параметр может привести к отказу как комплектующих изделий, так и к выходу из строя устройства в целом.

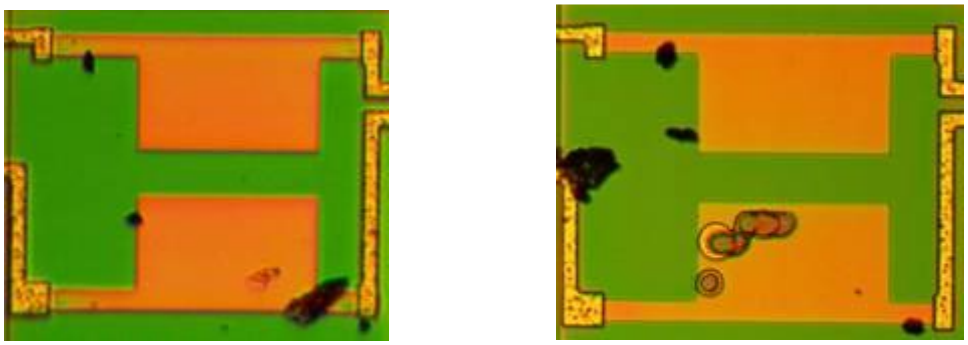
При исследовании была взята выборка из 5 микросхем на которой были проведены следующие испытания: измерения эл.параметров ИС в н.у.,

при Т=-60°С, при Т=125°С, до электротермотренировки и после ее проведения в течении 240ч. Расчет температурного дрейфа показал, что из выборки не сдрейфовали только 2 микросхемы. В таблице 2 приведены значения параметра U_{i0} сдрейфовавшей и стабильной микросхем.

Таблица 2. Сравнение значений дрейфа до ЭТТ и после ЭТТ, где ИС №1-сдрейфовавшая микросхема; ИС №2-стабильная микросхема

№ ИС	Дрейф до ЭТТ			Дрейф после ЭТТ		
	От 25 до -60	От 25 до 125	От -60 до 125	От 25 до -60	От 25 до 125	От -60 до 125
1	-0.177764706	0.1289	0.069675676	-0.290588235	0.06	0.165945946
2	-0.201058824	0.1199	0.964810811	-0.213411765	0.097	0.115621622

При дальнейшем определении причин возникновения температурного дрейфа U_{i0} исследуемые микросхемы были вскрыты под микроскопом и визуально осмотрены поверхности кристаллов под микроскопом. В ходе осмотра было установлено, что в микросхемах, подвергшихся дрейфу имеет место быть подгонка пленочных резисторов в первом каскаде. Фрагменты топологии с применением лазерного реза и без него приведены на рисунке 1.



а) б)

Рисунок 1. Фрагмент топологии пленочных резисторов:
а) без лазерной подгонки; б) с лазерной подгонкой

В ходе дальнейшего исследования установлено, что быстрый нагрев (и последующее охлаждение) пленки и разрушение материала, находящегося

непосредственно у края выжженного лазером отверстия и не подвергавшегося стабилизации или пассивации, приводят к нестабильности во времени (послеподгоночный дрейф). В результате сопротивление точно подогнанного резистора может выйти за пределы допуска, меняется также и температурный коэффициент сопротивления. Применение типовых видов реза для минимизации повреждений и эффекта послеподгоночного дрейфа в нашем случае не принесли результата.

Решением проблемы деградации резистивной пленки по периметру выжженного лазером отверстия, приводящей к возникновению температурного дрейфа U_{i0} со временем наработки, стал подбор режима лазерной установки позволяющего при подгонке резистора не сжигать защитное покрытие кристалла по периметру отверстия выжигаемого лазером, а всего лишь оплавлять его, что позволило бы защитить периметр отверстия от внешних воздействий и деградации и как следствие избавиться от температурного дрейфа U_{i0}.

Список литературы

[1] Deepu Roy, Characterization of electrical contacts for phase change memory cells, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2011. URL: https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6034886 (дата обращения 19.02.2018).

[2] Кузин С.М., Павасюк В.И., Мокеров В.Г., Исаев В.В. Обзоры по электронной технике, Сер.8 Управление качеством, Метрология, Испытания. Электрический тестовый контроль на этапах создания интегральных микросхем. *Центральный научно-исследовательский институт «ЭЛЕКТРОНИКА»,* 1989, №8, с.1-33.

[3] Сурменко Л.А., Соколова Т.Н., Конюшин А.В., Самаркин Ю.Д., Калмыков А.В. Обзоры по электронной технике, Сер.7, Технология, организация производства и оборудование. Лазерная функциональная подгонка элементов и узлов изделий электронной техники. *Центральный научно-исследовательский институт «ЭЛЕКТРОНИКА»,* 1987, №13, с.1-63.

Лутовин Евгений Анатольевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: lutovine@gmail.com

Андреев Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

С.С. Крисанов, В.Е. Драч

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЧИН БРАКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПО ТЕСТОВЫМ ТАБЛИЦАМ

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

Интегральные микросхемы (ИМС) являются незаменимой частью любого современного электронного устройства, выполняющего различные задачи: от включения и выключения светодиодов [1] до сложных математических расчетов [2]. Такой большой функционал стал возможным благодаря совершенствованию производственных технологий [2] и непрекращающемуся приложению усилий к повышению качества выпускаемой продукции. Одним из критериев качества является снижение количества микросхем, отбракованных по результатам проведения испытаний. Поэтому актуальной задачей является анализ причин отказов для дальнейшего принятия мер по их устранению. Большинство предприятий по производству ИМС для проведения испытания составляют тестовые таблицы, в которых указаны условия и режимы, а также контролируемые параметры, по значениям которых определяют качество функционирования. Количество таких тестов может исчисляться сотнями, что ведет к большой трудоемкости при анализе причин отказов и, следовательно, повышению себестоимости в целом.

В помощь изготовителям интегральных микросхем можно предложить использовать программное обеспечение, работающее с результатами измерений ИМС, на выходе которого будут приведены самые вероятные причины брака. С его помощью может быть повышена эффективность и быстрота анализа отказов, и, следовательно, снизится трудоемкость изготовления изделий. Такой подход является простым в осуществлении за счет использования упрощенных языков программирования, большинство из которых являются абсолютно бесплатными, а также не требует наличия дополнительного дорогостоящего оборудования, т.к. все можно реализовать на одном рабочем месте с использованием персонального компьютере под любой операционной системой.

Основным элементом анализа является тестовая таблица, по которой определяются контролируемые значения параметров. Полученные результаты сравниваются с нормой и сводятся в перечень, по которому судят о качестве произведенной микросхемы. Для проведения анализа причин брака необходимо каждому тесту из таблицы присвоить одно или несколько значений, которые конкретно указывают на причину возникновения брака и охватывают максимальное число источников появления. При отклонении от норм по каждому из этих тестов производится сопоставление причин и выявляются самые вероятные. Достоверность результатов зависит от ряда факторов:

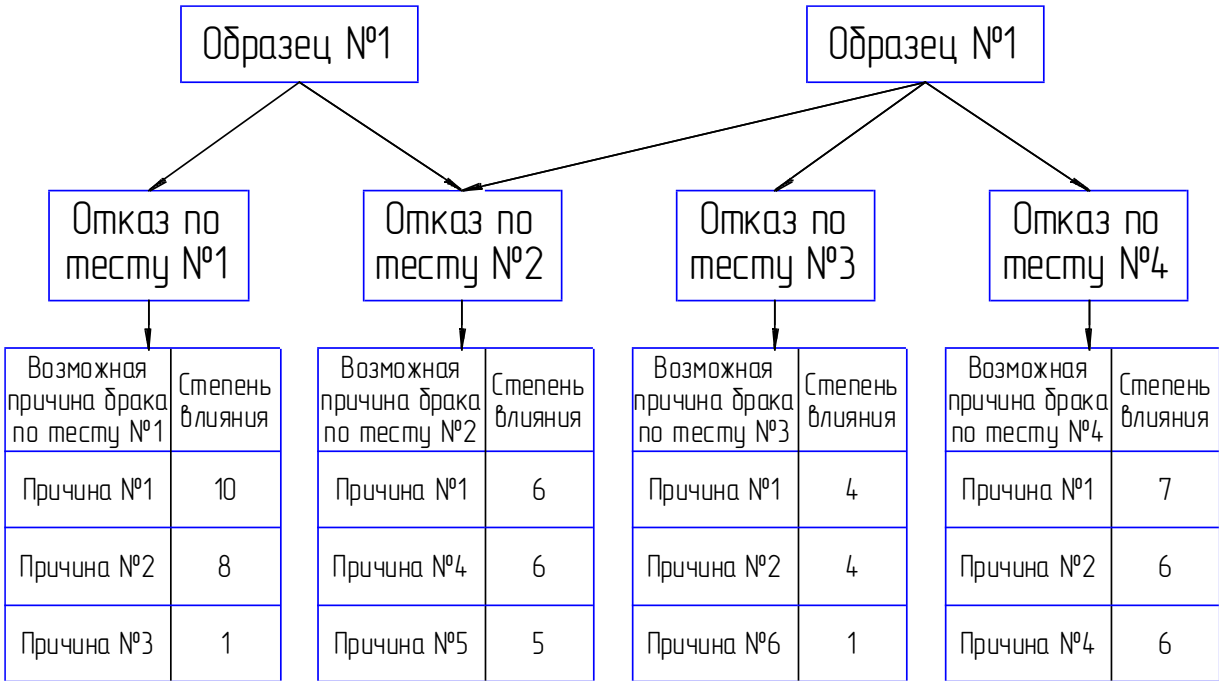
– сложность конструкции и технологического цикла производимой ИМС
– количества проводимых тестовых испытаний
– количество микросхем в партии
– точность определения причин брака по каждому из тестов

Объединяя результаты по каждой бракованной ИМС можно составить статистику причин брака всей партии.

Стоит отметить, что при низком числе отказов (менее 5%) или малом количестве тестов, по критериям которых производилась отбраковка, такое тестирование может быть малоэффективным вследствие влияния случайных факторов (например: внутрикристаллические дефекты структуры, дефекты при легировании, неоднородность температурного режима в диффузионных камерах и т.д.). Кроме того, подобным ошибкам есть место при массовых отказах, но при соблюдении критериев достоверности и достаточно высоком числе тестов все случайные показатели будут маловероятными.

Для достижения максимальной эффективности необходимо каждому из критериев причин брака присвоить числовое значение, соответствующее степени влияния данного критерия на конкретный тест из тестовой таблицы. Соответственно, в различных тестах могут использоваться одинаковые причины отказов, но иметь отличающуюся степень влияния на результат тестирования. Это приведет к уменьшению воздействия случайных отказов и более легкому выявлению систематических. Еще одной эффективной тактикой при анализе сложных, с точки зрения схемотехники, структур, характеризующихся возможностью разделения на отдельные функциональные блоки, является совместное применение вышеописанной методики и жестко-последовательной программы поиска места отказов по функциональной схеме. Такой подход требует наличия дополнительных тестов над ИМС, которые не прошли отбраковочные испытания, что при высоком проценте брака в реалиях массового производства требует больших временных затрат. Но при малосерийном или единичном производстве, а также на этапах проверки опытных образцов и макетов, данный метод позволит определять причину место отказа вплоть до блока или элемента.

Рассмотрим ситуацию, приведенную на рис. 1, когда два образца микросхем проходят проверку по тестовой таблице, в результате чего у микросхемы обнаруживают брак по нескольким тестам. Каждому из тестов присваивается возможная причина отказа, а каждой причине – степень влияния.



Возможная причина брака по тесту №1	Степень влияния
Причина №1	10
Причина №2	8
Причина №3	1

Возможная причина брака по тесту №2	Степень влияния
Причина №1	6
Причина №4	6
Причина №5	5

Возможная причина брака по тесту №3	Степень влияния
Причина №1	4
Причина №2	4
Причина №6	1

Возможная причина брака по тесту №4	Степень влияния
Причина №1	7
Причина №2	6
Причина №4	6

Рис. 1. Отбраковка ИМС по тестовой таблице

Исходя из результатов тестирования по рис. 1 можно составить гистограмму (рис. 2). Ось абсцисс состоит из номеров тестов, а ось ординат – суммы степеней влияния одинаковых причин брака по всем тестам.

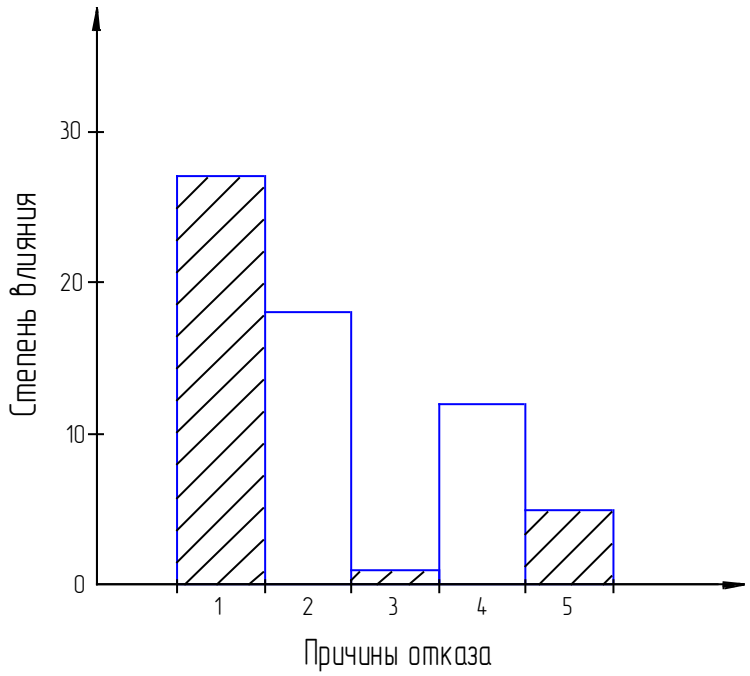


Рис. 2. Гистограмма отказов ИМС

Из гистограммы видно, что причина №1 оказывает наибольшее влияние, поэтому в первую очередь следует проанализировать именно ее. Если

же выяснилось, что она не носит характер источника отказов, то следует перейти к следующей по степени влияния, пока истинная причина отказов не будет найдена.

Апробация методики была проведена на АО «Восход» - КРЛЗ при производстве опытных партий микросхем, что позволило в кратчайшие сроки находить причины отказов.

Рассмотренная методика выявления причин брака по тестовой таблице позволяет минимизировать трудоемкость при анализе интегральных микросхем, а также снизить затраты на разработку, освоение и производство продукции. При ее использовании становится возможным проводить исследование по конкретным сериям с целью выявления источников брака и собирать статистические данные о партиях микросхем.

Список литературы

[1] Лоскутов С.А., Драч В.Е., Корчикова А.Е. Драйвер светодиодного светильника // Электромагнитные волны и электронные системы. 2016. Т. 21. № 10. С. 43-49.

[2] Драч В.Е., Родионов А.В. Перспективные технологии производства элементной базы телекоммуникационных устройств // Электромагнитные волны и электронные системы. 2014. Т. 19. № 10. С. 85-92.

[3] Готра З.Ю., Николаев И.М. Контроль качества и надежность микросхем. − М.: Радио и связь, 2007. – 168 с.

[4] Дракин А.Ю., Контроль параметров аналоговых микросхем, силовых диодов и транзисторов. – М.: Лань, 2018. – 284с.

Крисанов Сергей Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SerjW0r@yandex.ru

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

О.Ю. Егорова, Аунг Чжо Чжо, В.С. Зайончковский

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ НАРАЩИВАНИЕ ТОЛСТЫХ ПЛЕНОК МЕДИ

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

На кремниевую полированную подложку с ориентацией поверхности (111) наносился адгезионный слой титана и потом в качестве проводящего слоя слой Cu-I вакуумным напылением на модернизированной установке УВН-71П3, содержащей 3 магнетронных источника. Температура подложек при напылении была примерно 220 ℃, ниже температуры рекристаллизации меди. Напыление производилось в условиях практически неизменной температуры подложек при давлении газа аргона $3x10^{-2}$ Па.

Для обеспечения высокого качества вакуума в данной установке была произведена замена штатного паромасляного насоса типа на турбомолекулярный насос, кроме того, для нагрева подложек при напылении использовался источник тепла в виде нихромовой спирали, питаемой током до 30 А, вместо кварцевой галогеновой лампы КГГ-220-1000 мощностью 1 кВт, работа которой несовместима с одновременной работой магнетронного источника.

Для обеспечения высокого качества вакуума при напылении была смонтирована система подогрева колпака установки. Данная система, состоящая из циркуляционного насоса, водонагревателя проточного типа «ATMOR», расширительного бачка и группы из 4-х кранов, позволяет производить, нагрев вакуумного колпака установки УВН-71П3 до температуры более 65 ℃ за время, не более 30 мин.

К напыленному слою меди предъявляются противоречивые требования: он должен быть достаточно толстым, чтобы не растворяться в припое при пайке выводов, и в тоже время, должен быть достаточно тонким для легкого удаления при формировании топологии металлизации. Такие требования приводят к необходимости локального гальванического наращивания меди.

Гальваническое наращивание меди является критичной операцией, требующей контроля получаемой с помощью электролиза толщины покрытия. Согласно экспериментальным данным [1], осаждение атомов металла при гальваническом наращивании начинается на дефектах структуры подложки, после этого фронт наращивания перемещается вдоль поверхности к изломам, образуя пленку. Таким образом, пленка развивается островками, которые разрастаются во всех направлениях, пока не сольются. Если вблизи зародыша концентрация электролита понижена, то условия благоприятны для роста пленки по нормали к поверхности. По нашему мнению, локальное гальваническое наращивание меди схоже с одним из механизмов роста пленок на подложках. Этот механизм называется послойный механизм роста

Франка–ван-дер-Мерве. Он реализуется при наличии на поверхности подложки ступеней, источником которых является, в частности, естественная шероховатость граней с большими индексами Миллера. В процессе осаждения каждая ступень на шероховатой поверхности подложки последовательно застраивается частицами, непосредственно поступающими из первичной фазы, минуя стадию зародышеобразования [2]. Результатом последовательного застраивания и перемещения ступеней является новый атомный слой.

Для гальванического осаждения меди разработано большое количество электролитов, которые, обычно, разделяют на две группы: кислые и щелочные. В нашем случае были выбраны кислые электролиты. Их основные достоинства – это простота состава, устойчивость в эксплуатации и достаточно высокие экологические свойства [3].

Для получения качественного осадка, при применении кислых электролитов на основе $CuSO_4$ и H_2SO_4, проводимая при комнатной температуре, были проведены опыты, при которых была определена оптимальная величина зернистости, достигнутая при плотности тока 2 А/дм^2.

Выводы

Выбрана оптимальная плотность тока при минимальной величине шероховатости для пленок 2 и 20 мкм.

Список литературы

[1] И. М. Ковенский, В. В. Поветкин Металловедение покрытий: Учебник для вузов / – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. - 296 с.

[2] Механизмы роста пленок на подложках Франка–ван-дер-Мерве, Фольмера–Вебера, Странского–Крастанова / [Электронные ресурс]. https://docplayer.ru/43450879-Franka-van-der-merve-folmera-vebera-stranskogo-krastanova-ris-mehanizmy-rosta-plenok-na-podlozhkah.html

[3] Гальваническое меднение / [Электронные ресурс]. https://zctc.ru/sections/cooper

Егорова Оксана Юрьевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: oksana.egorova95@yandex.ru

Аунг Чжо Чжо – аспирант КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: akkyaw.bmstu.50@gmail.com

Зайончковский Вячеслав Станиславович – канд. физ.-мат. наук, доцент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vz48@post.ru

А.О. Терских, В.В. Андреев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИПА КОРПУСА НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

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

На чувствительность операционного усилителя (ОУ) заметное влияние могут оказывать шумы. Под чувствительностью понимается, то минимальное значение выходного сигнала, которое должно в заданное количество раз превосходить эффективное значение шума [1]. Следовательно, с уменьшением шумов увеличивается чувствительность ОУ. Существенное влияние на шумовые характеристики ОУ может оказывать корпус интегральной микросхемы.

В данной работе проведено исследование измерения шумовых параметров низкощумящего операционного усилителя отечественного производства в металлокерамическом DIP-корпусе 2101.8-7 и в металлокерамическом корпусе H02.8-2B, согласно методике, приведенной в ГОСТ 23089.12-86 [2].

Исследования проводились с целью выбора оптимального корпуса микросхемы, с точки зрения, шумовых характеристик для производства отечественного ОУ.

Измерения проводились с использованием схемы приведенной на рисунке 1 [2].

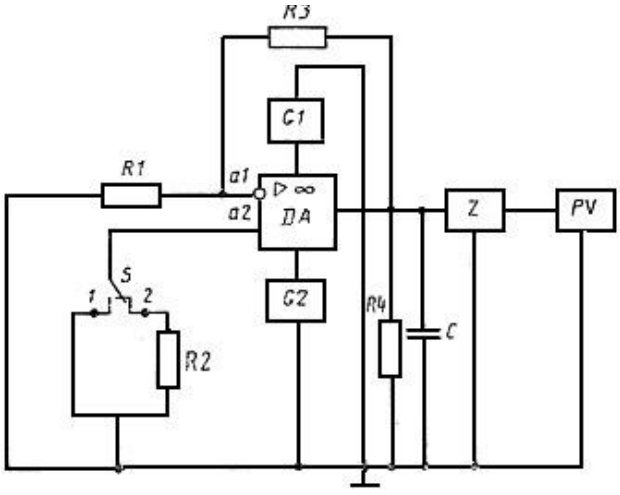


Рис.1. Схема измерений операционных усилителей (ОУ)

На данной схеме приведены следующие элементы: DA – проверяемый ОУ; G1,G2 – источники постоянного напряжения; Z – полосовой фильтр; PV – измеритель переменного напряжения; R1,R3 – резисторы обратной связи; R2 – резистор имитирующий сопротивление источника шума; R4 – резистор нагрузки; C – конденсатор нагрузки; S – устройство коммутации; a1 – инвертирующий вход ОУ; a2 – неинвертирующий вход ОУ. Произведен расчет номиналов элементов схемы и выбраны соответствующие типы. Так, для того, чтобы минимизировать шумы, резисторы R1 и R3 выбраны проволочные (KNP-100), резисторы R2 и R4 металлодиэлектрические (MF-25).

Полосовой фильтр Z и измеритель переменного напряжения PV были исключены. Взамен использовались специально разработанный малошумящий усилитель, собранный по схеме на рисунке 2 и настроенный на коэффициент усиления 60 дБ, и анализатор спектра FSV для фиксирования показаний переменного напряжения на определенных частотах, выпускаемый компанией Rohde & Schwarz.

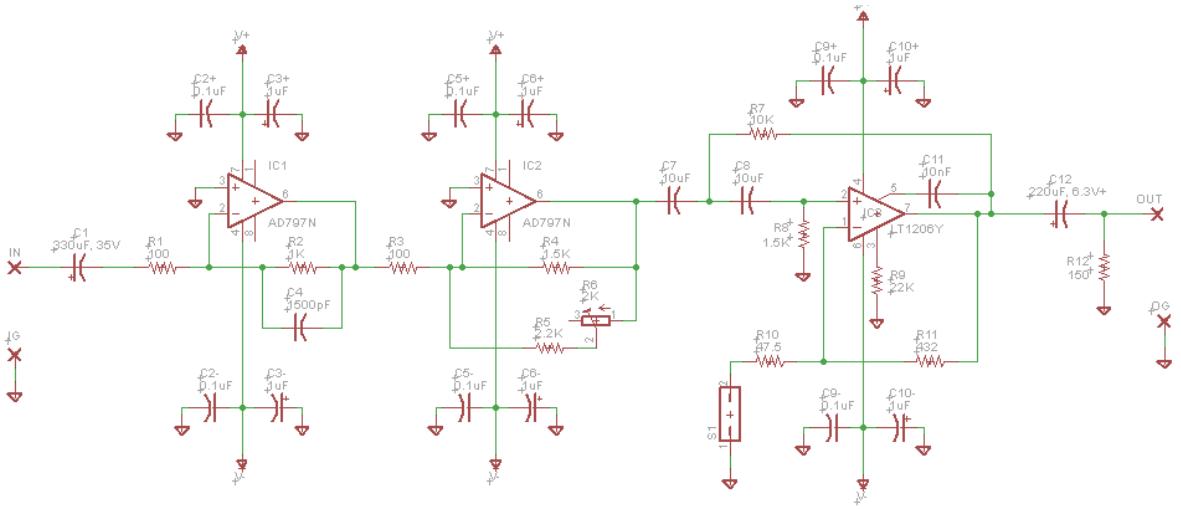


Рис.2. Схема малошумящего усилителя

Результаты измерений видим на спектрограммах с анализатора спектра на рисунках 3,4.

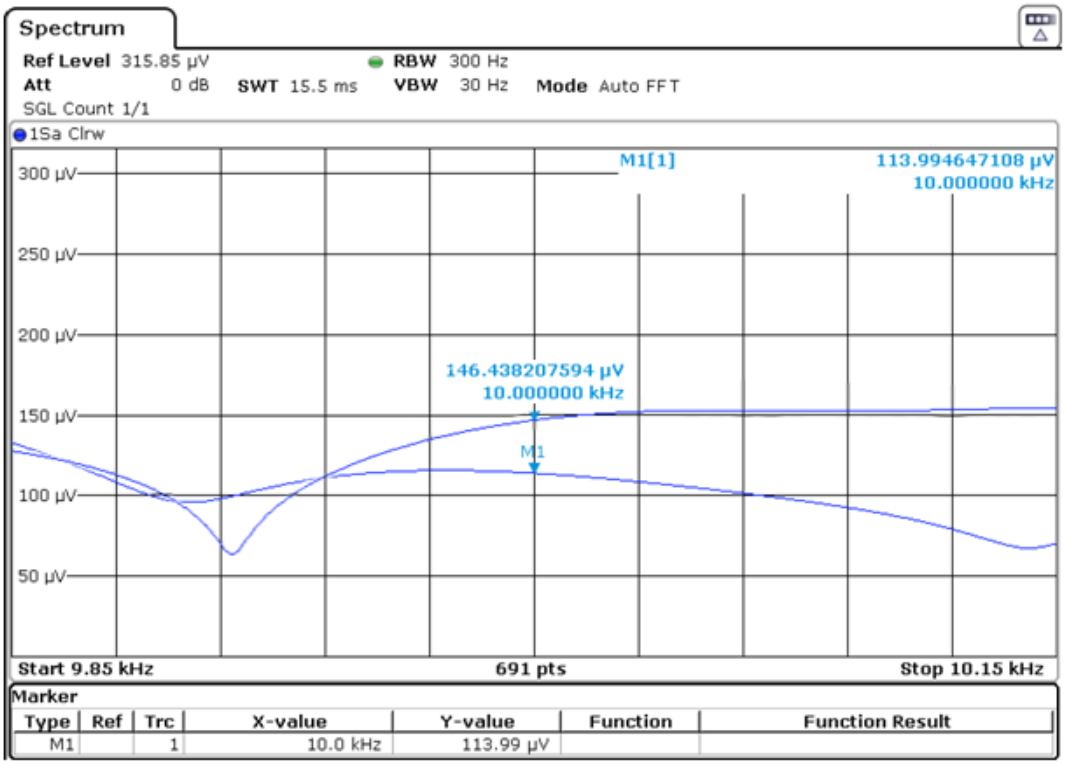


Рис.3. Спектрограмма, при S в положении 1, для 2101.8-7 (верхний график) и H02.8-2B (нижний график) корпусов

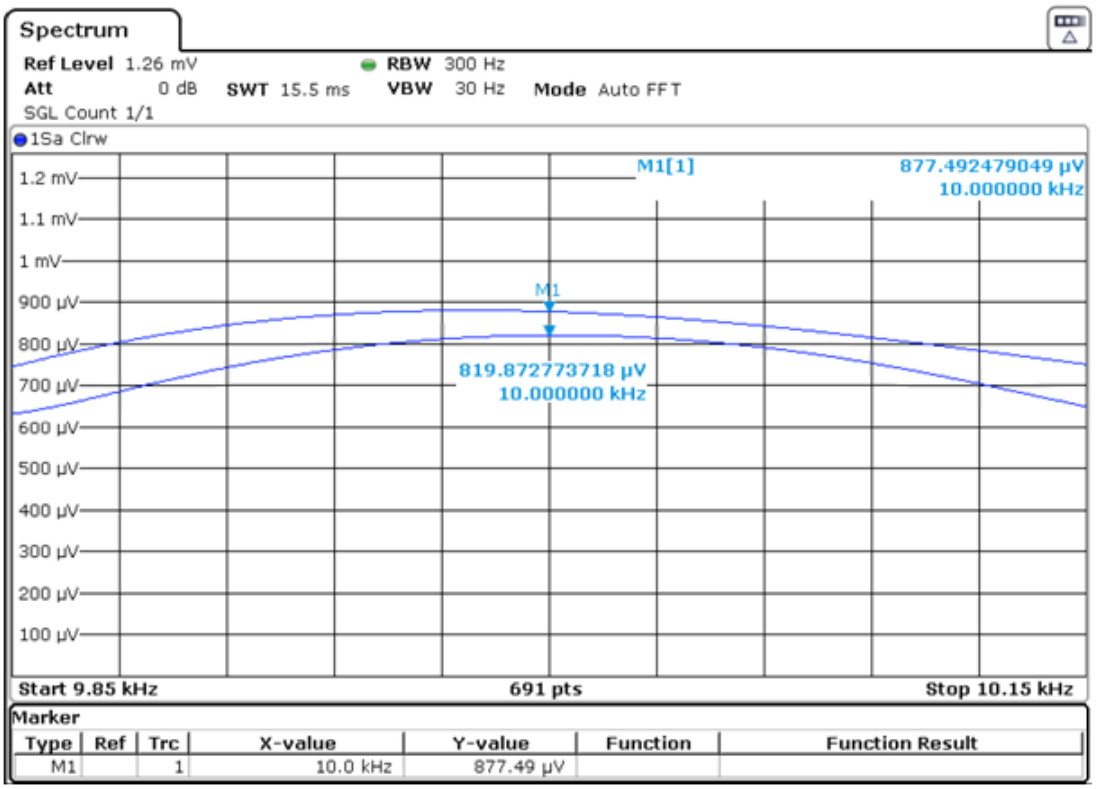


Рис.4. Спектрограмма, при S в положении 2, для 2101.8-7 (верхний график) и Н02.8-2В (нижний график) корпусов

Расчет производился по следующим формулам [2]:

$$E_{\text{ш,н}} = \sqrt{\left(\frac{R_1 \cdot U_{\text{ш,вых,1}}}{(R_1+R_3)\cdot K_Z \cdot \sqrt{\Delta f*}}\right)^2 - 1{,}66 \cdot 10^{-20} \cdot R_1};$$

$$I_{\text{ш,н}} = \sqrt{\left(\frac{R_1 \cdot U_{\text{ш,вых,2}}}{(R_1+R_3)\cdot R_2 \cdot K_Z \cdot \sqrt{\Delta f*}}\right)^2 - \frac{1{,}66 \cdot 10^{-20}}{R_2^2}},$$

где K_Z– коэффициент передачи полосового фильтра; $\Delta f*$ – эффективная полоса пропускания полосового фильтра; $U_{\text{ш,вых,1,2}}$– выходное напряжение с анализатора спектра, деленное на коэффициент усиления малошумящего усилителя.

Результаты расчетов шумовых параметров видим в таблице 1.

Таблица 1. Шумовые параметры

Тип корпуса	2101.8-7	Н02.8-2В
$E_{\text{ш,н}}$, нВ $\cdot \sqrt{\text{Гц}}$	1,52	1,05
$I_{\text{ш,н}}$, фА $\cdot \sqrt{\text{Гц}}$	35,20	30,12

Таким образом, за счет применения металлокерамического корпуса Н02.8-2В, нормированное Э.Д.С шума уменьшилось не менее чем на 30% и

нормированный ток шума уменьшился не менее чем на 14% в низкошумящем операционном усилителе отечественного производства, в сравнении тем же усилителем в металлокерамическом корпусе 2101.8-7.

Список литературы

[1] *Мамий А.Р., Тлячев В.Б.* Операционные усилители. − Майкоп: АГУ, 2005. − 192 с.

[2] ГОСТ 23089.12-86 Микросхемы интегральные. Методы измерения шумовых параметров операционных усилителей. Введ. 1987-07-01.– М.: Изд-во стандартов, 1986.

Терских Алексей Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: axel@traceur.ru

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

В.Е. Драч, М.А. Саввин

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛЯ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММЫ ANSOFT HFSS

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

В настоящее время на рынке представлено большое количество программ автоматического моделирования электродинамических процессов.

Среди них наибольшей популярностью пользуются такие САПР, как IE3D, Microwave Office, Microwave Studio. Но наиболее полно реализованы возможности строгого электродинамического моделирования в High Frequency System Simulator, произведенной компанией AnSoft. Электродинамическое моделирование в HFSS базируется на применении метода конечных элементов, который заключается в разбиение всего объема модели на тетраэдры, внутри которых поле представляется в виде объемных базисных функций с неизвестными коэффициентами, которые находятся из решения системы линейных уравнений. Использование данного метода позволяет обеспечить высокий уровень универсальности численных алгоритмов, которые весьма эффективны для решения широкого круга задач начиная с анализа линий передач и заканчивая моделированием антенн и сложных невзаимных устройств, в которых содержаться гиротропные среды.

Для моделирования структуры поля была создана модель прямоугольного волновода, представленного на рисунке 1.

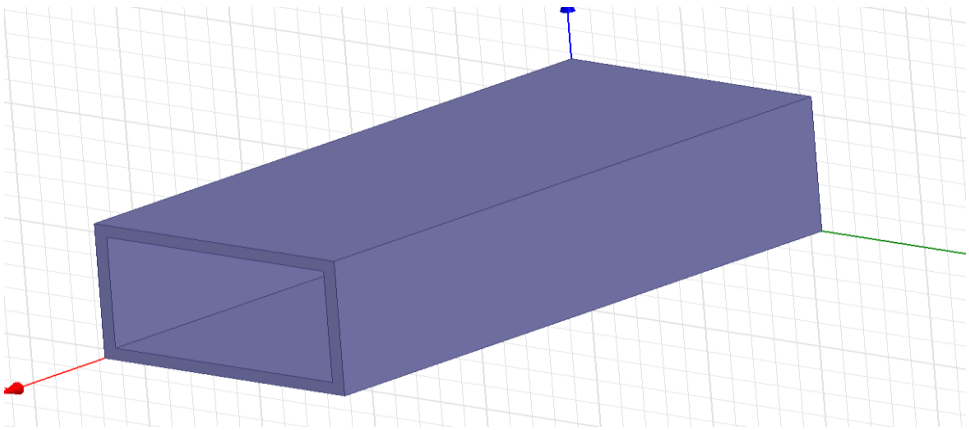


Рис. 1. Модель прямоугольного волновода, созданная в программе HFSS

Данная 3d модель соответствует волноводу R100 с размером поперечного сечения 10×23 мм. Структура поля для основной волны H10 представлена на рисунке 2.

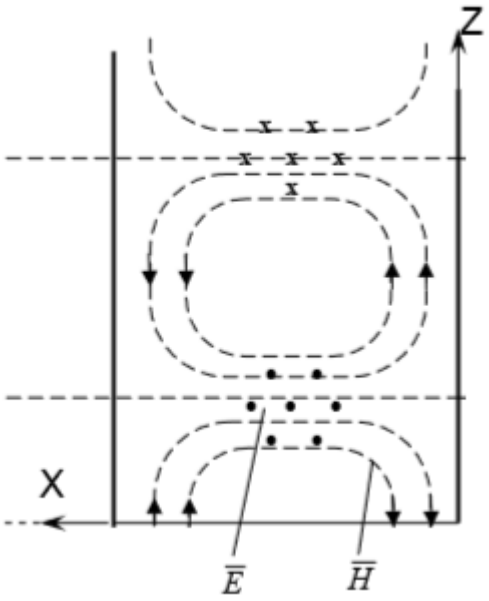


Рис. 2. Структура поля для основной волны H10

На рисунках 3 и 4 приведены структуры поля в прямоугольном волноводе для линий напряженности электрического и магнитного полей соответственно.

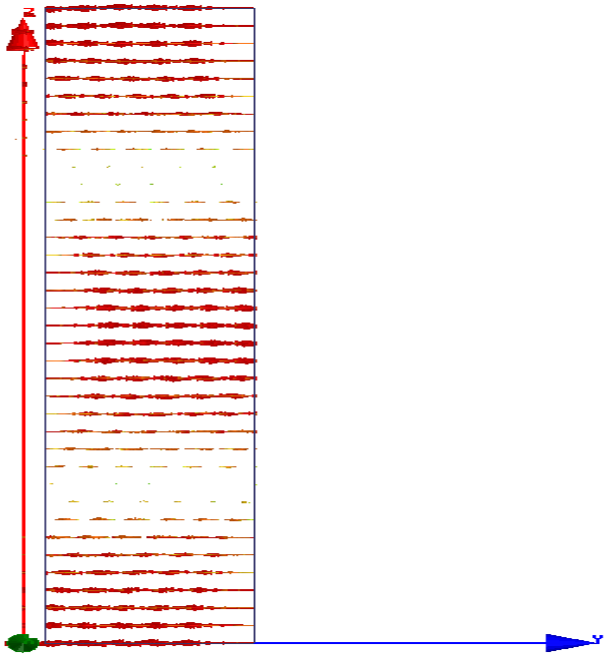


Рис. 3. Линий напряженности электрического поля
в прямоугольном волноводе

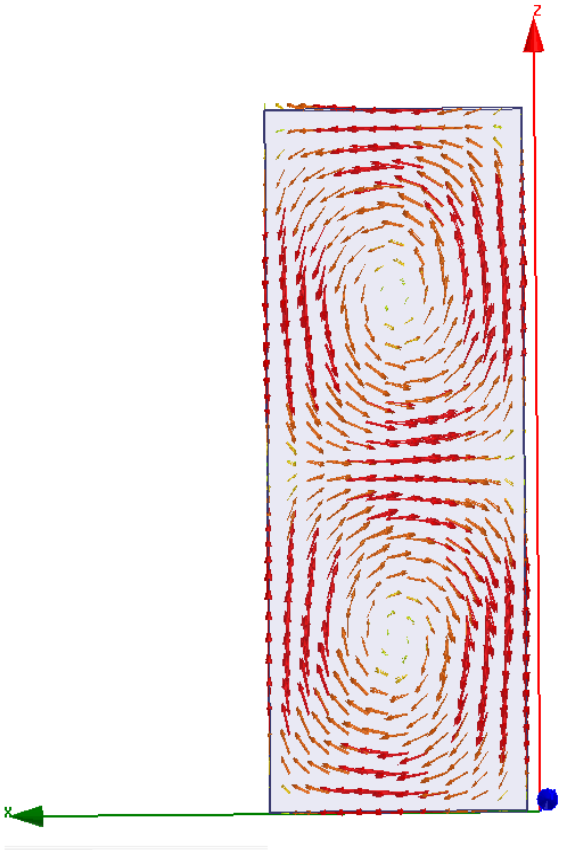


Рис. 4. Линий напряженности магнитного поля
в прямоугольном волноводе

Как видно из выше представленных рисунков результаты моделирования структуры поля в прямоугольном волноводе согласуются с теоретическими данными, что подтверждает правильность созданной модели.

Список литературы

[1] Банков С. Е., Гутцайт Э.М. Решение оптических и СВЧ задач с помощью HFSS – М, ООО «Оркада», 2012, 250 с.

[2] Банков С.Е., Курушин А.А. Проектирование СВЧ устройств и антенн С Ansoft HFSS – М, 2009, 736 с.

[3] Барсуков С.Н. Электромагнитные волны в направляющих структурах – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2007 – 59 с.

Саввин Михаил Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. 79108644148@yandex.ru

Драч Владимир Евгеньевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: drach@bmstu-kaluga.ru

Д.О. Ульянов, Д.В. Андреев

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИН НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЕНОК

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

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) относится к группе высокоразрешающих измерительных методов исследования микроструктуры и топографических особенностей материалов и предоставляет широкие возможности для получения изображений поверхности различных объектов с атомным разрешением в жидкой и воздушной средах, а также в условиях вакуума. В настоящее время к основным областям применения АСМ относятся физические науки, биология и промышленность.

В данной статье рассматривается калибровка атомно-силового микроскопа для контроля тонких пленок (от нескольких нанометров до нескольких микрометров) в микро- и наноэлектронике.

Физические принципы работы АСМ

АСМ основана на измерении силового взаимодействия между поверхностью исследуемого образца и зондом микроскопа, закрепленного на конце упругой консоли, называемой кантилевером. Сила, действующая на зонд со стороны образца, приводит к изгибу консоли. Регистрируя уровень изгиба, можно контролировать силу взаимодействия зонда с поверхностью. Традиционно, под силами взаимодействия подразумевают дальнодействующие силы Ван-дер-Ваальса. Однако в действительности со стороны поверхности также действуют упругие силы и силы адгезии, магнитные и электростатические силы. В зависимости от характера действующей силы выделяют несколько режимов работы АСМ: контактный, бесконтактный и полуконтактный [1].

Общая схема работы атомно-силового микроскопа представлена на рис. 1. Излучение полупроводникового лазера фокусируется на упругой консоли зондового датчика. Регистрация отраженного излучения выполняется с помощью фоточувствительного элемента – четырехквадрантного фотодиода, который позволяет определять направление и уровень смещения консоли зондового датчика (рис. 2). Перед началом измерений оптическая система микроскопа юстируется таким образом, чтобы отраженное излучение попадало в центр фотоприемника. В этом случае фототоки, снимаемые со всех секций фотодиода, будут иметь одно значение. В процессе измерений, в результате деформации изгиба консоли под действием сил взаимодействия происходит отклонение отраженного луча от начального (центрального) положения. Этот сдвиг вызывает изменение фототока для каждой секции. Изменение фототока называется разностным током и позволяет однозначно характеризовать уровень и направление смещения консоли кантилевера [2].

Фототок, снимаемый с четырех секций четырехквадрантного фотодиода (рис. 1), позволяет сформировать напряжение в цепи обратной связи ОС, которое записывается в память компьютера в качестве рельефа поверхности. С помощью пьезоэлектрического исполнительного элемента ИЭ расстояние между зондом микроскопа и поверхностью исследуемого образца ИО поддерживается на постоянном уровне (необходимо для осуществления силового взаимодействия). В качестве напряжения, подаваемого на ИЭ, используется напряжение в цепи обратной связи [3].

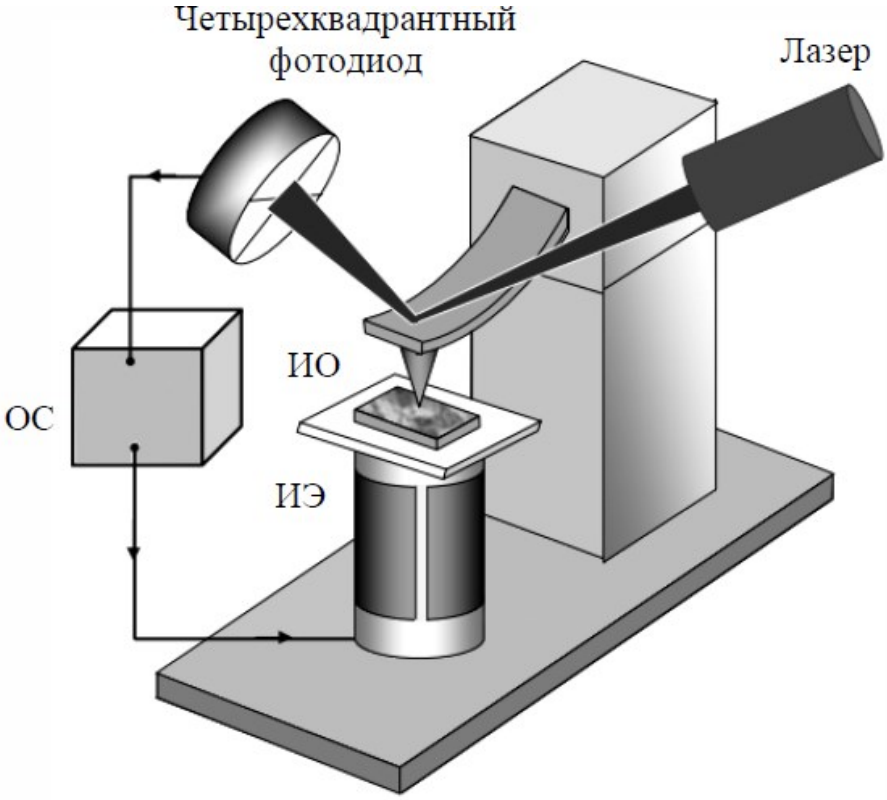


Рисунок 1 - Общая схема работы атомно-силового микроскопа

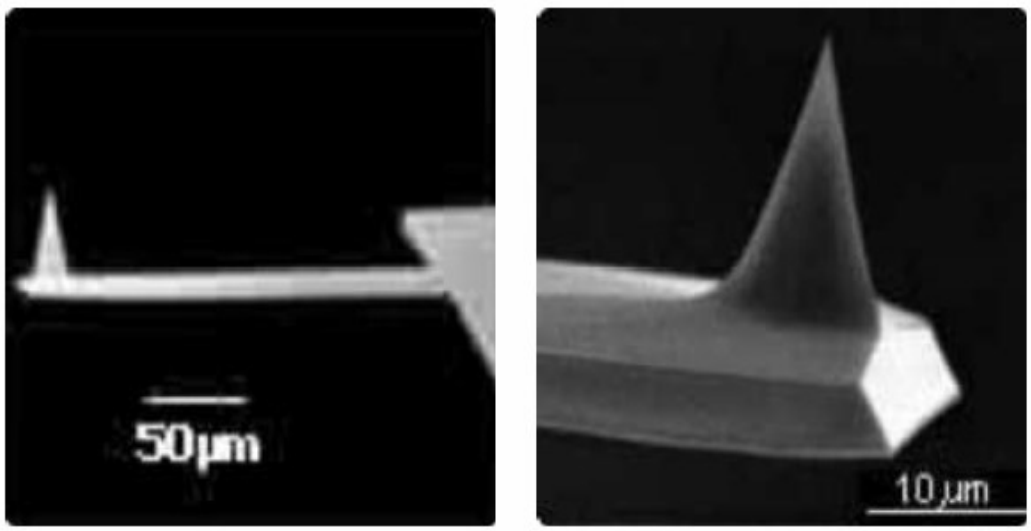


Рисунок 2 – зондовый датчик (кантилевер)

Порядок калибровки атомно-силового микроскопа NT-MDT Solver Next в программном обеспечении Nova P9

Настройка оптической системы АСМ:

- Настройка амплитуды лазера происходит во вкладке *Aming* управляющей программы Nova, но винты, перемещающие лазерную головку, находятся непосредственно на установке. Сначала настраивается лазер. Лазер настраивается на максимальную мощность.
- Если настроиться не получается, необходимо навести луч лазера на чип кантилевера. Далее найти сам кантилевер оказывается проще.
- После настройки лазера необходимо отрегулировать положение фотоприемника.

Поиск резонансной частоты колебания кантилевера и тонкая подстройка амплитуды:

- Эти действия производятся во вкладке *Resonance* управляющей программы АСМ. В самом простом случае необходимо нажать кнопку Run, остальное произойдет автоматически.
- Если наблюдаетсяе пик, по форме напоминающий Лоренцеву или Гауссову кривую – Вы правильно настроили луч лазера на кантилевер и его механические характеристики удовлетворительны для работы устройства.
- Если же наблюдается любая иная форма кривой – произошла наводка на чип, повторить пункты 1 – 2.
- На коробке с кантилеверами часто указывается их резонансная частота. Обычно она составляет порядка 100 кГц. Сравните – правильный ли пик нашла программа.
- После этого необходимо перейти во вкладку *Approach* и произвести тонкую подстройку амплитуды кантилевера (винтами, управляющими лазером АСМ). Затем перейти обратно во вкладку Aming и подстроить положение фотоприемника.

Подводка кантилевера к поверхности исследуемого образца:

- Подводка кантилевера к поверхности осуществляется следующим образом. Необходимо установить Set Point – амплитуду, которая будет удерживаться обратной связью. Ее следует ставить равной 0.6-0.8 от амплитуды в свободном положении с отключенной обратной связью.
- После этого кантилевер опускается к поверхности образца. Сначала, пока расстояние до образца велико, амплитуда меняться не будет. Затем, при достаточном приближении, происходит попадание в демпфирующий слой – слой воздуха, который будет влиять на амплитуду: она начнет плавно. Сигналом к тому, что кантилеверблизок к образцы, будет резкое падение напряжения обратной связи и скачок амплитуды. Если амплитуда меняется плавно, а напряжение обратной связи падает почти до нуля – значит Set Point выставлен слишком

высоко. Тогда необходимо отключить обратную связь, проверить свободную амплитуду, выставить 0.6-0.8 от новой свободной амплитуды, включить обратную связь и продолжить подводку.

Процедура сканирования поверхности образца:

Эти действия производятся во вкладке *Scan*.

- Область сканирования – не меньше 5 мкм.
- Игла кантилевера изначально стоит в точке, обозначенной зеленым крестом. При сканировании она передвинется в начало квадрата сканирования (зависит от выбранного типа сканирования), поэтому, когда после нажатия кнопки Start пропишутся две-три линии, нужно перезапустить сканирование кнопкой Restart. Необходимость в этом связана с особенностями конструкции сканера.
- Скорость сканирования – не более 1 микрона в секунду.
- Ввиду того, что иглы сравнительно низкого качества, нужно проводить контрольные операции [3]. В Settings выбрать сканирование в обоих направлениях на одном АЦП и пункт Show Both Profiles. Подстройкой уровня Set Point (обычно понижением) и усиления обратной связи (в диапазоне от 0.1 до 0.5) необходимо добиться того, чтобы сканирование в прямом и обратном направлениях совпадало.
- Нужно набрать статистику по тестовому образцу, работа с которым производится в начале любой серии экспериментов.

Для проверки правильности калибровки микроскопа просканируем на нем контрольный образец (рис.3)

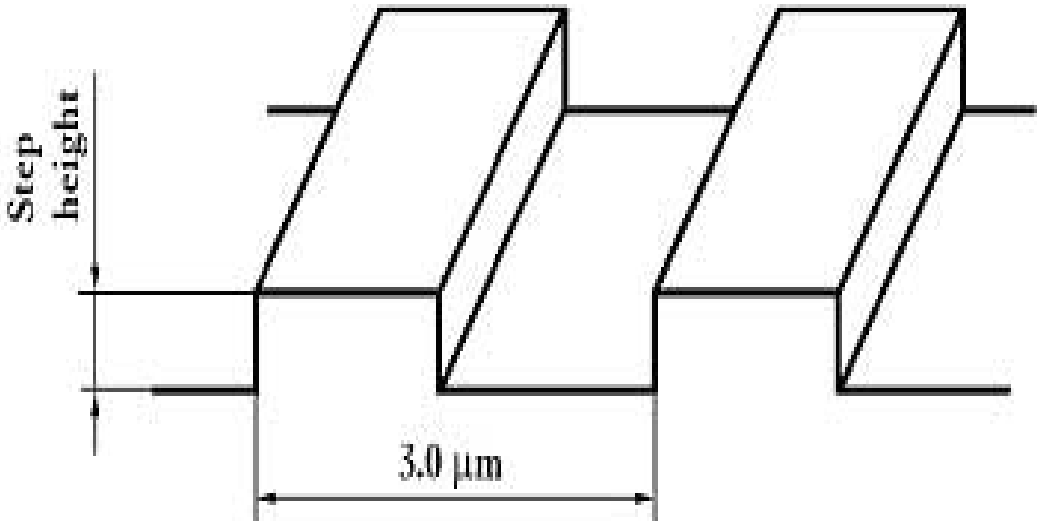


Рисунок 3 – Контрольный образец (высота 200 нм)

Вывод

Результат сканирования контрольного образца показан на рис. 4. Полученное изображение соответствует контрольному образцу.

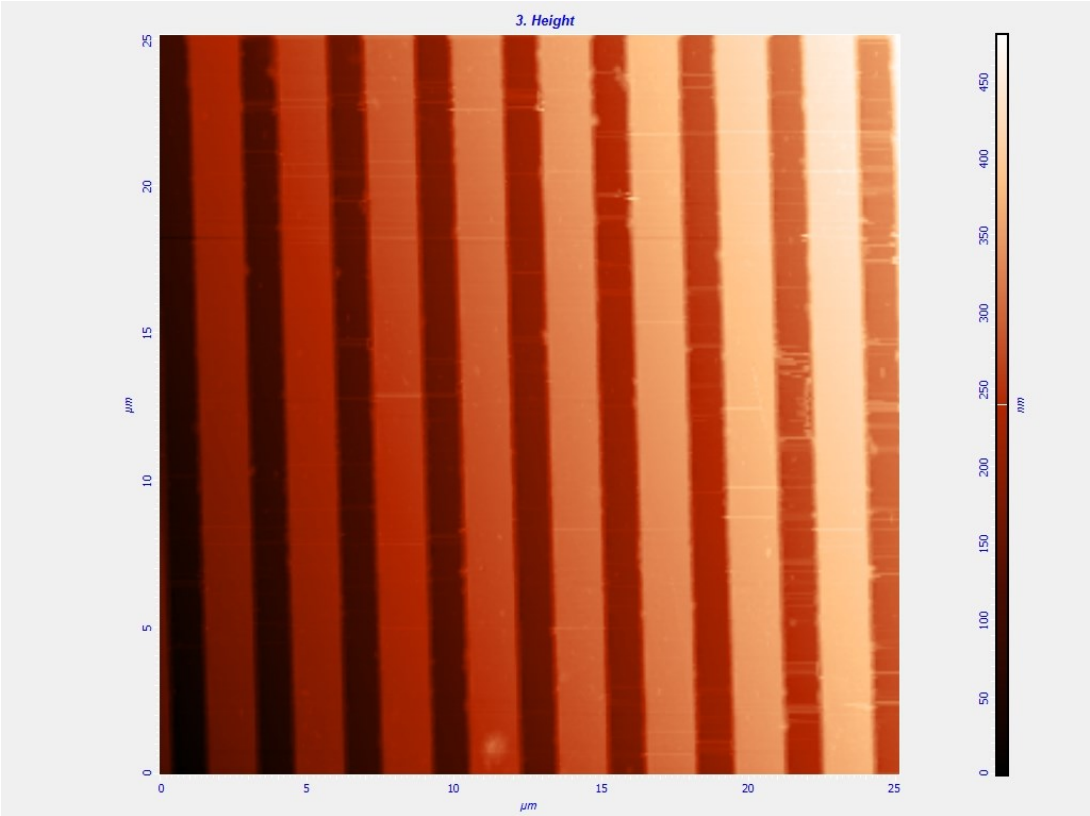


Рисунок 4 –Результат измерения образца

Список литературы

[1] В.Л. Миронов. *Основы сканирующей зондовой микроскопии: Учебное пособие.* Нижний Новгород: РАН, Институт физики микроструктур,2004, 115 с.

[2] Бахтизин Р.З., Галлямов Р.Р. *Физические основы сканирующей зондовой микроскопии: Учебное пособие.* Уфа: РИО БашГУ, 2004, 84 с.

[3] *Руководство по эксплуатации АСМ "Solver Next".* URL: https://www.ntmdt-si.com/data/media/files/manuals/solver_nekst_px.pdf (дата обращения 12.10.18).

Ульянов Дмитрий Олегович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: izefremova@yandex.ru

Андреев Дмитрий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

О.Н. Вовченко, В.В. Андреев

ПОЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК SIO2 С ПОСЛЕДУЮЩИМ НИТРИРОВАНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОДЗАТВОРНОГО ОКИСЛА МОП-ТРАНЗИСТОРА

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

Введение. Подзатворный диэлектрик является наиболее чувствительным узлом МОП-структур, поэтому при производстве схем с высокой степенью интеграции необходимо оптимизировать технологию формирования таких диэлектрических пленок. Качество МОП-приборов в основном обусловлено электрофизическими характеристиками подзатворного диэлектрика и границы раздела кремний-окисел (поверхностные состояния, ловушки захвата, встроенный и подвижный заряд в окисле). Свойства окисла определяются рядом технологических операций (подготовкой поверхности кремния перед окислением, режимами термического окисления: температурой, окислительной средой, условиями охлаждения и т.д.), наиболее существенно влияющих на границу раздела Si-SiO_2. Качество подзатворного диэлектрика можно оценить по вольт-фарадным и вольтамперным характеристикам, пороговому напряжению, эффективному заряду в окисле и др. [1,2].

В настоящее время в качестве тонких подзатворных диэлектриков широко используют нитрированные пленники оксида кремния SiO_xN_y. В технической литературе по данной теме приводятся два основных метода нитрирования поверхности: отжиг в аммиаке (NH_3) или отжиг в закиси азота (NO), при этом нитрированные слои SiO_2 обычно имеют толщину не больше 300Å, а температура отжига лежит в диапазоне 800-900 °С [3,4].

Постановка задачи. Необходимо разработать технологический процесс формирования тонкого подзатворного диэлектрика на основе пленок оксинитрида кремния. Для получения такого типа диэлектрика необходим тонкий слой диоксида кремния в диапазоне (100-200)Å. Такая толщина оптимальна для нитрирования в средах аммиака или закиси азота. Поэтому необходимо подобрать режимы термического окисления (определить необходимый тип окисления, расход технологических газов, температуру, время технологического процесса).

Методика эксперимента. Эксперимент проводился на двух пластинах «спутниках», имевших обозначение С1 и С2 монокристаллического кремния 100 КЭФ 4,5 (100). На пластине С1 подзатворный диэлектрик был сформирован на основе термической пленке диоксида кремния, а на пластине С2 после формирования пленки диоксида кремния проводили ее отжиг в атмосфере аммиака.

Данные пластины прошли ряд технологических операций:

1. Химическая обработка пластин.

2. Окисление термическое.

3.Контроль параметров: замер толщины окисла, коэффициента преломления, напряжение отсечки.

4. Для пластины С2: отжиг в атмосфере аммиака (NH_3).

5. Контроль параметров: замер толщины окисла, коэффициента преломления, напряжение отсечки.

Результаты и обсуждения. Перед проведением термических операций пластины были подвергнуты химической отмывки. Химическая обработка пластин состоит из промывки пластин в перекисно-аммиачном растворе, промывки в смеси Каро (смесь перекиси водорода и серной кислоты в отношении 1:3) и отмывки пластин в проточной деионизованной воде от остатков реагентов на поверхности пластин.

С помощь термического окисления необходимо получить тонкий оксел толщиной до 200Å, так как большие толщины SiO_2 технологически сложно нитрировать (необходимо увеличивать время процесса отжига, расход реагентов и температуру).

Термическое окисление пластин производили в высокотемпературных диффузионных печах типа СДОМ. Процесс окисления проходил в среде сухого кислорода с добавлением паров HCl. Это объясняется тем, что на скорость термического окисления существенным образом влияют примеси в растущем слое диоксида, в первую очередь примеси ионов гидроксила, образующиеся в много ступенчатой реакции кремния с парами воды, и натрия, которые приводят к каталитическому действию в реакции окисления кремния в парах воды.

Кинетика роста окислов в смесях HCl/O_2 была детально изучена и результаты экспериментов привели к выводу о том, что значительное увеличение скорости окисления в присутствии HCl вызывается усиленной диффузией молекул O_2 и H_2O в окисле, обусловленной большим количеством оборванных связей, ускоренной реакцией окисления на границе Si - SiO_2, вызванной реакцией хлорирования, а также воздействием паров H_2O, образующихся в процессе окисления [5].

Хлорирование окислов оказывает непосредственное влияние на плотности фиксированных в окисле зарядов, подвижных ионов и зарядов, захваченных на границе раздела, а при определенных условиях приводит к повышению радиационной стойкости слоев SiO_2. Хлорированные окислы имеют значительно лучшие пробивные характеристики как по значению среднего напряжения пробоя, так и по его разбросу. Вследствие подавления роста дефектов упаковки и геттерирующего влияния атомов хлора увеличивается и время жизни неосновных носителей заряда [5].

Хлор нейтрализует подвижные ионы и очищает стенки окислительной печи при длительной выдержке в хлорсодержащей среде. Эти два эффекта, имеющие место при хлорном окислении, обычно называются «очисткой» и

«пассивацией». Эффект очистки сильно зависит от условий проведения процесса, таких, как температура, концентрации HCl и Na в реакторе [6].

Плотность дефектов так же зависит от температуры роста окисла - увеличивается с увеличением температуры. Поэтому для формирования пленки диоксида кремния таких толщин выбрали температуры 850°С, оптимальная температура для зародышеобразования и достаточно контролируемого процесса роста пленки (см. рисунок 1).

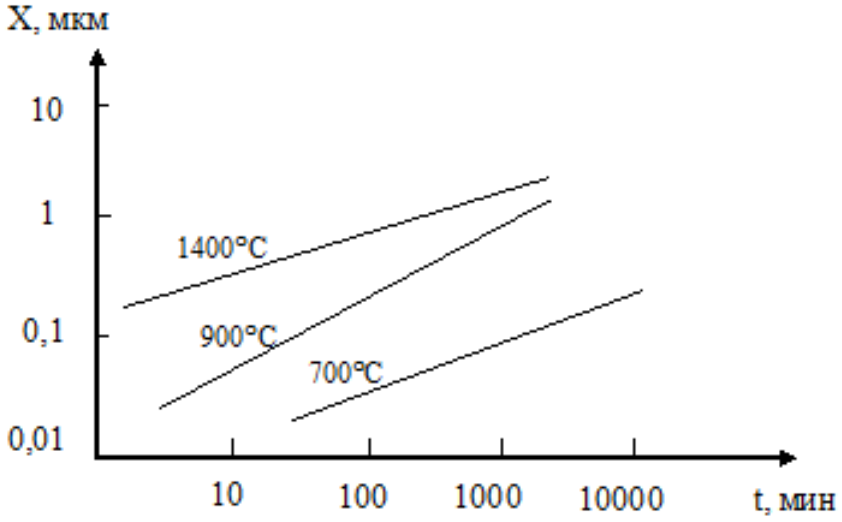


Рис. 1. Температурная зависимость роста оксидной пленки на кремнии в среде сухого кислорода

Температура технологического процесса роста окисла 850ºС в среде O_2/HCl в течение 1 час 30 минут, сам процесс окисления составлял 40 минут, остальное время занимает загрузка, выгрузка и продувка.

Нитрирование пленки SiO_2. В данной работе на пластине С2 произвели термический отжиг в среде аммиака на установке осаждения легированных и нелегированных слоев кремния Изотрон-3М. Установка Изотрон-3М, состоит из трех каналов для проведения термических процессов, газораспределяющего шкафа с технологическими реагентами и блока управления. Процессы в реакторе могут проводиться при пониженном давлении от 1 мбар до 30 мбар.

Отжиг пластины-пробы производился в атмосфере аммиака при температуре 850°С, расходе аммиака 3,6 л/час, в течение 30 минут.

В ходе отжига на поверхности SiO_2 протекает реакция хемосорбции NH_3

$$Si - O - Si + NH_3 \leftrightarrow SiNH_2 + SiOH, \quad (1)$$

а взаимодействие продуктов реакции дает

$$SiNH_2 + SiOH \leftrightarrow Si_2NH + H_2O. \quad (2).$$

Таким образом, при нитрировании в среде NH_3 на поверхности SiO_2 образуются молекулы воды, которые десорбируются в газовую фазу и диффундируют в объем слоя окисла. Нитрирование SiO_2 осуществляется путем заме-

щения атомов кислорода в структуре двуокиси кремния атомами азота, а высвободившиеся атомы кислорода в составе молекул H_2O диффундируют к поверхности кремния и десорбируют в газовую среду. Десорбция H_2O с поверхности SiO_2 способствует включению азота в окисел. Исследования распределения азота в окисле в зависимости от давления NH_3 показали, что при низком давлении азот включается в поверхностный слой SiO_2, а при увеличении давления азот достигает границы раздела $Si\text{-}SiO_2$ и фиксируется в форме стабильных комплексов SiO_xN_y. Этот обогащенный азотом слой действует как барьер для диффузии кислорода. При увеличении длительности нитрирования концентрация азота на поверхности окисла растет много медленнее, чем на границе раздела $Si\text{-}SiO_2$. Это объясняется стационарным характером обмена атомами азота между газовой фазой и оксинитридом.

Методы контроля параметров. Замер параметров подзатворного диэлектрика на пластинах спутников проводится неразрушающим методом лазерным эллипсометре ЛЭФ-3М-1. Метод основан на определении угловых параметров: измерении отклонения двух взаимно-перпендикулярных компонентов электрического вектора и изменение разности фаз электрического вектора падающей электромагнитной волны поляризационного света и отраженной от исследуемой поверхности. Этот метод контроля толщины тонких диэлектрических пленок позволяет контролировать не только толщину пленки, но и коэффициент преломления.

Полученные параметры (толщина пленки, коэффициент преломления, напряжение отсечки) указаны в таблице 1.

Таблица 1. Параметры пленки оксида кремния.

Контролируемый параметр	Пластина С1	Пластина С2	
		до отжига в NH_3	после отжига в NH_3
Толщина пленки $h(SiO_2)$, Å	(140+-10)Å	(150+-10)	(150+-10)Å,
Коэффициент преломления k	1,5	1,5	1,5
Напряжение отсечки Uотс, В	(-0,65+-0,15) В	(-0,78+-0,1) В	(-0,36+-0,1) В

Выводы. В результате проведенной работы были получены данные по подбору параметров технологического процесса получения тонких пленок слоя SiO_2, подобран режим нитрирования пленки оксида кремния. Установлено, что оптимальными режимами для получения тонких слоев диоксида (до 200 Å) является окисление в среде сухого кислорода с добавлением паров HCl при температуре 850°С. Такой метод окисления дает возможность получать достаточные чисты по своему составу пленки диоксида кремния с малым количеством дефектов. HCl увеличивает среднее напряжение пробоя и умень-

шают статистический разброс напряжений пробоя. Это означает, что напряжение пробоя можно увеличить, снижая плотность дефектов. А последующий отжиг в среде аммиака не ухудшает свойства пленки SiO_2

Таким образом данные результаты дают возможность получения необходимого исходного материала - тонкой нитрированной пленки диоксида кремния, для получения подзатворного диэлектрика МОП-приборов и интегральных микросхем.

Список литературы

[1] Андреев В.В., Барышев В.Г., Столяров А.А. Инжекционные методы исследования и контроля структуры металл-диэлектрик-полупроводник: Монография // М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004.

[2] Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств. Справочник. - М.: Радио и связь, 1991.

[3] Корзо В.Ф., Черняев В.Н. Диэлектрические пленки в микроэлектронике – М., 1997г..

[4] Королев М.А., Красюков А.Ю., Поломошнов С.А. Учебное пособие по дисциплине «Современные проблемы технологии наноэлектроники». - М.: МИЭТ, 2011.

[5] Sze S. M, Lee M. K. Semiconductor Devices. Physics and Technology // John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd., 3rd ed., 2013. 582 p.

[6] Strong A., Wu E., Vollertsen R., Sune J., Rosa G., Rauch S., Sullivan T. Reliability Wearout Mechanisms in Advanced CMOS Technologies. IEEE Press Series on Microelectronic Systems. Wiley, 2009. 624 p.

Вовченко Ольга Николаевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: luckyfox13@mail.ru

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

А.А. Сидоров, В.В. Шагаев

ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТКС) РЕЗИСТОРОВ НА ПЛАТАХ ГИС-045.1

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

Целью работы являлось проведение измерений сопротивления и температурного коэффициента сопротивления (ТКС) резисторов на платах ГИС-045.1. Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи[1-3]:

– произвести измерение сопротивлений на платах,
– рассчитать ТКС резисторов на платах,
– провести анализ и предоставить данные по полученным значениям.

Измерение сопротивлений

Было проведено измерение сопротивлений резисторов на 3 платах, собранных в условный корпус, в диапазоне температур от -60 до 150 ^{0}C. Значение сопротивлений резисторов приведены в таблице 1.

Значение сопротивлений резисторов при различных температурах

Таблица 1.

№	НС, Ом	Температура, ^{0}C									
		-60	-40	-20	0	25	50	75	100	125	150
1	82	81,87	82,02	82,17	82,37	82,54	82,74	82,84	83,01	82,25	83,44
	730	733,0	725,28	727,7	730,2	733,21	735,9	738,3	740,7	742,8	744,5
2	82	81,78	81,92	82,07	82,19	82,39	82,6	82,77	83	83,23	83,42
	730	724,7	726,58	728,3	730	732,36	734,6	736,5	738,26	739,8	741,1
3	82	82,5	82,61	82,73	82,77	82,93	83,15	83,18	83,33	83,5	83,74
	730	725,3	727,11	729,2	731,2	733,85	736,2	738,4	740,38	742,1	743,7

Рассчет ТКС резисторов на платах

Сопротивление металлических и проволочных резисторов немного зависит от температуры. Однако такая зависимость сопротивления от температуры позволяет использовать резисторы в качестве термометров. Сопротивление полупроводниковых резисторов может зависеть от температуры сильнее, возможно, даже экспоненциально по закону Аррениуса, однако в практическом диапазоне температур и эту экспоненциальную зависимость можно заменить линейной.

На практике пользуются средним значением ТКС, который определяется в интервале рабочих температур при заданной электрической нагрузке резистора с помощью измерителя ТКС.

По измеренным значениям сопротивления резистора определяют ТКС по следующей формуле:

$$ТКС = \frac{\Delta R}{R \cdot \Delta T} \quad (1)$$

где *ТКС* температурный коэффициент сопротивления резистора при изменении температуры на 1 / °С;

Далее используя полученные данные построим зависимость номинального сопротивления 82 и 730 Ом от температуры, выполненную с помощью прибора АКИП В7-78.

Данные представлены на графиках.

Зависимость номинального сопротивления (82 Ом.) от температуры выполненных с помощью прибора АКИП В7-78

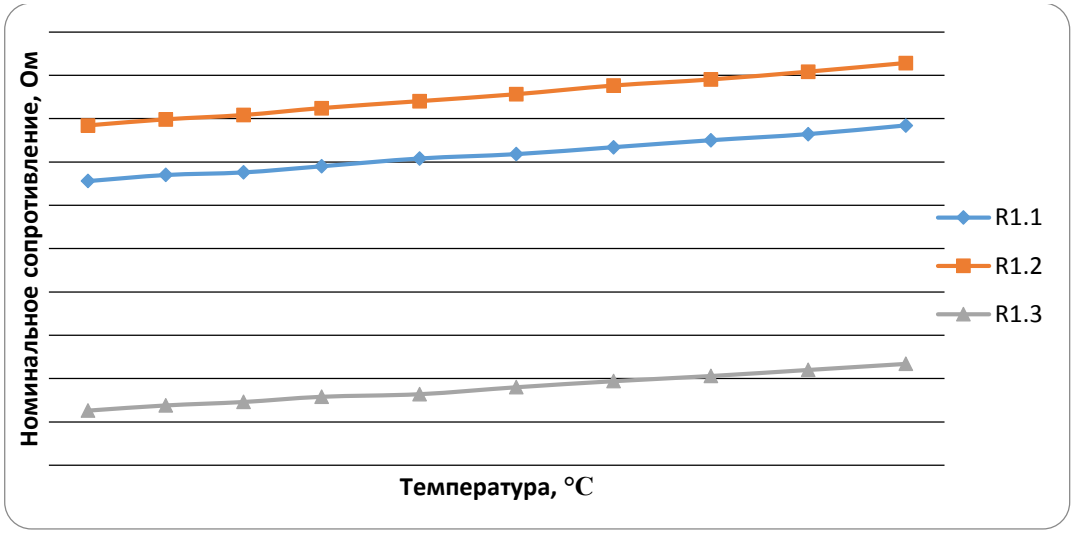


Рисунок 1. Зависимость номинального сопротивления (730 Ом.) от температуры выполненных с помощью прибора АКИП В7-78

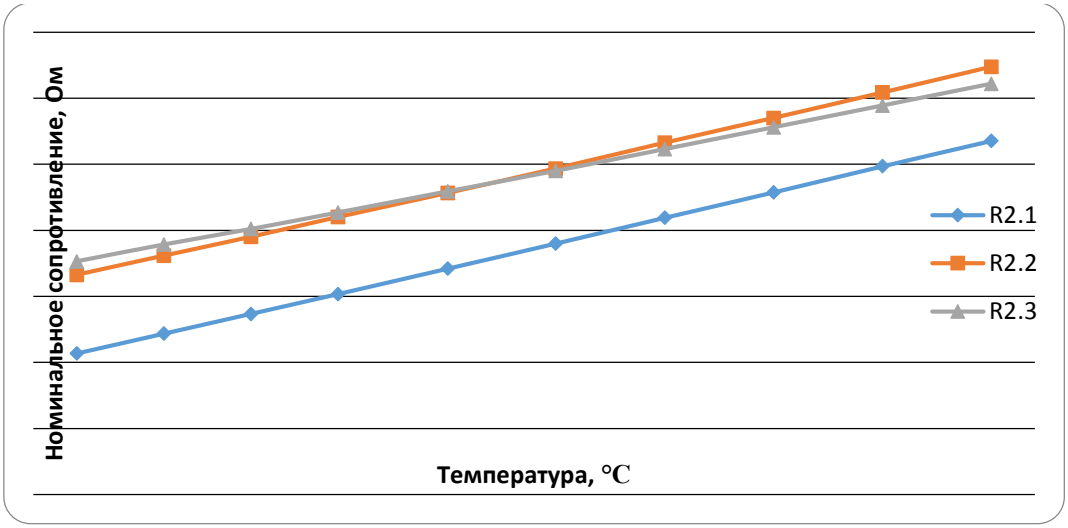


Рисунок 2.

Вывод. По результатам работы были получены данные, из которых можно сделать вывод, о необходимости улучшения значений номинального напряжения и ТКС резисторов.

Список литературы

[1] *Чернышев А.А*. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, – М.: Радио и связь, 1988, - 256с.

[2] *Березин А.С.* Технология и конструирование интегральных микросхем, - М.: Радио и связь, 1983, - 228с.

[3] *Волков В.А.* Сборка и герметизация микроэлектронных устройств, – М.: Радио и связь, 1982, - 144с.

[4] *Казеннов Г.Г.* Основы проектирования интегральных схем и систем, - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005, - 296.

Сидоров Андрей Андреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sidorov.andreyy@gmail.com

Шагаев Владимир Васильевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shagaev-vv@yandex.ru

К.А. Мазаева, Ю.П. Головатый

РАСЧЕТ БРЭГГОВСКОГО ЗЕРКАЛА НА МЕТАМАТЕРИАЛЕ

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

Брэгговское зеркало – частный случай слоистой среды. Световые волны распространяются перпендикулярно слоям в направление оси *x*. Зеркало состоит из *N* двойных слоев, каждый из которых характеризуется диэлектрической проницаемостью $\varepsilon(\omega)$ и магнитной проницаемостью $\mu(\omega)$. Будем считать ε и μ комплексными скалярными функциями. Весь массив находится в фоновой среде с проницаемостью ε_c и μ_c. (рис.1).

Решение волнового уравнения в каждом слое имеет вид суперпозиции прямой и обратной плоских волн

$$E_{m\alpha}(x,t) = \vec{p}(E_{m\alpha}e^{\quad x} + E^{-}_{m\alpha}e^{-i\kappa_{m\alpha}x})e^{-i\omega t} \tag{1}$$

$\vec{p}$ - вектор поляризации, $\alpha = a,b$ - индексы слоя в паре. Волновой вектор κ_m связан с частотой дисперсионным соотношение

$$\kappa^2_{m\alpha} = \frac{\omega^2}{c^2}\varepsilon_{m\alpha}\mu_{m\alpha} \tag{2}$$

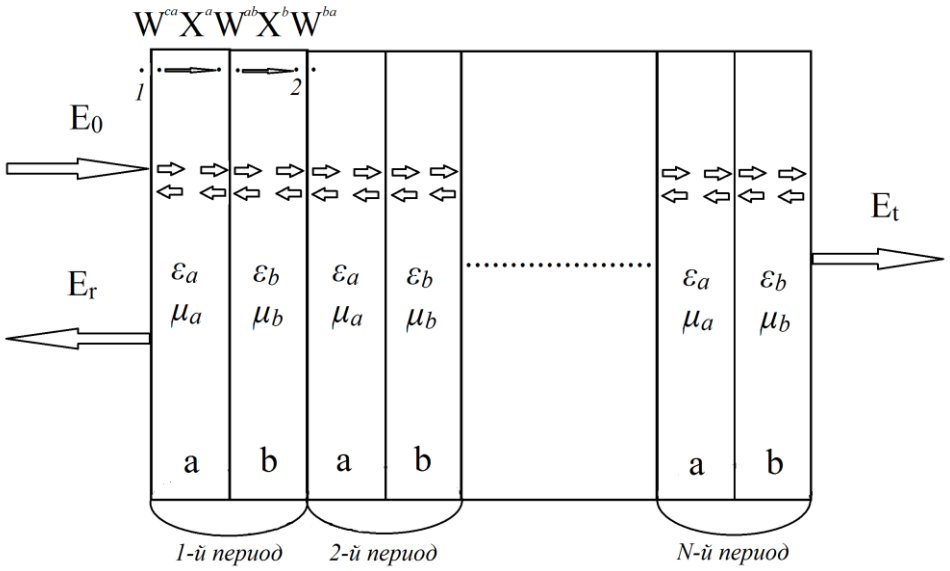


Рис. 1. Брэгговский отражатель

Поля прямой $e^{+}_{m}(x) = E^{+}_{m}e^{ik_m x}$ и обратной $e^{-}_{m}(x) = E^{-}_{m}e^{-ik_m x}$ волн на входе $(m=0)$ и выходе $(m=N)$ зеркала связаны посредством матрицы передачи $\hat{\mathrm{M}}_N$,

$$\begin{pmatrix} e^{+}_{N+1} \\ e^{-}_{N+1} \end{pmatrix} = \hat{\mathrm{M}}_N \begin{pmatrix} e^{+}_{0} \\ e^{-}_{0} \end{pmatrix} \tag{3}$$

Матрица $\hat{\mathrm{M}}_m$ в каждом слое можно представить в виде произведения интерфейсной матрицы $\hat{\mathrm{W}}$, связывающей поля на границе раздела, и матрицы переноса $\hat{\mathrm{X}}$, связывающей поля на левой и правой границах однородной области.

$$\begin{pmatrix} e_b^+ \\ e_b^- \end{pmatrix} = \hat{\mathrm{W}}^{ab} \begin{pmatrix} e_a^+ \\ e_a^- \end{pmatrix} \tag{4}$$

$$\hat{\mathrm{W}}^{ab} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \dfrac{\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}}{\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}} & 1 - \dfrac{\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}}{\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}} \\ 1 - \dfrac{\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}}{\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}} & 1 + \dfrac{\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}}{\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}} \end{pmatrix} \tag{5}$$

$$\begin{pmatrix} e_a^+(x_2) \\ e_a^-(x_2) \end{pmatrix} = X^a(x_2 - x_1) \begin{pmatrix} e_a^+(x_1) \\ e_a^-(x_1) \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$X^a(x_2 - x_1) = \begin{pmatrix} e^{i\kappa_a(x_2 - x_1)} & 0 \\ 0 & e^{-i\kappa_a(x_2 - x_1)} \end{pmatrix} \tag{7}$$

Передача полей в пределах одного периода из точки 1 в точку 2 осуществляется с помощью матрицы

$$\hat{\mathrm{M}}_1 = \hat{\mathrm{W}}^{(ba)} \cdot \hat{X}^{(b)}(b) \cdot \mathrm{W}^{(ab)} \cdot X^{(\mathrm{a})}(\mathrm{a}) =$$

$$= \begin{pmatrix} [\cos(\kappa_b b) + i\alpha_{ab}\sin(\kappa_b b)]e^{i\kappa_a a} & -i\beta_{ab}\sin(\kappa_b b)e^{-i\kappa_a a} \\ i\beta_{ab}\sin(\kappa_b b)e^{i\kappa_a a} & [\cos(\kappa_b b) - i\alpha_{ab}\sin(\kappa_b b)]e^{-i\kappa_a a} \end{pmatrix} \tag{8}$$

где $\alpha_{ab} = \dfrac{\varepsilon_a\mu_a + \varepsilon_b\mu_b}{2\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}}, \beta_{ab} = \dfrac{\varepsilon_a\mu_a - \varepsilon_b\mu_b}{2\sqrt{\varepsilon_a}\sqrt{\mu_a}\sqrt{\varepsilon_b}\sqrt{\mu_b}}.$

Матрица передачи через N идентичных ячеек есть N – я степень M_1, $\mathrm{M}_N = \mathrm{M}_1^N$.(9)

N – я степень матрицы 2×2 может быть выражена через полиномы Чебышева 2-го рода

$$U_N(z) = \frac{\sin\left[(N+1)\arccos z\right]}{\sqrt{1 - z^2}} \tag{10}$$

$$\mathrm{M}_N = \mathrm{M}_1^N = U_{N-1}(z)\mathrm{M}_1 - U_{N-2}(z)\cdot I \tag{11}$$

$$z = \frac{1}{2}Tr(\mathrm{M}_1) = \cos\kappa_b b \cdot \cos\kappa_a a - \alpha_{ba}\sin\kappa_b b \cdot \sin\kappa_a a \tag{12}$$

Полная матрица передачи должна учесть прохождение света через входную и выходную границы зеркала

$$\hat{\mathrm{M}} = \mathrm{W}^{ac} \cdot \mathrm{M}_N \cdot \mathrm{W}^{ca} = \begin{pmatrix} m_{11}\, m_{12} \\ m_{21}\, m_{22} \end{pmatrix} \tag{13}$$

$$m_{11} = U_{N-1}(z)\left[z + i\alpha_{ac}\xi - i\beta_{ac}\beta_{ab}\cos\kappa_a a \sin\kappa_b b\right] - U_{N-2}(z) \tag{14}$$

$$m_{12} = -U_{N-1}(z)\left[\beta_{ab}\sin\kappa_b b \cdot \left(\sin\kappa_a a + i\alpha_{ac}\cos\kappa_a a\right) - i\beta_{ac}\xi\right] \tag{15}$$

$$m_{21} = -U_{N-1}(z)\left[\beta_{ab}\sin\kappa_b b \cdot \left(\sin\kappa_a a - i\alpha_{ac}\cos\kappa_a a\right) + i\beta_{ac}\xi\right] \tag{16}$$

$$m_{22} = U_{N-1}(z)\left[z - i\alpha_{ac}\xi + i\beta_{ac}\beta_{ab}\cos\kappa_a a \sin\kappa_b b\right] - U_{N-2}(z) \tag{17}$$

$$\xi = \sin\kappa_a a \cos\kappa_b b + \alpha_{ba}\cos\kappa_a a \sin\kappa_b b \tag{18}$$

С помощью матрицы $\hat{\mathrm{M}}$ можно получить амплитудные коэффициенты отражения r^+ и пропускания t^+, если предположить, что слева направо падает волна с амплитудой E_0. Тогда справа будет только прошедшая волна $E_0 t^+$, а слева – еще и отраженная волна $E_0 r^+$.

$$\begin{pmatrix} E_0 t^+ \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11}\, m_{12} \\ m_{21}\, m_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_0 \\ E_0 r^+ \end{pmatrix} \tag{19}$$

или

$$E_0 t^+ = m_{11} E_0 + m_{12} E_0 r^+ \tag{20}$$

$$0 = m_{21} E_0 + m_{22} E_0 r^+ \tag{21}$$

Откуда $r^+ = -\dfrac{m_{21}}{m_{22}}$,

$$t^+ = m_{11} - m_{12}\frac{m_{21}}{m_{22}} = \frac{m_{11}m_{12} - m_{12}m_{21}}{m_{22}}. \tag{22}$$

Энергетические коэффициенты отражения R^+ и прохождения T^+ равны

$$R^+ = \left|r^+\right|^2 = \left|\frac{m_{21}}{m_{22}}\right|^2 \tag{23}$$

$$T^+ = \left|t^+\right|^2 = \left|\frac{1}{m_{22}}\right|^2 \tag{24}$$

Список литературы

[1]. *Veselago V.G.* The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ε and μ. – Sov. Phys. Usp., 1968 – vol. 10 – 509 p.

Мазаева Камила Алишеровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kamillacher2014@gmail.com

Головатый Юрий Павлович – канд. техн. наук, ст. преподаватель КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: yugolovatiy@mail.ru

В.И. Карпов, В.В. Андреев

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МИКРОСХЕМЫ ЧЕТЫРЕХКАНАЛЬНОГО АНАЛОГОВОГО КЛЮЧА СО СХЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

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

Аналоговые ключи предназначены для передачи сигналов с минимальными искажениями в открытом состоянии и отключения цепи источников сигнала от цепей потребления в закрытом состоянии. Для производства данных микросхем необходим отлаженный технологической процесс производства и устойчивая конструкция микросхемы.

Целью данной работы является создание математической модели микросхемы аналогового ключа для последующего моделирования. Для проведения исследования использовалась реальная микросхема четырехканального аналогового ключа со схемой управления.

Для анализа микросхемы использовался программный продукт National Instruments Multisim 11, позволяющий производить моделирование, тестирование, разработку и отладку электрических цепей.

Для моделирования была снята схема электрическая принципиальная интегральной микросхемы аналогового ключа. Так как интегральная микросхема представляет собой четырехканальный аналоговый ключ, каналы которого не зависят друг от друга, то достаточно будет промоделировать только один канал. Схема электрическая принципиальная представлена ниже:

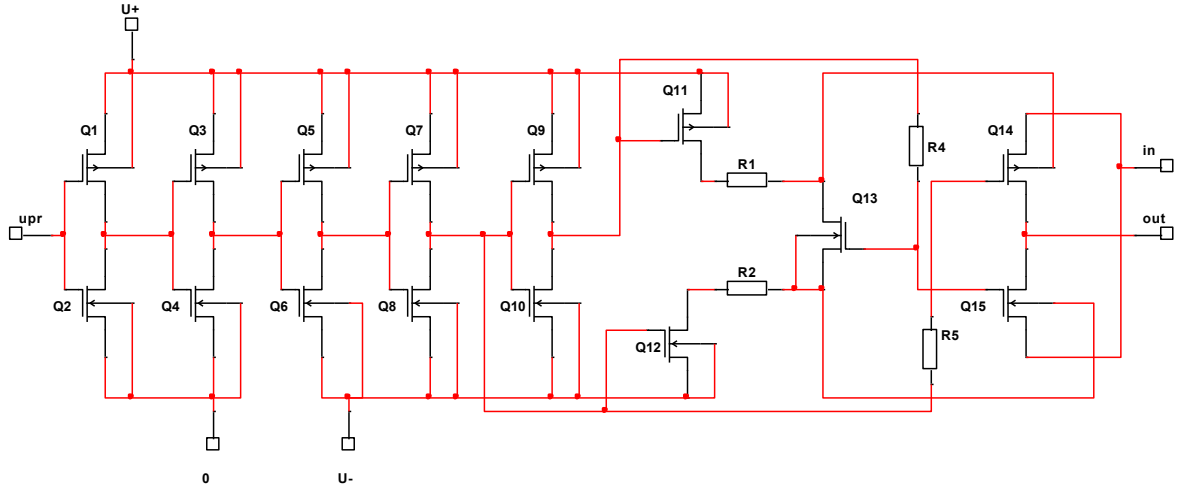


Рисунок 1 – Схема электрическая принципиальная одного канала четырехканального аналогового ключа со схемой управления

Для анализа схемы электрической принципиальной были созданы SPICE модели элементов, используемых в ИС, с параметрами расчетных элементов топологии. Также были использованы различные измерительные приборы и другие электрические компоненты из имеющихся библиотек.

Таблица 1 – Параметры транзисторов четырехканального аналогового ключа со схемой управления

Параметр SPICE модели	n-канальный транзистор	p-канальный транзистор
LEVEL	1	1
VTO	1.9	-1.3
KP	1.0e-5	0.32e-5
GAMMA	0.05	0.05
PHI	0.6	0.6
LAMBDA	0.01	0.01
RS	0.0	0.0
RD	0.0	0.0
CBD	1.0e-14	1.0e-14
CBS	1.0e-14	1.0e-14
IS	1.0e-14	1.0e-14
PB	0.8	0.8
CGSO	0.56e-9	0.56e-9
CGDO	0.56e-9	0.56e-9
CGBO	0.56e-9	0.56e-9
RSH	0.0	0.0
CJ	0.0	0.0
MJ	0.5	0.5
CJSW	0.0	0.0
MJSW	0.5	0.5
JS	0.0	0.0
TOX	120.0e-9	120.0e-9
NSS	0.0	0.0
TPG	1.0	1.0
LD	2.0e-6	2.0e-6
UO	600.0	200.0
KF	0.0	0.0
AF	1.0	1.0
FC	0.5	0.5
TNOM	27	27

Параметры TOX (толщина подзатворного диэлектрика), LD (величина боковой диффузии), UO (подвижность носителей заряда) задаются технологическими возможностями производства интегральной микросхемы. Параметры VTO (пороговое напряжение), KP (крутизна), CGSO (емкость затвор-исток), CGDO (емкость затвор-сток), CGBO (емкость затвор-подложка) измерялись с реальной интегральной микросхемы. Для получения численных значений параметра KP использовалась следующая схема измерения:

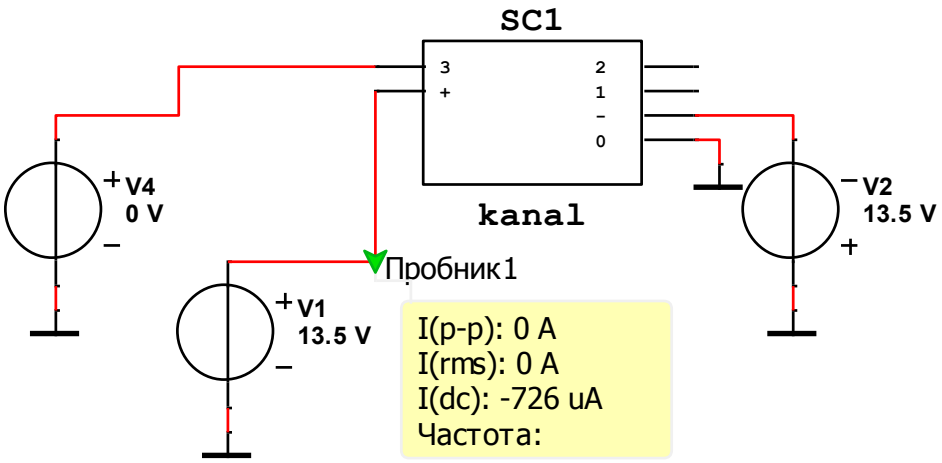


Рисунок 2 – Схема включения микросхемы для измерения тока потребления интегральной

Данное измерение проводилось на реальной микросхеме на двух уровнях питающего напряжения: ±13,5 В и ±16,5 В для получения более точного результата. Затем путем подбора параметров КР в модели получались значения, снятые с реальной микросхемы. Параметры CGSO, CGDO, CGBO измерялись по следующей схеме:

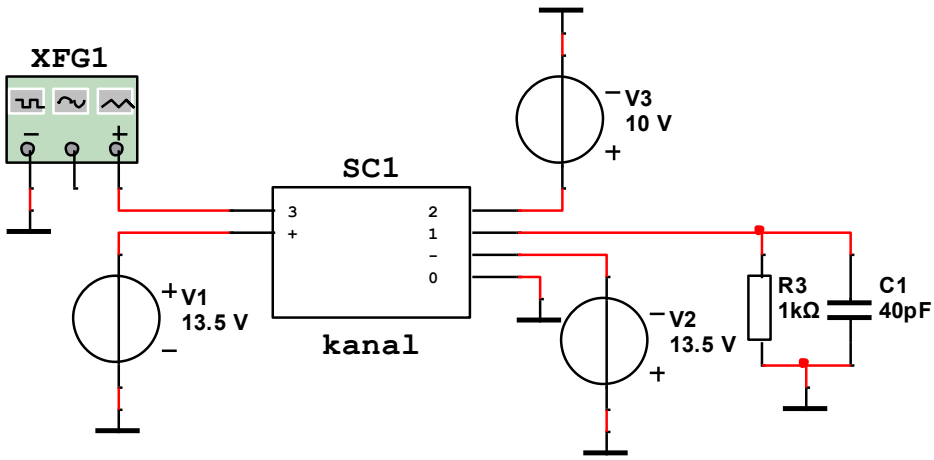


Рисунок 3 – Схема включения микросхемы для измерения времени включения

Для получения численных значений данных параметров проводился замер времени включения на реальной микросхеме с последующим получения данных результатов в математической модели путем подбора значений параметров CGSO, CGDO, CGBO.

Таким образом математическая модель, построенная на основании данных SPICE-параметров, является полностью адекватной и пригодной для дальнейшего моделирования интегральной микросхемы четырехканального аналогового ключа со схемой управления.

Список литературы

[1] Ануфриев Л.П., Бордусов С.В., Гурский Л.И. Технология интегральной электроники. Минск: «Интегралполиграф», 2009. – 397 с.: ил.

[2] Курносов А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М.: «Высшая школа», 1986. – 368 с.

[3] Пономарев М.Ф. «Конструкция и расчет микросхем и микроэлементов ЭВА» М: Радио и связь, 1982. – 288 с.

[4] Шахнов В.А. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. М.: МГТУ, 2009. – 526с.

Карпов Владислав Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: KapovVI95@yandex.ru

Андреев Владимир Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

А.О. Кузьмичева, С.А. Адарчин

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ В ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРАХ

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

Рассмотрены основные методы нахождения температурного коэффициента в толстопленочных резисторах. Описаны возможные зависимости сопротивления от температуры в толстопленочных резисторах на основе оксида рутения.

Введение. Толстопленочные элементы имеют множество требований по номиналу, например, высокую точность получения значений сопротивления, высокую температурную стабильность, хороший электрический контакт с элементами микросхем. Среди выше представленных требований важное место занимает термостабильность, которая описывается температурным коэффициентом сопротивления.

Целью работы был анализ методов нахождения температурного коэффициента, зависимостей сопротивления от температуры в толстопленочных резисторах.

Актуальность работы заключается в том, что температурный коэффициент сопротивления (ТКС) является одним из основных электрических параметров, характеризующих качество резисторов.

Температурный коэффициент сопротивления толстопленочных резисторов. В настоящее время существует два метода вычисления ТКС: фундаментальный и технологический, основанный на зависимости термостабильности от размера контактирующих частиц.

В основе фундаментального метода удельное сопротивление толстой пленки описывается выражением Маттисона:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 \qquad (1)$$

где ρ_1 - удельное сопротивление объема проводящих частиц, вносимое рассеянием носителей тока на колебаниях кристаллической решетки;

ρ_2 - удельное сопротивление, вносимое рассеянием носителей тока на дефектах кристаллической решетки проводящих частиц;

ρ_3 - удельное сопротивление границ раздела контактов между проводящими частицами [1].

В толстопленочных структурах необходимо учитывать проявление полупроводниковой проводимости, связанной с наличием окисла металлов. Основываясь на том, что сопротивление резисторов линейно зависит от температуры, температурный коэффициент сопротивления можно представить следующей формулой:

$$ТКС = \frac{\Delta R}{R_0 \square} \quad (2)$$

где ΔR - алгебраическая разность между сопротивлений при заданной температуре крайних точек рабочего диапазона температур и при нормальной температуре.

Чем больше удельное сопротивление, тем меньше его температурный коэффициент сопротивления. Это доказывает формула, которая является фундаментальным аспектом для регулирования ТКС [1]:

$$\alpha_\rho = \frac{1}{\rho_{спл}} \cdot \frac{d\rho_{спл}}{dT} = \frac{1}{\rho_{ост} + \rho_m} \frac{d\rho_m}{dT} \quad (3)$$

где $\rho_{ост}$ - добавочное сопротивление, связанное с рассеянием электронов на неоднородностях структуры металла;

ρ_m - сопротивление, обусловленное рассеянием электронов на тепловых колебаниях решетки.

В концентрированных твердых растворах добавочное сопротивление обычно на порядок и более превышает сопротивление, вызванное рассеянием электронов [2]. На этом основано получение термостабильных проводящих материалов. Такое изменение сопротивления и температурного коэффициента сопротивления от процентного содержания компонентов сплава объясняется тем, что при более сложных составе и структурах по сравнению с чистыми металлами сплавы нельзя рассматривать как классические металлы. Изменение их проводимости обуславливается не только изменением длины свободного пробега электронов, но и частичным возрастанием концентрации носителей заряда при повышении температуры. Сплав, у которого уменьшение длины свободного пробега с увеличением температуры компенсируется возрастанием концентрации носителей заряда, имеет нулевой температурный коэффициент сопротивления [3].

ТКС, рассчитанный таким образом, является единственным параметром, используемым для характеристики температурной стабильности резисторов.

Зависимость сопротивления от температуры в толстопленочных резисторах. Резистивные пасты приготавливаются на основе композиции палладий – серебро, так они обеспечивают номинальные сопротивления резисторов от 25 Ом до 1 мОм. В последнее время разработаны пасты, обладающие повышенной температурной и временной стабильностью. В их состав входят редкие металлы – рутений, иридий, платина**.**

Графики 1-5 иллюстрируют зависимости сопротивления от температуры в толстопленочных резисторах на основе оксида рутения.

Резисторы подвергались нагреву в различном диапазоне: первые четыре резистора от 25 до 100℃; резистор 5 от -60 до 80 ℃.

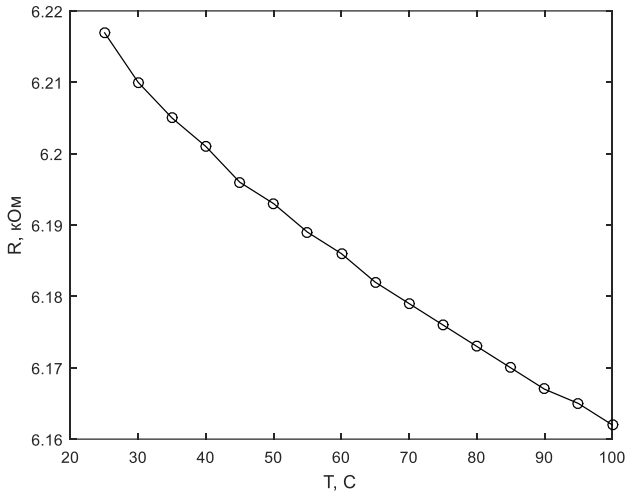


Рис.1. Зависимость сопротивления от температуры на резисторе 1

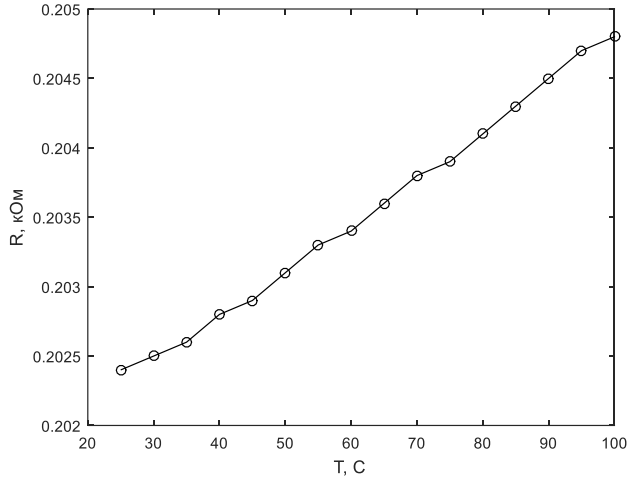


Рис.2. Зависимость сопротивления от температуры на резисторе 2

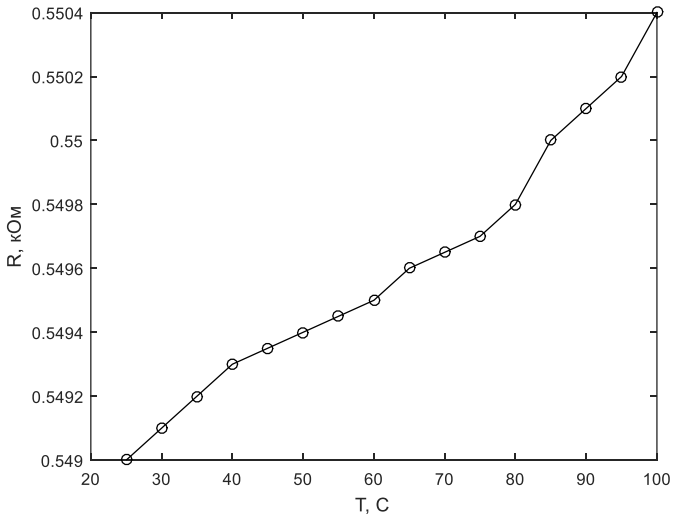


Рис.3. Зависимость сопротивления от температуры на резисторе 3

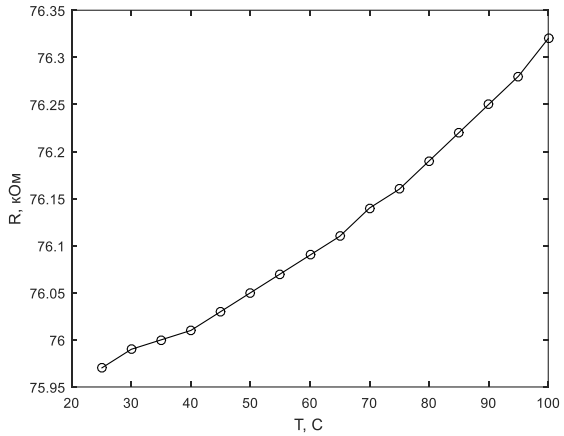


Рис.4. Зависимость сопротивления от температуры на резисторе 4

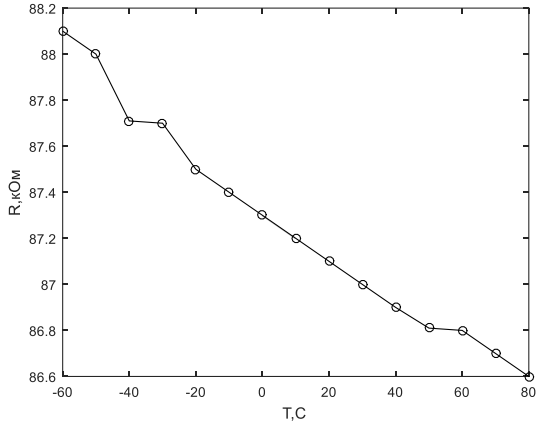


Рис.5. Зависимость сопротивления от температуры на резисторе 5

Вывод. Зависимость сопротивления от температуры для каждого резистора различна. Так на резисторах 1 и 5 с увеличением температуры сопротивление уменьшалось, в то время как на резисторах 2 - 4 с увеличением температуры сопротивление росло. Такое различие в графиках говорит о наличии различных примесях в пасте. Получить идеальную линейную зависимость сопротивления от температуры можно только путем подбора паст.

Список литературы

[1] Красов В.Г. Толстопленочная технология в СВЧ микроэлектронике. - М.: Радио и связь. – 1985. – 103 с.

[2] Билибин К.И. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. Учебник для вузов. М.: МГТУ им. Баумана, 2002. – 65 с.

[3] Материалы толстопленочных резисторов / [Электронный ресурс]. - http://auto-ally.ru/informatika/16755/index.html?page=5.

Кузьмичева Анастасия Олеговна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Anastasiya140296@yandex.ru

Адарчин Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: adarchin@rambler.ru

В.В. Шагаев, В.А. Караханян

УВЕЛИЧЕНИЕ МОДУЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ БЕСКОРПУСНОЙ МИКРОСХЕМЫ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩЕЙ СОБОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНУЮ ПАРУ ТРАНЗИСТОРОВ, НА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЕ

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

Введение. Основным параметром биполярного транзистора является коэффициент усиления по току - соотношение тока коллектора I_C к току базы I_B:

$$\beta = \frac{I_c}{I_b} \quad (1)$$

где β - величина постоянная для одного транзистора и зависит от физического строения прибора.

Вторым немаловажным параметром является входное сопротивление транзистора. Согласно закону Ома, оно представляет собой отношение напряжения между базой и эмиттером к управляющему току базы. Чем оно больше, тем меньше ток базы и тем выше коэффициент усиления [1].

Также транзисторы имеют частотную характеристику, которая характеризует способность транзистора усиливать сигнал, частота которого приближается к граничной частоте усиления. С увеличением частоты, способность транзистора усиливать сигнал постепенно падает. Причиной тому являются паразитные емкости, образовавшиеся в p-n-переходах. На изменения входного сигнала в базе транзистор реагирует не мгновенно, а с определенным замедлением, обусловленным затратой времени на наполнение зарядом этих емкостей. Поэтому, при очень высоких частотах, транзистор не успевает среагировать и полностью усилить сигнал [2].

Для улучшения частотных характеристик или повышения предельной частоты, рекомендуется:

- уменьшать время пролета носителей в области коллекторного перехода и инжектированных носителей в базовой области;
- создавать ускоряющее поле в базовой области для инжектированных из эмиттера носителей;
- уменьшать барьерные емкости эмиттерного и коллекторного переходов.

Целью работы являлось увеличение модуля коэффициента усиления интегральной бескорпусной микросхемы, на высокой частоте.

Схема представляет собой дифференциальную пару транзисторов и включает в себя два согласованных по характеристикам npn транзистора. Транзисторы максимально отделены друг от друга диэлектрической изоля-

цией и в схеме применения не требуют специального смещения для разделения. Наиболее типичное применение - во входных цепях операционных усилителей.

Для достижения поставленной цели, было необходимо решить следующие задачи:

- обеспечить снижение уровня носителей зарядов в базе, дифференциальной пары транзисторов, путем уменьшения степени ее легированности;
- произвести измерение модуля коэффициента усиления микросхемы на высокой частоте;
- провести анализ данных по полученным значениям.

Измерение модуля коэффициента усиления. Измерение значения модуля производилось на измерительном блоке Л2-68, при заданных постоянных значениях тока эмиттера и напряжения коллектора, соответственно 30мА и 50В. Измерение было произведено в нормальных условиях, на частоте 100 МГц [3]. Модуль коэффициента усиления равен полученному значению на дисплее измерителя, умноженному на 100 МГц. Для сравнительного анализа было взято 5 партий кристаллов. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры исследуемой интегральной микросхемы

№ партии	Сопротивление II база, Ом	МОП транзистор	n-p-n транзистор		Модуль
		U пороговое, В	U пробивное коллектор-эмиттер, В	КУ2	
1	230	27	25,6	350	4,9-5,06
2	240	28	26	360	4,2-4,3
3	250	29,9	22,7	500	5,6-5,68
4	260	23	36	72	2,53-2,67
5	296	29	26	150	3,01-3,08

По результатам испытаний микросхем на температурах -60°С и + 125°С было выделено три группы по требуемым нормам на коэффициент усиления по току npn транзистора (КУ) и значение модуля, при которых выход годных кристаллов составил более 96%:

Таблица 2. Основные группы разбраковки микросхем

Группа	КУ	Модуль
«А»	33÷81	2,5
«Б»	60÷160	3,5
«В»	>88	4,5

Согласно нормам из таблицы 2, пять партий кристаллов, взятых для анализа можно поделить по группам: 1,2,3 - «В», 4-«А», 5-«Б».

Вывод. В ходе проделанной работы были измерены значения модуля коэффициента усиления на высокой частоте. Из таблицы 1 видно, что модуль коэффициента усиления зависит от многих параметров схемы и основное влияние оказывает степень легированности базы и коэффициент усиления по току npn транзистора.

Список литературы

[1] Блихер А., *Физика силовых биполярных и полевых транзисторов*. - М.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1986. - 248 с.

[2] Чиркин Л.К., Шинков А.Д., Пасынков В.В., *Полупроводниковые приборы*. - М.: Высшая школа, 1981. - 430 с.

[3] Хофманн Д., *Техника измерений и обеспечение качества*. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 472 с.

[4] Ржевкин К.С., Физические принципы действия полупроводниковых приборов. - М.: Изд-во МГУ, 1977.

Шагаев Владимир Васильевич – д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры "Проектирование и технология производства электронных приборов" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: shagaev-vv@yandex.ru

Караханян Виолетта Андреевна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: vetka2930@gmail.com

СЕКЦИЯ 4.

ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ

Д.В. Шевелев, Н.А. Пальтов

АВТОНОМНАЯ СИСТЕМА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

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

Тригенерация - это новое поколение технологических решений в повышении коэффициента полезного действия работы энергетических установок за счет дополнительной опции утилизации тепла. Инновационные технологии тригенерации позволяют производить одновременно электрическую энергию, тепловую энергию и холод с общей эффективностью свыше 80%. Глубокая полезная утилизация «бросового» тепла выхлопных газов энергетических установок существенно снижает выбросы соединений углерода, что делает тригенерацию неотъемлемой частью “зеленых” технологий [1].

Тригенерационные установки нашли применение, в таких областях хозяйственной деятельности, которым необходим надежный источник электрической энергии, тепла и холода. К ним относятся: больницы и дома престарелых, школы и детские сады, офисы и конструкторские бюро, теплицы, склады и т.д. [2] В настоящее время, в большинстве случаев, электроснабжение централизованное: отопление от газовых или газомазутных котельных, а обеспечение холодом осуществляется с помощью целого спектра холодильных машин с, как правило, электрическим приводом. В этом случае, надежность функционирования этих систем, будет зависеть от высокой надежности местных электрических сетей, т.к. без электричества невозможна работа ни холодильных машин, ни котельной. [3]

Известны схемы тригенерационных установок на базе газотурбинных двигателей, которые используются для привода электрогенератора и тепло выхлопных газов которых используется в теплообменом аппарате, нагревая промежуточный теплоноситель (вода), который может использоваться для нужд отопления или для производства холода с помощью абсорбционной бромистолитиевой холодильной машины (АБХМ). Однако существенным недостатком ГТУ простого цикла, является зависимость ее параметров от температуры окружающей среды. Тригенерационная установка на базе ГТУ (микротурбина) с измененной очередностью процессов лишена этого недостатка и может использоваться в регионах, с более высокой температурой окружающей среды. [4],[5]

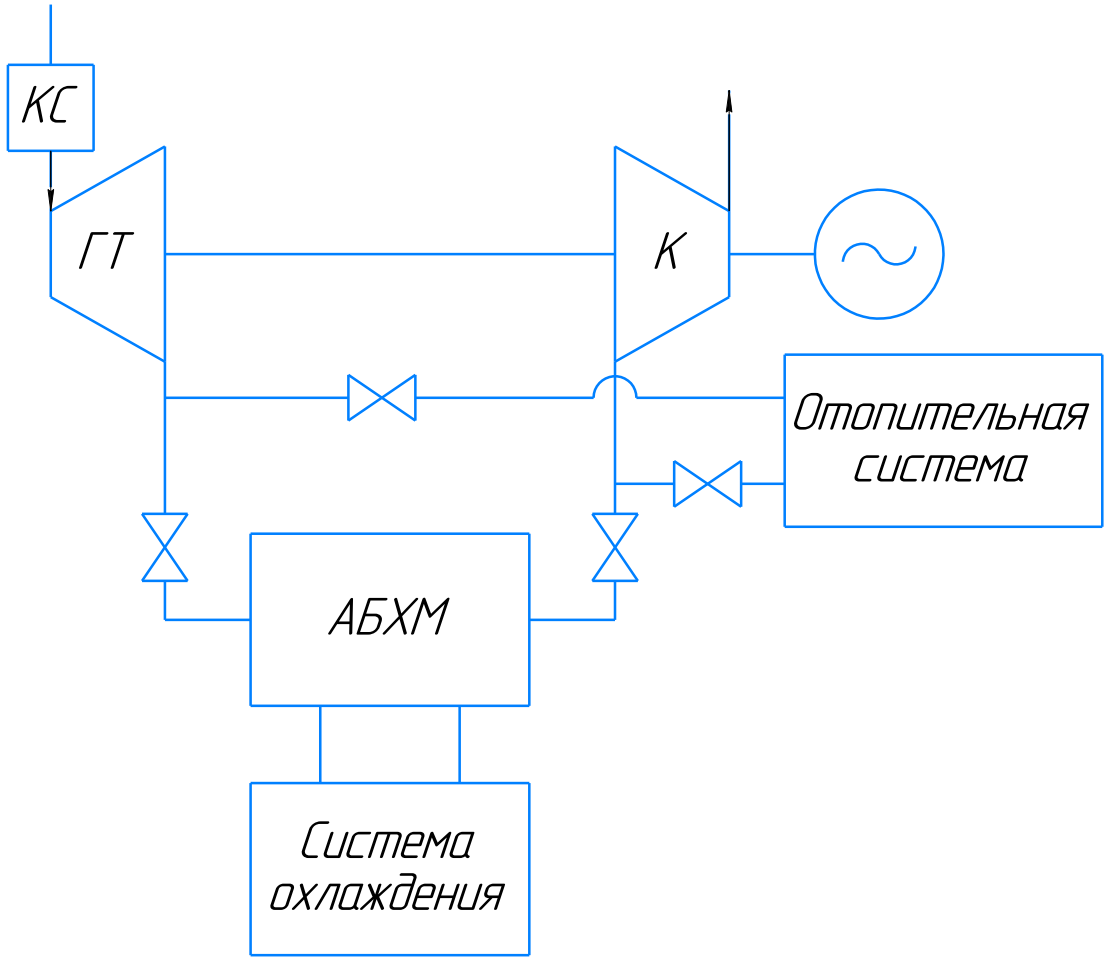


Рис.1 Схема тригенерационной установки на базе ГТД измененной очередности процесса

Предлагается схема тригенерационной установки состоящей из газотурбинного двигателя измененной очередности процесса (микротурбины), газоводяного теплообменного аппарата и абсорбционной бромистолитиевой машины (Рис. 1).

Список литературы

[1] Протасевич, А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.М. Протасевич. – Электрон. дан. – Минск: Новое знание, 2012. – 286 с. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/2938 (дата обращения: 04.10.18).

[2] Цанев С.В., Газотурбинные энергетические установки [Электронный ресурс]: учебное пособие / Цанев С.В., Буров В.Д., А.С. Земцов, А.С. Осыка. – Электрон. дан. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/72219 (дата обращения: 06.10.18).

[3] Громов Б.Н. Энергетическая эффективность тригенерации для зданий в мегаполисах [Электронный ресурс]: статья/ Б.Н. Громов, М.А. Сердюкова, А.Ю. Панфилов – Москва: «Энергоснабжение» АО «Газпром промгаз», 2016, – 5 с. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles/31/6364/6364.pdf (дата обращения: 09.10.18)

[4] Михальцев, В.Е. Расчет параметров цикла при проектировании газотурбинных двигателей и комбинированных установок. [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Е. Михальцев, В.Д. Моляков – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 58 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/52278 (дата обращения: 06.10.18).

[5] Обуховский, А.Д. Теория авиационных двигателей [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.Д. Обуховский, Ю.В. Телкова – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. – 138 с. Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/45039.html (дата обращения: 06.10.18).

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

Пальтов Николай Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: paltow6@gmail.com

А.Н. Маклачков, В.В. Коротков

ВИДЫ СКВАЖИННЫХ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ НЕФТИ

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

Нефтедобыча в России является одной из ведущих отраслей промышленности, поэтому создание высокоэффективного оборудования является неотъемлемой частью повышения производительности. В процессе добычи нефти часто используют скважинные погружные насосы.

Все виды погружных насосов для оснащения скважин имеют общие конструктивные особенности. Поскольку погружные (глубинные) насосы в процессе использования размещаются в толще перекачиваемой ими жидкой среды, их оснащают герметичным корпусом, защищающим электродвигатель от контакта с жидкостью.

Рассмотрим преимущества применения насосного оборудования погружного типа:

- Глубинные насосы, находясь в процессе своей эксплуатации в жидкости, создают минимальное количество шума и вибраций.
- Движущиеся элементы внутренней конструкции погружных насосов охлаждаются перекачиваемой жидкой средой, поэтому риск перегрева таких устройств, который может стать причиной их быстрого выхода из строя, отсутствует.
- Как промышленные модели, так и бытовые насосы погружного типа отличаются высокой производительностью. Такие устройства способны формировать поток, характеризующийся большим напором. Данное свойство погружных насосов позволяет использовать их для обслуживания скважин, жидкая среда в которых располагается на значительной глубине. [1]

Как у любых других технических устройств, есть у погружных насосов и недостатки:

- Такие гидромашины довольно трудно устанавливать в скважине. Степень сложности монтажа определяется целым рядом параметров, наиболее значимыми из которых являются глубина скважины, в которой планируется установка такого оборудования, а также конструктивные особенности самого насосного устройства.
- Для того чтобы выполнить техническое обслуживание или ремонт погружного насоса, его следует извлечь из подземного источника, что также связано с определенными сложностями. В тех случаях, когда погружной насос для скважины располагается в ней на слишком значительной глубине, для его извлечения потребуется несколько человек, обладающих соответствующими навыками.

– Приводной электродвигатель погружного насоса смонтирован в корпусе самого устройства, располагаемого в скважине на определенной глубине, поэтому для функционирования гидромашины потребуется прокладка надежно защищенной кабельной линии, длина которой будет зависеть от глубины обслуживаемого подземного источника.

В зависимости от устройства и принципа действия существует 2 вида погружных насосов, которые наиболее часто применяются в скважинах: винтовой, центробежный.

Погружные насосы винтового типа используются нечасто. Основным назначением таких устройств является перекачивание вязких жидкостей или жидких сред, характеризующихся сильной степенью загрязнения. Главным конструктивным узлом винтовых гидромашин является винт или шнек, который, вращаясь на приводном валу, перемещает перекачиваемую жидкую среду от входного патрубка к напорному. Для того чтобы обеспечить плотное прилегание шнека к внутренним стенкам устройства, в качестве материала их покрытия используют твердую резину. [2]

Среди достоинств винтовых погружных насосов следует отметить их способность поднимать жидкую среду со значительной глубины (порядка 50 метров), а среди недостатков – наличие в их конструкции большого количества точек трения, что способствует интенсивному износу оборудования. Винтовые насосы из-за указанного недостатка нуждаются в более частом техническом обслуживании и ремонте, чем насосные устройства любого другого типа.

Основным рабочим узлом конструкции центробежных погружных насосов является колесо, на внешней поверхности которого зафиксированы лопатки, перемещающие перекачиваемую жидкую среду по внутренней камере устройства с большой скоростью. При этом на жидкость воздействует центробежная сила, выталкивающая ее через напорный патрубок.

Характеристики погружных центробежных насосов для скважин (в частности, создаваемый такими устройствами напор потока жидкой среды и производительность) можно значительно улучшить, если оснастить такое оборудование несколькими рабочими колесами, располагаемыми последовательно на одном валу. В этом случае напор, создаваемый насосным оборудованием, составляет сумму напоров, формируемых каждым рабочим колесом.

Центробежные насосы, относящиеся к наиболее популярным устройствам среди всего применяемого сегодня для скважин погружного насосного оборудования, представлены на современном рынке большим разнообразием моделей, что позволяет подбирать их для различных целей. У центробежных погружных насосов для скважин технические характеристики позволяют создавать поток жидкой среды с высоким напором, а также отка-

чивать жидкость из подземных источников большой глубины и транспортировать ее по горизонтальному участку трубопровода на значительные расстояния. Кроме того, рассматриваемые насосы практически не шумят и не создают в перекачиваемой жидкой среде вибрационных волн. К недостаткам центробежных погружных насосов для скважин следует отнести: достаточно высокая стоимость; сложность выполнения монтажных работ. [3]

Из перечисленных видов скважинных погружных насосов наиболее подходящей является конструкция центробежного типа. Несмотря на высокую себестоимость, данные насосы превосходят по своей эффективности винтовые агрегаты.

Список литературы

[1] Алиев Б.М. Машины и механизмы для добычи нефти: – М.: Недра, 1999. – 232 с.

[2] Мищенко Р.И. Нефтепромысловые машины и механизмы: – М.: Гостехиздание, 1984. – 254 с.

[3] Раабен А.А. Ремонт и монтаж нефтепромыслового оборудования: – М.: Недра, 1987. – 180 с.

Маклачков Андрей Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: maklachckov.andrei@yandex.ru

Коротков Виталий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

А.А. Жинов, П.М. Сидоров

ВЛИЯНИЕ ЗАКРУТКИ ПОТОКА НА ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В ВЫХЛОПНОМ ТРАКТЕ ГТУ

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

Газотурбинные установки, работающие в энергоустановках с регенерацией тепла, имеют, как правило, выхлопной тракт сложной конфигурации для подвода отработавших в турбине газов к утилизирующему теплообменнику (регенератору, рекуператору, котел-утилизатору и т.п. [1]).

Часто выхлопной тракт таких установок выполняют с поворотом потока на 90°. Эффективность работы выхлопного тракта во многом определяет эффективность работы всей установки в целом. В диффузионной части выхлопного тракта должно эффективно восстанавливаться полное давление газов, формироваться максимально равномерное поле скоростей на выходе, отсутствовать условия для формирования обширных нестационарных отрывных зон. Выполнить все эти условия при проектировании ГТУ чрезвычайно сложно, особенно при условии габаритных ограничений. Эффективность работы выхлопного тракта зависит и от условий на его входе, то есть от конструкции и режимов работы турбины.

В данной работе исследуется влияние закрутки газового потока на входе в патрубок с осерадиальным поворотом (рис. 1), входящим в выхлопной тракт энергетической ГТУ мощностью 200 кВт, и предназначенный для отвода отработавших в турбине газов в регенеративный подогреватель воздуха.

Снижение потерь давления в данном патрубке является важной задачей, так как высокое гидравлическое сопротивление патрубка в сумме с сопротивлением теплообменника приведет к существенному падению теплоперепада на турбину и, как следствие, значительному снижению эффективной мощности ГТУ [2].

Пространственное моделирование течения в выхлопном тракте ГТУ выполнялось при помощи ПО CFD ANSYS в пакете Fluid Flow (CFX). Была создана 3D-модель выхлопного тракта, сгенерирована расчетная сетка, состоящая из 3,8 млн. элементов, и заданы граничные условия «вход», «выход» и «стенка».

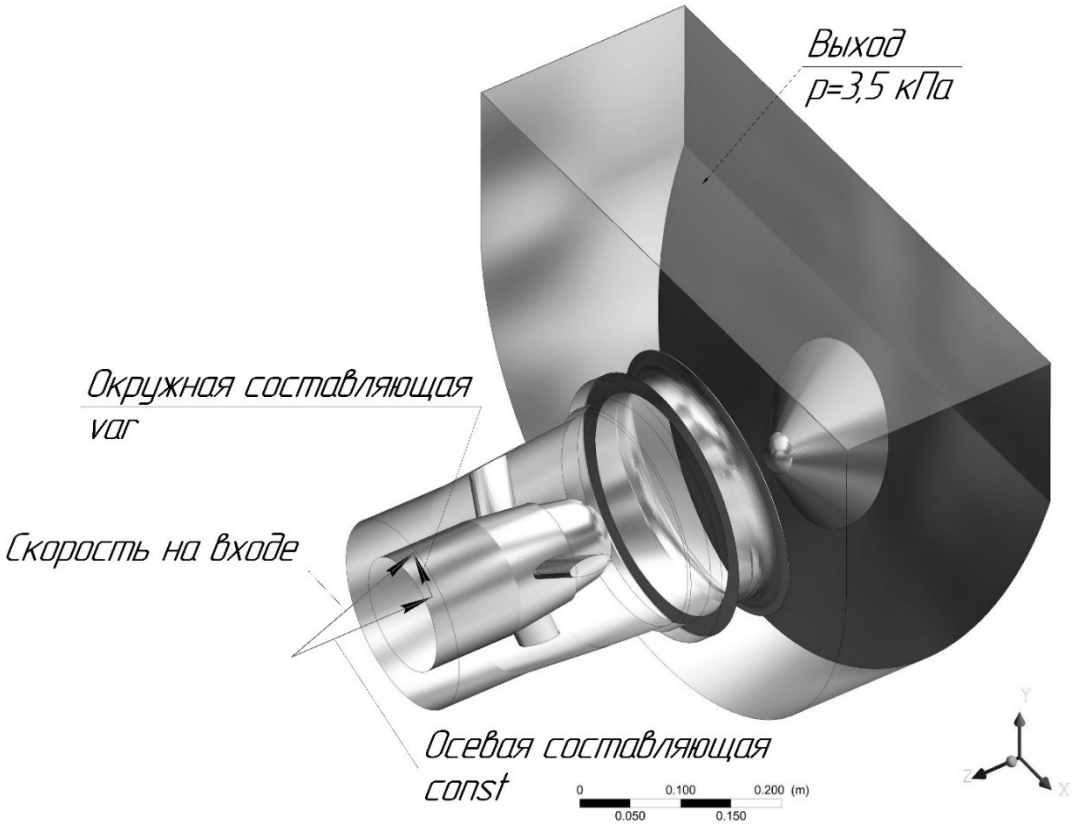


Рисунок 1 – Модель выхлопного патрубка ГТУ

На входе была задана температура за турбиной $T_3 = 756,4$К и скорость газа. Скорость задавалась через осевую и окружную составляющие. Величина осевой составляющей при моделировании была постоянной и соответствовала расходу G = 1,968 кг/с через площадь поперечного сечения на входе и равнялась 202,6 м/с. Величина окружной составляющей задавалась различной, с целью обеспечения заданных углов закрутки потока. Углы закрутки потока были выбраны в интервале от -15° до +15°. На выходе было задано избыточное статическое давление 3,5 кПа, соответствующее гидравлическому сопротивлению теплообменника, устанавливаемого за патрубком.

В результате серии численных экспериментов была получена зависимость степени восстановления полного давления в выхлопном патрубке от угла закрутки потока на входе. График полученной зависимости представлен на рисунке 2.

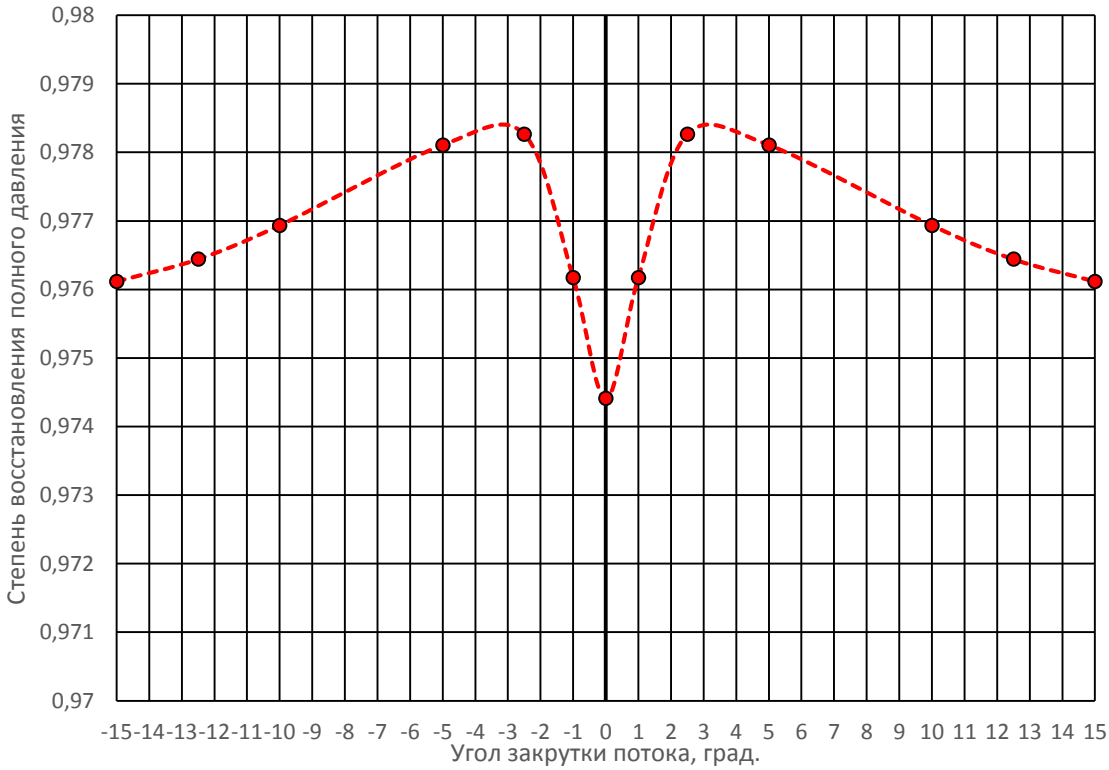


Рисунок 2 – Зависимость степени восстановления полного давления от угла закрутки потока на входе

Из данного график видно, что при увеличении угла закрутки потока от 0° до ±3° потери полного давления снижаются, при угле около ±3° потери минимальны. Полученный результат может быть объяснен уменьшением вихревых зон в области поворота потока при его небольшой закрутке. При дальнейшем увеличении угла закрутки потока потери начинают увеличиваться, но даже при угле ±15° остаются ниже чем при чисто осевом входе потока в выхлопной патрубок. Однако следует помнить, что при значительном увеличении угла закрутки потока на выходе из турбины увеличиваются потери энергии с выходной скоростью, это приводит к снижению КПД турбины и ГТУ в целом [3].

В результате проведенного исследования можно сделать вывод, что профилирование последней ступени турбины ГТУ, работающей на выхлопной тракт с поворотом потока на 90°, с обеспечением небольшого угла закрутки потока за турбиной (2°… 4°) дает положительный эффект, заключающийся в увеличении мощности ГТУ в следствии увеличения теплоперепада на турбину, благодаря снижению потерь давления в выхлопном патрубке, при незначительном снижении КПД из-за увеличения потерь энергии с выходной скоростью при закрутке потока.

Список литературы

[1] *М.Ю. Бродов* Теплообменники энергетических установок. Екатеринбург, «Сократ», 2003.

[2] *В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин* Техническая термодинамика. Москва, «Энергоатомиздат», 1983.

[3] *Б.М. Аронов, М.И. Жуковский, В.А. Журавлев* Профилирование лопаток авиационных газовых турбин. Москва, «Машиностроение», 1975.

Жинов Андрей Александрович – канд. техн. наук, зав. кафедрой "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: jinov@mail.ru

Сидоров Петр Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SidorowPM@yandex.ru

А.А. Жинов, С.А. Иванов

ВЛИЯНИЕ ЭРОЗИОННОГО ИЗНОСА РАБОЧИХ ЛОПАТОК НА СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ ДИСКОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН

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

Создание новых эффективных проточных частей паровых турбин предусматривает одновременно и обеспечение их высокой эксплуатационной надежности. Вместе с тем обеспечить высокие показатели эффективности и надежности последних ступеней ЧНД в реальных условиях эксплуатации без правильного учета фактора эрозионной опасности невозможно [1, 2]. Очевидно, что проблема повышения надежности последних ступеней должна решаться в совокупности с проблемой достаточно точного прогнозирования характеристик эрозионного износа рабочих лопаток на весь жизненный цикл паротурбинной установки. При этом понятие надежности турбинной ступени рассматривается как совокупность основных эксплуатационных требований, предъявляемых к конструктивным элементам проточной части, выполнение которых позволяет обеспечить устойчивое функционирование последних ступеней в течение всего жизненного цикла паротурбинной установки с гарантированным качеством, то есть с высоким КПД, при жестких ограничениях на ее эрозионные и вибрационные характеристики. Однако, при работе ЦНД в области влажного пара страдает не только лопаточный аппарат, но и диски. В практике известны серьезные аварии из-за абразивного, эрозионного износа и коррозионного растрескивания под напряжением, коррозионного усталостного растрескивания в разгрузочных отверстиях дисков роторов и в ступицах диска [1].

Как известно, эрозионный износ частей ротора, в частности рабочих лопаток, облегчает конструкцию, что влечет за собой изменение в собственных частотах как самих лопаток, так и ротора в целом, имеет место разбалансировка ротора вследствие неравномерности процесса эрозии.

Для анализа собственных частот роторов используются метод конечных элементов (МКЭ). Наиболее универсальным инструментарием для частотного анализа на данный момент обладает программная система конечно-элементного анализа – ANSYS(Modal). Модальный анализ определяет вибрационные характеристики (собственные частоты и формы моды) структуры или компонента машины. Он также может служить отправной точкой для другого, более подробного динамического анализа, такого как переходный динамический анализ, гармонический анализ или анализ спектра. Собственные частоты и формы колебаний являются важными параметрами при проектировании конструкций для условий динамической нагрузки [4].

Так как геометрические размеры расчетных областей ротора или его характерных участков достаточно велики, появляются ошибки в построении

сетки в областях стыка больших и сравнительно небольших граней, а так же очень сильно увеличиваются требования к вычислительной мощности компьютера. При этом, как правило, требуется максимальное упрощение модели. Одним из таких упрощений является создание конечно-элементной модели с помощью задания цикличного региона. Подобная манипуляция отлично работает с круговыми симметричными деталями, в результате чего для расчета требуется только сегмент, но расчет турбинных дисков с разгрузочными отверстиями ограничивает применение данной возможности. Так как число лопаток на диске может быть любым, то угол сегмента диска, содержащего одно разгрузочное отверстие, может включать в себя нецелое число лопаток. Учитывая это, при создании расчетной модели, необходимо соблюдение целого числа рабочих лопаток на сегмент диска с разгрузочным отверстием [5, 6].

Моделирование показало, что влияние эрозионного износа рабочих лопаток на собственные частоты диска можно характеризовать как незначительные. Только сильный износ самых длинных лопаток способен заметно повлиять на собственные частоты диска: в среднем при изменении массы лопатки на 1% повышается частота собственных колебаний диска на 5 Гц. Также, эрозионный износ, как правило, уменьшает напряжения в хвостовике и корневых сечениях лопатки. Проведенное исследование показывает снижение напряженного состояния по Вон-Мизесу в среднем на 20% при уменьшении массы лопатки на 5% Подобные изменения единственные, которые можно отнести к положительным эффектам от эрозии лопаток [5].

Эффект оказываемый на собственные частоты дисков разгрузочными отверстиями, их количеством и диаметром тоже можно отнести к незначительным. Как правило, отверстий нечетное число, наиболее распространенный вариант: это 5 или 7 отверстий диаметром 30-50 мм. Наиболее устойчивым к эрозионному и коррозионному износу является цельнокованый ротор. Диски в таком роторе гораздо менее восприимчивы к изменениям, связанным с эрозионным износом лопаточного аппарата и к числу и диаметру разгрузочных отверстий, а также не имеют проблемных стыков с ротором.

Менее устойчивым к коррозионному воздействию оказывается ротор с насадными дисками. Так же насадные диски, как правило, устанавливают с автофретированием, что приводит к пластической деформации диска и появлении остаточных сжимающих напряжений, которые частично компенсируют растягивающие напряжения от центробежных сил при работе.

Как показало численное моделирование циклического нагружения дисков, диск без автофретирования и без разгрузочных отверстий имеет более низкие собственные частоты колебаний. Но, например, для диска 18 ступени ЧНД турбины Т-60/6 производства КТЗ на рабочем режиме лучше всего показывает себя диск с автофретированием и 5 разгрузочными отверстиями диаметром 30 мм, при этом собственная частота по первой форме колебаний составляет 583Гц.

Таким образом, при проектировании последних ступеней влажнопаровых турбин необходимо учитывать возможность изменения критических частот их лопаток и дисков из-за возможного эрозионного износа при эксплуатации.

Список литературы

[1] Смирнов А.Н., Быкова Н.В., Абаков Н.В., Фенстер Б.Р. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин-Технология машиностроения 2011

[2] Жирицкий Г.С. Конструкция и расчет на прочность деталей паровых турбин -М Госэнергоиздат 1960

[3] Воробьев Ю.С. Чугай М.А. Романенко В.Н. Особенности колебаний лопаток турбомашин с повреждениями.

[4] Иванов С.А., Жинов А.А. Влияние эрозионного износа лопаток на характеристики ступеней паровых турбин

[4] Giacomelli F., Mazzelli F., Milazzo A. CFD modeling of condensation inside a cascade of steam turbine blades. Elsevier2017

[5] Azevedo C.R.F., Sinatora A. Erosion-fatigue of steam turbine blades Elsevier2009

Жинов Андрей Александрович – канд. техн. наук, зав. кафедрой "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: jinov@mail.ru

Иванов Сергей Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Sergio.kotildo@yandex.ru

А.К. Карышев, М.А. Малинкина

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО СОПЛОВОГО АППАРАТА СИЛОВОЙ ТУРБИНЫ ДЛЯ ПРИВОДНЫХ ГТУ

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

В статье обосновывается использование регулируемого соплового аппарата силовых турбин приводных ГТУ.

В связи с широким распространением газотурбинных двигателей средней мощности со свободной силовой турбиной в автономных энергетических, теплофикационных, парогазовых и газотранспортных установках целесообразно уделить внимание оценке эффективности применения регулируемой СТ и определению диапазонов такого регулирования на наиболее характерных режимах работы газотурбинных двигателей и установок для тепловой энергетики и газотранспортных систем. В отечественной научно-технической литературе имеются упоминания о возможном использовании регулируемых сопловых лопаток в части силовой турбины, как дополнительного регулирующего органа, наряду с топливным клапаном и регулируемым направляющим аппаратом компрессора, для наиболее эффективного управления установкой. Однако анализ большого числа работ по газотурбинным установкам наземного применения показал, что глубоких исследований регулируемых СТ практически не проводилось [3].

Первые силовые турбины газоперекачивающих агрегатов были преимущественно одноступенчатыми, затем по мере распространения ГТУ и ГТД с повышенной степенью сжатия число ступеней в СТ увеличилось вначале до двух, а в некоторых двигателях до трех и даже четырех.

Как известно, производители газотурбинного привода выполняют поставку ГТУ определенной расчетной мощности для районов с различными климатическими условиями (температура, давление, влажность наружного воздуха), так что ГТУ привод в основном, оказывается в эксплуатации в нерасчетном режиме. Кроме того, сезонные колебания потребления газа обуславливают работу ГПА на частичных нагрузках, что так же снижает КПД привода. Уменьшение влияния нагрузки на КПД может быть достигнуто применением двухконтурной системы регулирования, позволяющей выбирать оптимальную программу регулирования при изменении режима работы. При таком подходе теоретически становится возможной реализация режимов в любой точке на характеристике компрессора.

Большинство двигателей, установленных на компрессорных станциях чаще всего регулируют по законам: $t_г=const$, или $t_т=const$ в жаркое время года и $n_н=const$ – в холодное время года [4]. Применение первого закона основывается на том, что летом располагаемой мощности ГТУ обычно не хва-

тает для обеспечения заданной производительности газопровода из-за повышенной температуры воздуха и транспортируемого газа и вследствие снижения КПД компрессора и турбины при увеличении радиальных зазоров. Второй закон регулирования, обеспечивающий несение заданной нагрузки используют, когда имеется необходимый запас по мощности ГТУ. При очень низких температурах воздуха газотурбинные установки с хорошим состоянием проточной части несут нагрузку с заметным запасом по температуре газа, значительную часть которого, без ущерба для ресурса, можно использовать для повышения экономичности [2].

Добавление второго регулирующего фактора (совместно с регулированием подачи топлива в камеру сгорания), позволяет контролировать сразу два параметра, иными словами, осуществлять законы регулирования $n_н$=*const* и $t_т$=*const* одновременно.

Наиболее эффективным вторым регулирующим фактором, в соответствии с теорией газовых турбин является регулируемый сопловой аппарат силовой турбины [5]. В случае его применения появляется возможность работать при параметрах, охватывающих все поле характеристики компрессора. Соответственно, заданную нагрузку можно нести при наиболее выгодной температуре газа и при соответствующих значениях основных параметров. Изменение площади проходного сечения соплового аппарата силовой турбины позволяет избежать помпажа компрессора при малых нагрузках и облегчить запуск установки. Регулирование проходного сечения соплового аппарата может быть осуществлено, например, путем применения поворотных лопаток.

В приводных установках для перекачки газа в качестве регулирующего фактора может примениться регулируемый сопловой аппарат силовой турбины. Нагнетателей с изменяемой геометрией на сегодняшний день не создано и поэтому повышение эффективности газоперекачивающего агрегата достигается сменой рабочих колес нагнетателя. В зимний период устанавливается колесо с большей пропускной способностью на расчетном режиме, так называемое «зимнее» колесо, а в летний – «летнее» колесо.

На данный момент разработано несколько вариантов конструктивного исполнения регулируемого соплового аппарата для силовой турбины ГТУ. Но не так много конструкций отработано на изготовленных двигателях.

Одной из причин отсутствия регулируемого соплового аппарата (РСА) в СТ энергетических и газотранспортных ГТД является мнение о повышенной сложности механизма поворота от сервопривода к поворотным лопаткам и ненадежной работы таких лопаток. Вместе с тем имеется обширный положительный опыт применения РСА при температуре газа перед СТ выше 650°С при высокой надежности и эффективности регулируемой ступени в приводных ГТУ конструкции фирм «Дженерал Электрик» и «Нуово Пиньоне». В силовых турбинах конструкции этих фирм имеется регулируемый сопловой аппарат, который используется для регулирования двигателя

– он поддерживает постоянным частоту вращения компрессорного вала, обеспечивая тем самым более высокую мощность в летнее время и при снижении КПД турбомашин вследствие эксплуатационных воздействий [1].

Другой причиной отказа от применения РСА в силовых турбинах ГТД является мнение о пониженной эффективности регулируемых ступеней осевых турбин вследствие вызывающих дополнительные потери углов атаки рабочих лопаток, изменения осевых межвенцовых и радиальных зазоров в РСА. Однако практика эксплуатации таких ступеней в ГПА на компрессорных станциях газопроводов (MS5002, PGT-10) не подтверждает этого. Также к недостаткам можно отнести сложность конструкции и дороговизну такой установки.

При надлежащем выборе геометрических и газодинамических параметров регулируемых ступеней и соответствующей конструкции (со сферическими меридиональными обводами и подпружиненными сопловыми лопатками для ликвидации радиальных зазоров) они обеспечивают высокую эффективность, что подтверждается многочисленными их испытаниями и расчетными исследованиями.

Более глубокое ознакомление с параметрами турбинных ступеней средней веерности, а именно из них выполняются силовые турбины, выявило большие резервы в повышении эффективности таких ступеней.

Система автоматического управления ГТУ с РСА СТ и регулируемым компрессором должна быть приспособлена для поддержания трех параметров: заданной мощности, температуры газа за турбиной и, например, оборотов компрессора или в трехвальном ГТД – ограничение давления воздуха за КВД (для сохранения осевого усилия) [6].

При полном сбросе нагрузки в энергетической ГТУ резкое открытие РСА снижает заброс оборотов силового вала приблизительно в два раза.

Известны и другие преимущества, предоставляемые использованием РСА силовой турбины в ГТУ и ГТД средней мощности. Это возможность увеличения отпуска теплоты высокого потенциала в холодное время года, снижение мощности пускового двигателя при запуске ГТУ и т.д.

Создание турбин с регулируемыми сопловыми лопатками является технически значительно более сложной задачей, чем применение поворотных направляющий аппаратов в компрессоре, так как требует разработки поворотных узлов и торцевых уплотнений, надежно работающих при высоких температурах газового потока. Регулирование поворотом лопаток РСА позволяет более эффективно эксплуатировать газотурбинный привод на частичных нагрузках и способствует его лучшей приспособляемости к переменным атмосферным условиям и повышению маневренности [4].

Поворот лопаток сопловых аппаратов турбин может производиться с целью: регулирования расхода газа через турбину; изменения в желаемом направлении формы треугольников скоростей; перераспределения работы между ступенями турбины.

Исходя из того, что в настоящее время в основном применяются двух- и трехступенчатые силовые турбины, считается целесообразным использование РСА именно в первой ступени ССТ. Преимуществами такого выбора можно назвать:

- • изменение расхода рабочего тела не требует значительного изменения угла установки сопловых лопаток и, следовательно, приводит к небольшому падению КПД ступени и турбины;
- • поворот лопаток РСА первой ступени не вызывает изменение степеней понижения давления в последующих ступенях;
- более активное влияние поворота сопловых лопаток первой ступени на характеристики турбины газогенератора и возможность изменения (поддержания) ее параметров.

Ввиду всех вышеперечисленных преимуществ выбранная тема является актуальной и перспективной.

Список литературы

[1] Автоматизация газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом / [К. А. Тельнов, А. А. Файнштейн, С. З. Шабашов и др.; Науч. ред. К. А. Тельнов]. - Л.: Недра : Ленингр. отд-ние, 1983. - 280 с.

[2] Варивода О.А., Васин О.Е., Ревзин Б.С. Экономический эффект от оптимизации программы регулирования в приводных ГТУ. Газотурбинные технологии, 2001, №4, с. 32-33.

[3] Комаров О.В. Исследования и одномерная оптимизация проточной части свободных силовых турбин с регулируемой первой ступенью приводных ГТУ и ГТД. Дис. … к.т.н. Екатеринбург, 2005, – 141 с.

[4] Котляр, И.В. Частичные и переходные режимы работы судовых газотурбинных установок [Текст]. - Ленинград: Судостроение, 1966. - 290 с.

[5] Холщевников К.В., Емин О.Н., Митрохин В.Т. Теория и расчет авиационных лопаточных машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1986. 432 с.

[6] Федотов А.С. Совершенствование проточной части турбинной ступени с регулируемым сопловым аппаратом: диссертация ... кандидата технических наук: 05.04.01 Харьков, 1984 119 с.: 61 85-5/3003.

Карышев Анатолий Константинович – канд. техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k1kf@bmstu-kaluga.ru

Малинкина Мария Александровна – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: mariamalinkinaa@yandex.ru

О.Г. Шитохина, Н.А. Ананьев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ГЛУХИХ ОТВЕРСТИЙ В КОНИЧЕСКОМ РОТОРЕ ВИХРЕВОГО НАСОСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

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

В настоящее время вихревые насосы находят все большее применение в промышленности благодаря таким преимуществам, как способность создавать больший напор по сравнению с центробежным, а также способность самовсасывания. По сравнению с центробежными насосами вихревые способны создавать давление в 3-7 раз больше [1]. При этом конструкция вихревых насосов проще, что уменьшает его стоимость. Существенным минусом данных насосов является низкий КПД, не более 45% в рабочем режиме [2]. Для создания вихревых насосов с улучшенными показателями необходимо рассмотреть картину течения жидкости и исследовать влияние геометрических параметров проточной части насоса на его характеристики.

Целью данной работы является исследование обтекания конического ротора с глухими отверстиями, одного из основных элементов конструкции вихревого насоса, с помощью вычислительных методов моделирования гидродинамических процессов, использующих пакет программ конечно-элементного анализа на основе уравнений Навье-Стокса.

Ранее было установлено, что существенное влияние на характеристики потока жидкости оказывает количество глухих отверстий на поверхности ротора [3]. В данной работе проведено исследование влияния глубины отверстий в роторе на параметры потока жидкости. В программном комплексе САПР SolidWorks были построены модели расчетного объема для конического ротора с различным соотношением глубины глухого отверстия к его диаметру, а затем выполнено моделирование в программном комплексе FlowVision.

Расчеты проводились для трех моделей конических роторов, отличающиеся соотношением глубины глухого отверстия к его диаметру: 0,5; 1,0; 1,5. Количество отверстий во всех трех моделях одинаково. Во входной патрубок подается несжимаемая жидкость – вода, давление на входе – атмосферное (рис. 1). Скорость потока жидкости на входе 5 м/с. Частота вращения ротора составляет 1500 об/мин.

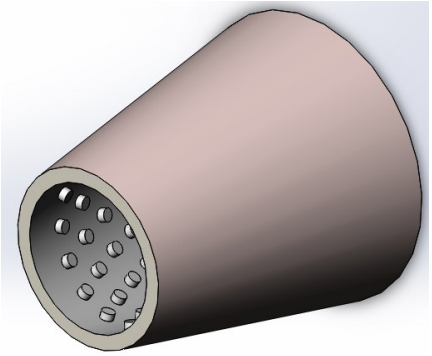
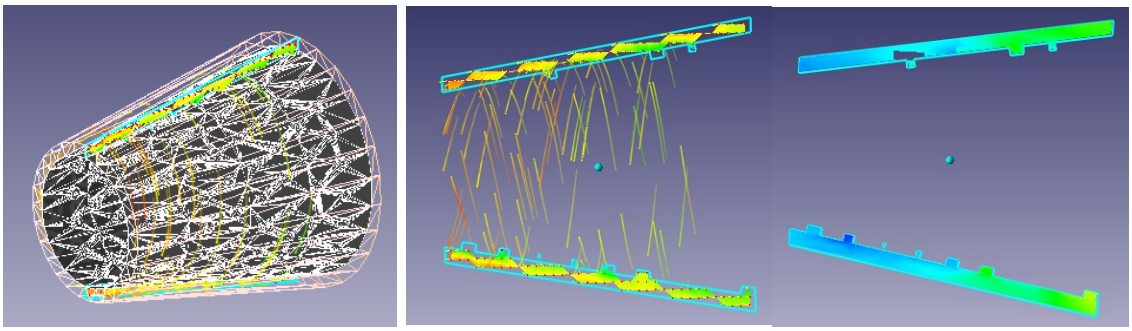


Рис. 1. Расчетный объем для конического ротора с глухими отверстиями

В ходе исследования были получены значения скорости жидкости на выходе из расчетного объема для различных вариантов конструкции конического ротора и проведена оценка влияния глубины отверстий в роторе на скорость и давление жидкости.

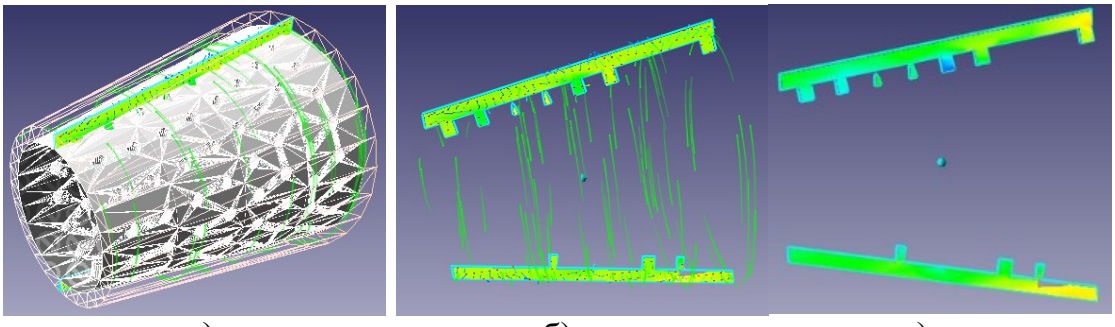
В модели с соотношением глубины и диаметра глухого отверстия 0,5 скорость на выходе увеличилась на 5 м/с, в сравнении с показателями ротора без глухих отверстий, и составила 12 м/с. Давление на выходе составило 3650 Па.



а) б) в)

Рис. 2. а) Расчетный объем при соотношении глубины и диаметра отверстия 0,5 б) Распределение скоростей в) Распределение давления

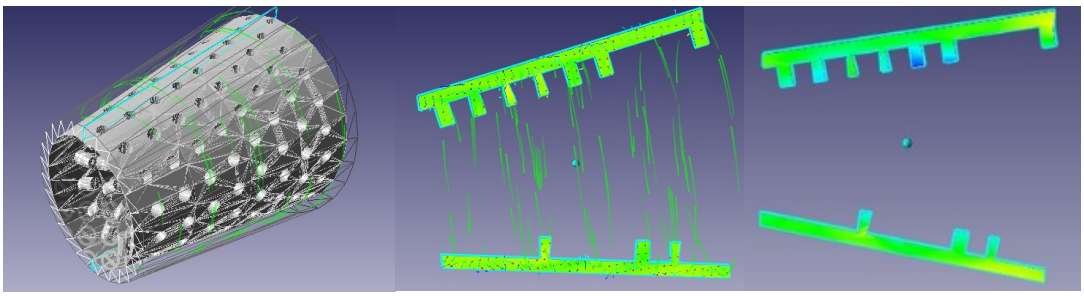
В модели с соотношением глубины и диаметра глухого отверстия 1,0, скорость жидкости осталась практически неизменной и составила 13,1 м/с, давление на выходе же составило 4060 Па.



а) б) в)

Рис. 3. а) Расчетный объем при соотношении глубины и диаметра отверстия 1,0 б) Распределение скоростей в) Распределение давления

В модели с соотношением глубины и диаметра глухого отверстия 1,5, скорость жидкости осталась также практически неизменной и составила 14 м/с, давление на выходе составило 4850 Па.



а) б) в)

Рис. 3. а) Расчетный объем при соотношении глубины и диаметра отверстия 1,5 б) Распределение скоростей в) Распределение давления

По результатам данного исследования можно сделать вывод, наибольший перепад давления был получен при глубине 0.5, а также, что соотношение глубины и диаметра отверстия в большей степени оказывает влияние на давление жидкости, чем на ее скорость.

Список литературы

[1] Байбаков О.В. Вихревые гидравлические машины. – М.: Машиностроение, 1981. – 197 с.

[2] Ванеев С.М., Марцинковский В.С., Гриценко В.Г., Овсейко И.В. Вихревые турбомашины для сжимаемых сред // Компрессорная техника и пневматика. Москва, № 3, 2002. – С. 2.

[3] Ананьев Н.А., Шитохина О.Г. Исследование обтекания конического ротора с помощью пакета flowvision // Наукоемкие технологии в приборо - и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе, том 2, 2017. – С. 108-111.

Шитохина Ольга Григорьевна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

Ананьев Никита Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nikit.ananjev2013@yandex.ru

В.В. Коротков, В.А. Минеев

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

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

Производительность центробежных насосов зависит от конструкции рабочего колеса, скорости его вращения, качества уплотнений и напора жидкости. С увеличением напора жидкости производительность насоса уменьшается. При свободном выходе жидкости из нагнетательного патрубка насос работает с максимальной производительностью [1].

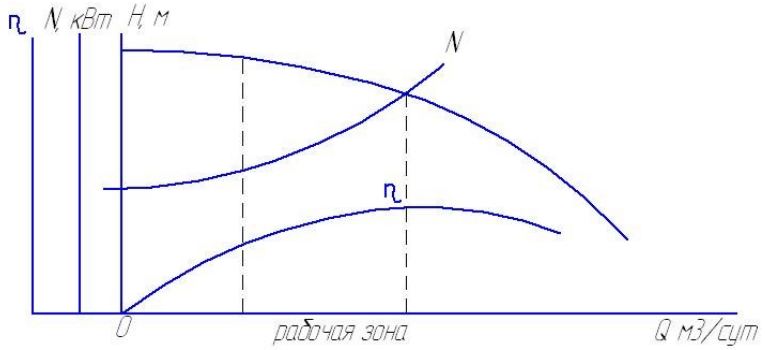


Рис. 1. Рабочая характеристика центробежного насоса

В реальных условиях, в частности в системах теплоснабжения и водоснабжения, значительную часть времени насос эксплуатируется в режиме, отличном от оптимального, например, при значении подачи меньше расчетного. В таких условиях КПД насоса существенно снижается. Следует отметить, что производитель устанавливает расчетное значение подачи ближе к максимальному ее значению, поскольку насос должен обеспечить устойчивую работу во всем заявленном диапазоне подачи. Следовательно, оптимальный режим работы насоса не всегда соответствует режиму эксплуатации, а средневзвешенный по времени КПД насоса может оказаться значительно ниже расчетного.

Для повышения КПД насоса в области значений подачи, отличающихся от расчетного, в работе предлагается рабочее колесо центробежного насоса, лопасти которого имеют различные углы входа. Все лопасти при этом могут иметь одинаковый угол выхода и располагаться с постоянным внешним шагом. Каждой лопасти может соответствовать лопасть с таким же углом входа, расположенная симметрично относительно центра рабочего колеса, при этом указанные лопасти образуют пару. Рабочее колесо может включать три пары лопастей с различными углами входа.

При этом достигаются следующие технические результаты:

- повышение КПД насоса в области значений подачи насоса, отличающихся от расчетного значения подачи насоса;
- повышение средневзвешенного по времени КПД насоса.

Приведем более подробное описание предлагаемого варианта рабочего колеса.

Лопасти рабочего колеса, изображенного на рис. 2, имеют рабочую поверхность, представленную на чертеже линией L, которая обозначается в дальнейшем как внешняя линия лопасти. Входные кромки лопастей 1 лежат на окружности входа, имеющий диаметр D_1. Выходные кромки лопастей 2 лежат на окружности выхода с диаметром D_2, как правило, совпадающим с внешним диаметром рабочего колеса. Угол между выходными кромками лопастей α, в дальнейшем - внешний шаг, одинаков для всех лопастей.

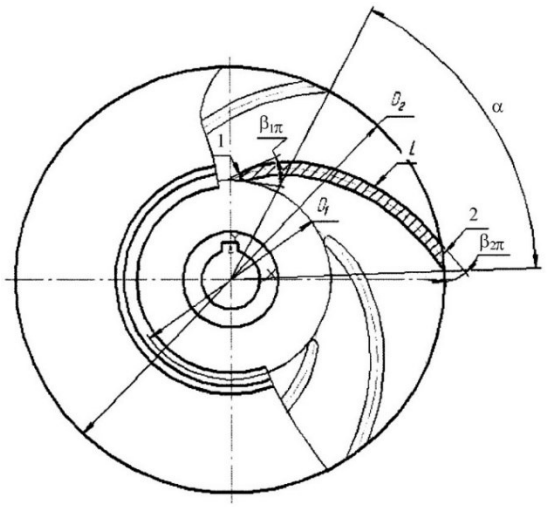


Рис. 2. Исходное рабочее колесо

Касательная к внешней линии лопасти в точке ее пересечения с окружностью входа и касательная к окружности входа в указанной точке образуют угол входа $\beta_{1л}$. Касательная к внешней линии лопасти в точке ее пересечения с окружностью выхода и касательная к окружности выхода в указанной точке образуют угол выхода $\beta_{2л}$ [2].

Значения параметров D_1, D_2, $\beta_{1л}$ и $\beta_{2л}$ определены для расчетной подачи насоса при условии максимизации КПД насоса, а также с учетом конструкторских ограничений, и одинаковы для всех лопастей. Поскольку сопряжение углов входа и выхода может быть осуществлено плавной кривой произвольной формы, то можно считать, что указанные параметры определяют форму и расположение лопастей рабочего колеса. Все лопасти такого рабочего колеса, в дальнейшем - исходные лопасти, одинаковы.

Лопасти рабочего колеса, спроектированного для другого значения подачи насоса, будут иметь иные углы входа и выхода, причем для более низкого значения подачи углы входа и выхода уменьшаются, а для более высокого значения подачи - соответственно увеличиваются.

При замене части исходных лопастей лопастями, имеющими другой угол входа, КПД насоса возрастает в области подачи, для которой спроектированы добавленные лопасти. При этом угол выхода заменяющих лопастей целесообразно сохранить равным углу выхода исходных лопастей.

Диаметры окружностей входа и выхода, устанавливаемые с учетом конструкторских ограничений, для заменяющих лопастей также сохраняются равными соответствующим значениям этих параметров, определенных для исходных лопастей. Внешний шаг остается постоянным для всех лопастей, и его значение не изменяется.

На рис. 3 представлено модернизированное рабочее колесо, имеющее три пары лопастей. Каждая пара образуется лопастями, расположенными симметрично относительно центра рабочего колеса, при этом лопасти каждой пары имеют одинаковый угол входа, в то время как углы входа лопастей, входящих в разные пары, различны. Такое колесо показывает наилучшие результаты.

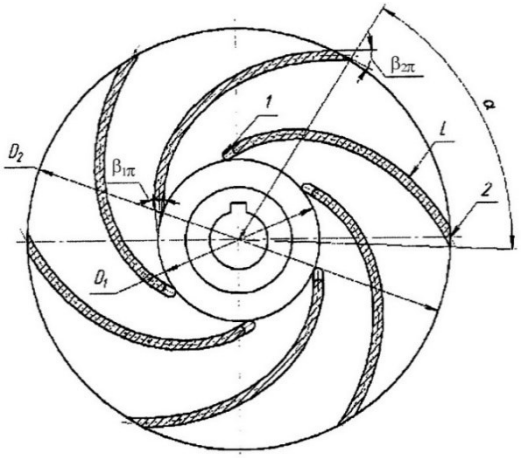


Рис. 3. Модернизированное рабочее колесо

При осуществлении такой модернизации рабочего колеса КПД насоса в области низких значений подачи превышает его падение в области оптимального режима, что позволяет получить более высокий средневзвешенный по времени работы КПД насоса.

Список литературы

[1] Расчет производительности насосов / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.comodity.ru/frozenfood/equipment/85.html (дата обращения: 13.10.2018).

[2] Рабочее колесо центробежного насоса: пат. 2452875 Рос. Федерация: F04D29/22 / В.А. Рыженков, А.В. Волков, А.Г. Парыгин, Г.П. Хованов; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество "ОПТИМА". – №2010132520/06; заявл. 03.08.2010; опубл. 10.06.2012, Бюл. № 16 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.freepatent.ru/patents/2452875 (дата обращения: 13.10.2018).

Коротков Виталий Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k2kf@bmstu-kaluga.ru

Минеев Виктор Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: NewNeskwik@yandex.ru

П.М. Сидоров, Д.В. Шевелев

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА В CFD ПАКЕТЕ ANSYS

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

В настоящее время процесс проектирования и доводки высокоэффективной ступени центробежного компрессора (ЦБК) невозможно представить без использования современных компьютерных технологий. Из-за конструктивных и газодинамических особенностей лопаточных аппаратов ЦБК течение в его проточной части имеет чрезвычайно сложный пространственный характер. Поэтому в последнее время наметилась тенденция перехода от традиционного двумерного метода расчета проточной части к моделированию течения в трехмерной постановке, где математическая формулировка используемых газодинамических моделей основана на трехмерных уравнениях Навье-Стокса. Однако, в любых расчетах с использованием методов вычислительной гидрогазодинамики имеется целый ряд источников ошибок:

- ошибки численных вычислений (чувствительность решения к размеру сетки и дискретизации);
- ошибки моделей (неправильный выбор модели турбулентности);
- систематические ошибки (неправильный выбор и расстановка граничных условий и размеров расчетной области).

Поэтому актуальной является задача верификации результатов моделирования сравнением с результатами натурного эксперимента.

Для проведения численного моделирования термогазодинамических процессов в исследуемой ступени центробежного компрессора был выбран программный комплекс ANSYS [1], так как он является признанным мировым лидером в области численного моделирования процессов различной физической природы.

Исходные данные и граничные условия. Расчет выполнялся для трех различных точек, принадлежащих одной ветке характеристики компрессора, полученной в ходе натурного эксперимента, которым соответствуют значения массового расхода воздуха: $G_в$=1,390 кг/с; $G_в$=1,508 кг/с; $G_в$=1,596 кг/с и частота вращения ротора n=37280 об/мин.

Так как течение в ступени компрессора осесимметричное, для ускорения расчета расчетная область была разбита на сектора по числу лопаток (рис. 1).

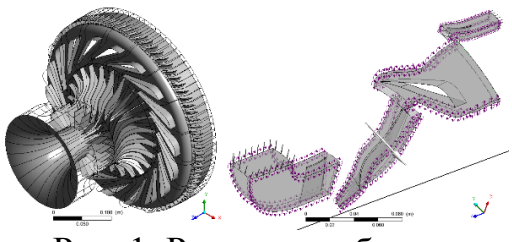


Рис. 1. Расчетная область

В основе принятой расчетной модели лежит система уравнений Навье-Стокса для сжимаемой жидкости. В качестве модели турбулентности была задана стандартная $k-\varepsilon$ модель. На входе в расчетную область заданы параметры окружающей среды ($p_н$=101300 Па, $T_н$ =288 К). На выходе из расчетной области в первом приближении было задано статическое давление p_2=300 кПа, а затем, после стабилизации контролируемых во время расчета параметров (полное давление на выходе p_2^*, массовый расход $G_в$), вместо p_2 был задан массовый расход $G_в$, соответствующий одной из трех исследуемых точек на экспериментальной характеристики. Это было сделано с целью избежать больших градиентов физических величин, приводящих к «развалу» расчета при его запуске. Для связи ротора со статором и секторов расчетной области друг с другом использовались скользящие и периодические граничные условия соответственно. Для рабочего колеса было задано вращение с частотой n=37280 об/мин.

Результаты расчета. На рис. 2 показана одна ветка характеристики ступени компрессора (зависимость степени повышения давления $\pi_к^*$ и КПД $\eta_к^*$ от массового расхода воздуха $G_в$ при фиксированной частоте вращения ротора) полученная в ходе натурного эксперимента и в результате CFD-расчета. В таблице 1 приведены результаты натурного и численного экспериментов для трех исследуемых точек.

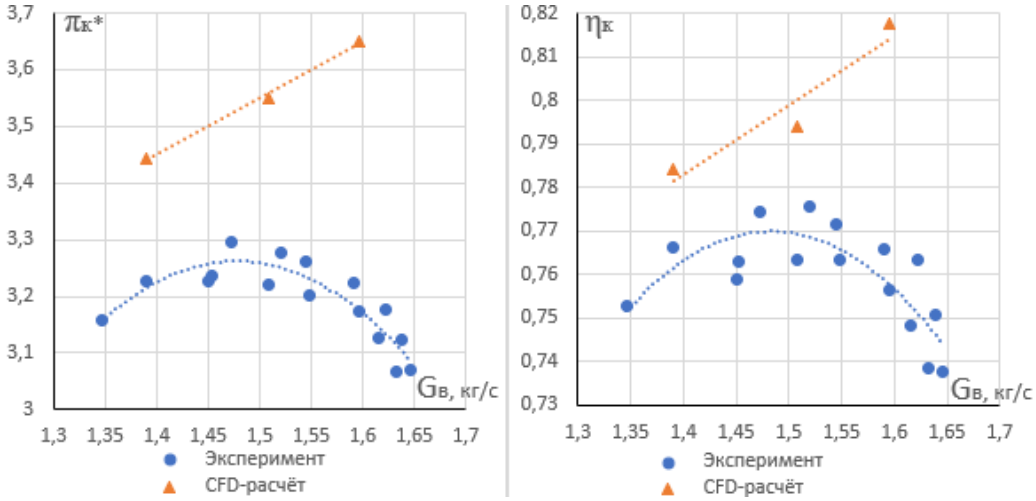


Рис. 2. Сравнение расчетной характеристики с экспериментальной

Таблица 1. Результаты натурного и численного экспериментов для трех исследуемых точек

$G_в$, кг/с	$\pi_к^*$			$\eta_к^*$		
	Эксперимент	CFD-расчет	Погрешность, %	Эксперимент	CFD-расчет	Погрешность, %
1,3902	3,2278	3,4443	6,7	0,7663	0,7840	2,3
1,5079	3,2218	3,5489	10,2	0,759	0,7938	4,6
1,5956	3,1728	3,6515	15,1	0,7628	0,8178	6,7

Выводы:

1. Сходимость результатов численного эксперимента с натурным по $\pi_к^*$ и $\eta_к^*$ удовлетворительная, что позволяет использовать полученные результаты в качестве референтных при геометрической оптимизации модели ЦБК.

2.Требуется дальнейшая верификация расчетной модели, исследованием влияния на результаты расчета количества расчетных ячеек и используемой модели турбулентности.

Список литературы

[1]. Сайт ANSYS. – URL: https://www.ansys.com

Сидоров Павел Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: SidorowPawel95@yandex.ru

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

А.А. Филимонов

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОМЕРНОСТИ РАСХОДОВ ВСАСЫВАЮЩИХ И НАГНЕТАЮЩИХ ПЛАСТИН ДЛЯ ПЛАСТИНЧАТОГО НАСОСА

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

Одним из этапов разработки пластинчатого насоса двойного действия является выбор числа пластин. Критерии выбора числа пластин зависят от конструктивной схемы насоса. Принципиально конструктивные схемы различаются для насосов низкого и высокого давлений. Примерное граничное давление составляет 7 МПа. В пластинчатых насосах для давлений свыше 7 МПа требуется разгрузка пластин в радиальном направлении [1].

В насосах двойного действия низкого давления контакт пластин с кривой статора осуществляется центробежной силой и давлением нагнетаемой жидкости, подводимой под пластины [2,3]. При этом при работе насоса пластина, перемещаясь в радиальном направлении, забирает рабочую жидкость из полости нагнетания или туда ее вытесняет. Поэтому одним из основных критериев подбора числа пластин при расчете насосов низкого давления является равенство расходов, всасываемых и нагнетаемых пластинами, обеспечивающее равномерную работу насоса.

В работе [4] построены графики изменения расхода всасывающих и нагнетающих пластин для насосов с шестью, восемью и двенадцатью пластинами. Проанализируем равномерность работы насоса с десятью пластинами. Для этого построим принципиальную схему такого насоса с указанием основных параметров, выберем тип профиля кривой статора, выведем уравнение расхода на одну пластину и построим график изменения расхода всасывающих и нагнетающих пластин.

На первом этапе исследования построена принципиальная схема пластинчатого насоса двойного действия с десятью пластинами (рис. 1).

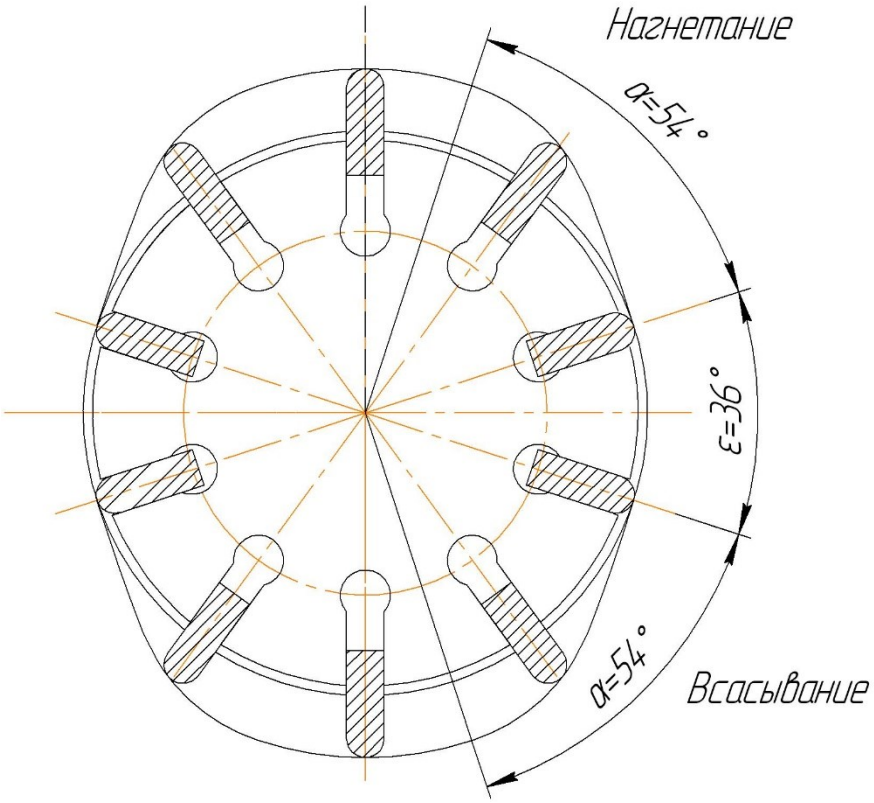


Рис. 1. Принципиальная схема пластинчатого насоса с десятью пластинами: α - угол, внутри которого расположена кривая профиля статора; ε - угол, соответствующий уплотняющим перемычкам

На схеме указаны углы α, внутри которых расположена кривая профиля статора и угол ε, соответствующий уплотняющим перемычкам, а так же области всасывания и нагнетания. Рассчитаем расходы, всасываемые и нагнетаемые пластинами для насоса с профилем кривой статора, обеспечивающим постоянное ускорение пластины относительно ротора.

Уравнение кривой при угле φ от нуля до $\frac{\alpha}{2}$:

$$\rho = r_0 + \frac{2(R - r_0)}{\alpha^2}\phi^2 \qquad (1)$$

где R - максимальный радиус кривой статора; r_0 - минимальный радиус кривой статора

При φ от $\frac{\alpha}{2}$ до α:

$$\rho = 2r_0 - R + \frac{4(R - r_0)}{\alpha}\left(\phi - \frac{\phi^2}{2\alpha}\right) \qquad (2)$$

Расход на одну пластину определяем по уравнению

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d\rho}{dt} Bb \qquad (3)$$

где B - ширина ротора; b – толщина пластин; V – объем камеры под пластиной.

С учетом того, что $\varphi = \omega t$ при φ от нуля до $\frac{\alpha}{2}$:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{4(R - r_0)}{\alpha^2}\omega^2 t \tag{4}$$

Тогда

$$\frac{dV}{dt} = \frac{4Bb(R - r_0)}{\alpha^2}\omega^2 t \tag{5}$$

При φ от $\frac{\alpha}{2}$ до α:

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{4(R - r_0)}{\alpha}\omega - \frac{4(R - r_0)\omega^2 t}{\alpha^2} \tag{6}$$

$$\frac{dV}{dt} = Bb\frac{4(R - r_0)}{\alpha}\omega\left(1 - \frac{\omega t}{\alpha}\right) \tag{7}$$

На основании уравнений (5) и (7) и углов, указанных на рис. 1 построим график изменения расхода всасывающих и нагнетательных пластин для насоса с десятью пластинами, шириной ротора.

Исходные данные для построения графика: ширина ротора B=42 мм; толщина пластины b=6 мм; максимальный радиус кривой статора R=54,9 мм; минимальный радиус кривой статора r=45 мм; угловая скорость вращения ротора ω=157 c^{-1}.

После подстановки исходных данных уравнение (5) примет следующий вид:

$$\frac{dV}{dt} = 0{,}278t.$$

Для построения графика удобнее в качестве оси абсцисс выбрать не время, а угол поворота ротора φ. Соответственно, уравнение (5) приведем к следующему виду:

$$\frac{dV}{dt} = 0{,}00177\omega t \tag{8}$$

Подставим исходные данные в уравнение (7) и получим выражение:

$$\frac{dV}{dt} = 0{,}0000106\omega\left(1 - \frac{\omega t}{0{,}94}\right) \tag{9}$$

Очевидно, что наибольший мгновенный расход имеет место при $\varphi = \frac{\alpha}{2}$. Для насоса на указанные параметры наибольший мгновенный расход равен $8{,}33 \cdot 10^{-4}\ \frac{м^3}{c}$.

Графики изменения расходов всасывающих и нагнетательных пластин представлены на рис. 2.

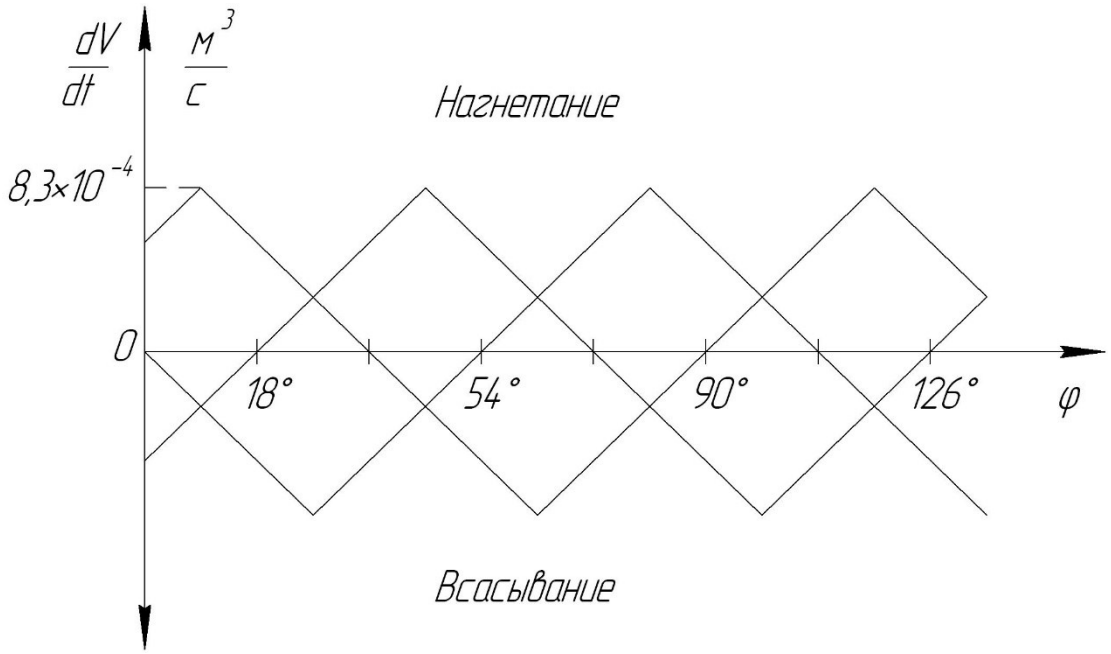


Рис. 2. График изменения расхода всасывающих и нагнетательных пластин для насоса с десятью пластинами

Из графика видно, что для насоса с десятью пластинами расход всасывающих пластин частично компенсируется расходом нагнетательных пластин.

Сравним исследуемый вариант насоса с насосами, имеющими шесть, восемь и двенадцать пластин.

В насосах, имеющих восемь и двенадцать пластин при любом положении ротора расход всасывающих пластин равен расходу нагнетающих пластин [4,5]. Пульсация расхода в таких насосах отсутствует.

В насосе с шестью пластинами расход всасывающих пластин не компенсируется расходом нагнетающих пластин. Это приводит к резким колебаниям расхода.

В насосах с шестью пластинами наибольшая неравномерность расхода равняется наибольшему мгновенному расходу $\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max}$. В исследуемом же варианте с десятью пластинами неравномерность расхода частично компенсируется и равняется $0{,}66\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max}$.

В рамках проведенных исследований равномерности расходов всасывающих и нагнетающих пластин для пластинчатого насоса с десятью пластинами получены уравнения расхода на одну пластину, построен график изменения расходов всасывающих и нагнетательных пластин, Анализ графика показал, что для насоса с десятью пластинами расход всасывающих

пластин частично компенсируется расходом нагнетательных пластин. Неравномерность расхода при этом равна $0{,}66\left(\frac{dV}{dt}\right)_{\max}$ [4]. Сочетание указанной неравномерности расхода с такими факторами как сжатие рабочей жидкости в камерах при работе насоса под давлением дает предпосылки для создания насоса с незначительной неравномерностью подачи.

Список литературы

[1] Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

[2] Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников. – М.: Машиностроение, 2008. – 640 с. http://www.hydropnevmo.ru/topic.php?ID=27

[3] Гринчар Н.Г. Основы гидропривода машин: учеб. пособие. Часть 1 / Н.Г. Гринчар, Н.А. Зайцева. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2016. – 444 с. http://web-mechanic.ru/gidravlika-i-pnevmatika/gidravlicheskie-nasosy/plastinchatye-nasosy.html

[4] Зайченко И.З. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. - М.: Машиностроение, 1970. – 229 с.

[5] Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 628 с.

Филимонов Алексей Алексеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Alekcey-filimonov@yandex.by

Н.С. Цыганов

КАВИТАЦИОННЫЙ ВИХРЕВОЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР

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

В настоящее время перед обществом стоит острая проблема энергетического обеспечения, рационального использования энергоносителей, получения дешевой тепловой и электрической энергии[1]. В связи с этим разрабатываются и исследуются новые энергоносители и технологии получения энергии. Рост населения, энерговооруженности труда, затрат энергии в быту и в общественной жизни сопровождается увеличением мирового потребления энергоресурсов. Прогнозируется, что к 2050 году на нашей планете увеличится спрос на тепловую энергию примерно на 50 %. Решение этой проблемы зависит от различных факторов, таких как топливные ресурсы, технология их использования, финансовые средства. Обеспечение тепловой и электрической энергией, сохранение окружающей среды и обеспечение экологической безопасности – основные причины, определяющие **необходимость развития «экологически чистой энергии».**

Исходя из проблем и требований энергетического обеспечения, имеет большое значение кавитационный вихревой теплогенератор, который преобразует механическую энергию вращающегося ротора в тепло[2]. Кавитационный вихревой теплогенератор, имеет ряд преимуществ по сравнению с уже существующими теплогенераторами: малые габариты, простота конструкции. Исследование кавитационного вихревого теплогенератора с коническим и цилиндрическим ротором намечено проводить на кафедре «Тепловые двигатели и гидромашины» (М3-КФ). На сегодняшний день тепловые насосы, являются наиболее экологическим источником тепла. Спроектированный кавитационный теплогенератор имеет цилиндрический ротор с выполненными на его наружной поверхности глухими сферическими отверстиями, а на его периферии винтовой канал в корпусе[3]. При вращении ротора под действием центробежных сил и из-за воздействия винтовой решетки на поток, в глухих отверстиях ротора возникают вихри, показанные на рисунке 3. Вихри, распространяясь в каналы решетки, перемещают находящуюся там жидкость от входа к выходу.

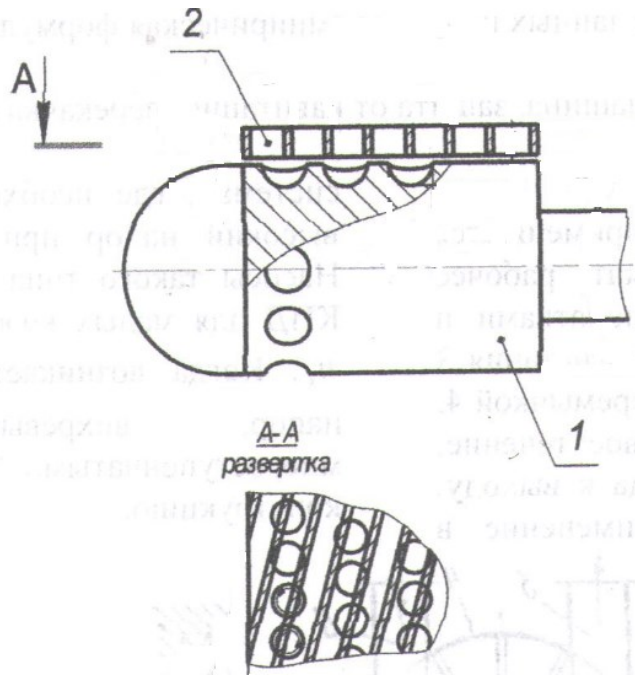


Рисунок 1. Схема вихревого кавитационного теплогенератора с цилиндрическим ротором и неподвижными винтовыми каналами:
1-цилиндрический барабан; 2- винтовые каналы

Предварительная оценка технических параметров теплогенератора позволяет сказать, что установка достаточно проста, не требует специальных технологий изготовления и по сравнению с существующими аналогами имеет ряд преимуществ. Теплогенератор является одновременно нагнетателем, способным перекачивать жидкость.

Список литературы

[1] Бушуев В.В., Каламанов В.А. Мировая энергетика-2050(Белая книга). - М.: ИЦ'Энергия ',2011

[2] Потапов Ю.С. Теплогенератор для нагрева жидкости. Патент РФ 2045715. М., кл. 5; B25, B 29/00, 1993 Потапов Ю.С. № RU 2045715 C1 от 9 февраля 2000 г.

[3] Анкудинов А.А., Лысенко Л.В. Исследование Вихревой гидромашины с цилиндрическим ротором и перспективы ее применения. - Изд-во Санкт-Петербург. 2003. 343 с.

Цыганов Никита Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kf.tsyganoff@yandex.ru

Д.В. Шевелев, Ф.Г. Завальный

КАЛЬКУЛЯТОР ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ

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

Введение

Жизнь современного человека невозможно представить без мобильного устройства. Причина столь большой популярности – высокая производительность современных смартфонов, набор сенсоров, датчиков и интерфейсов в современном устройстве несет огромный потенциал, раскрыть который можно через мобильные приложения - компьютерных программы, созданные специально для использования в мобильном телефоне. Рынок мобильных приложений наполнен самым разнообразным софтом общепотребительского характера. Однако, возможно использование возможностей мобильных устройств для решения узкопрофессиональных задач, например, в области газодинамики. При расчете газовых потоков удобно пользоваться газодинамическими функциями.

Газодинамические функции

Газодинамические функции - это математические выражения, показывающие характеристики одномерного потока газов, характеристики плотности потока, импульса силы и количества движения потока при изменении располагаемого перепада давлений на входе и выходе из рассматриваемого канала. При изменении перепада давлений в рассматриваемом канале происходит увеличение скорости движения. Для расчета применяют относительные скорости движения потока.

Практически в любом расчете одномерного потока газов мы сталкиваемся с газодинамическими функциями, значения которых собраны в огромные таблицы, а сами они сведены к выражениям, степенным зависимостям различного уровня сложности, что затрудняет получение аналитического решения. Эти выражения положены в основу мобильного приложения GasFunction [1], которое должно упростить работу с ниже приведенными формулами.

Газодинамические функции:

$$\tau(\lambda) = \frac{T}{T^*} = 1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2$$

$$\pi(\lambda) = \frac{P}{P^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho^*} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

$$q(\lambda) = \frac{F}{F_{\text{кр}}^*} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \left(1 - \frac{k-1}{k+1}\lambda^2\right)^{\frac{1}{k-1}} \lambda$$

Блок-схема программы:

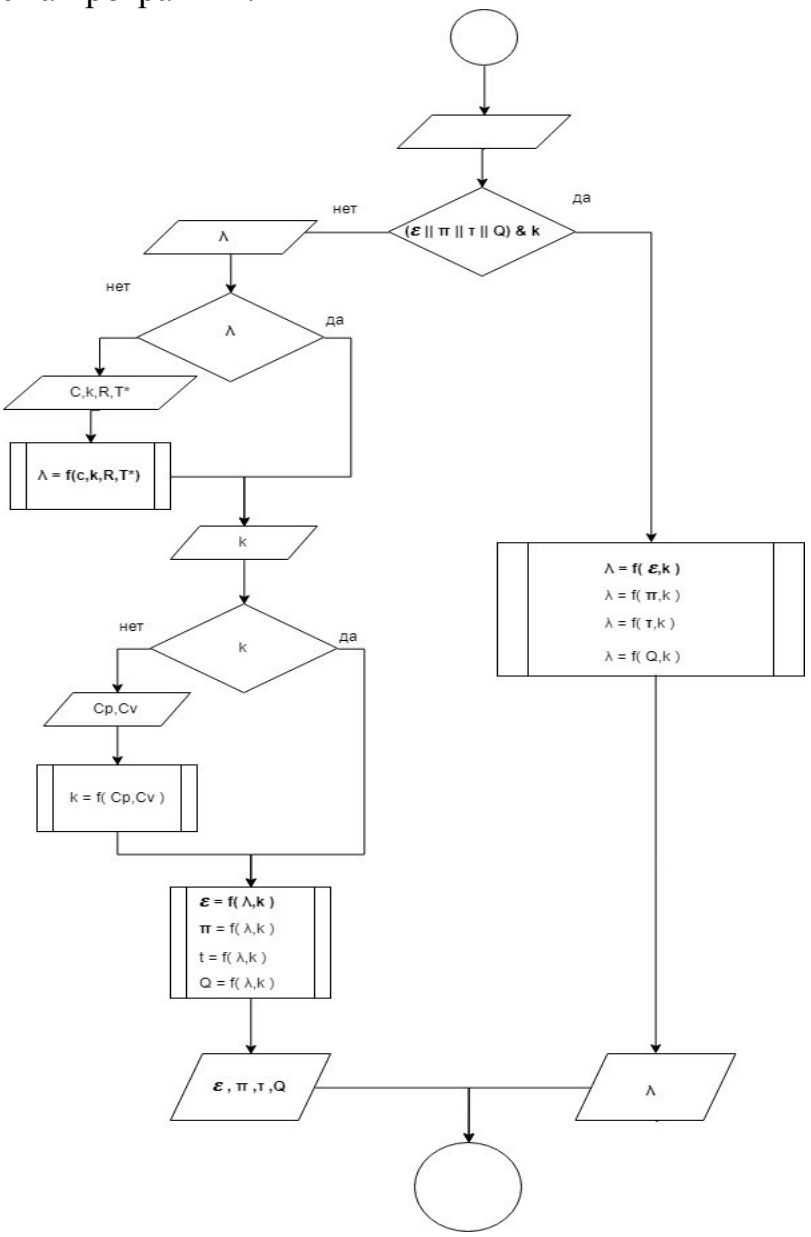


Рис. 1.

Заключение

С помощью приложения GasFunction можно точно и быстро определить значение приведенной скорости, рассчитать показатель адиабаты k и выполнить как прямой, так и обратный расчет сразу всех вышеперечисленных газодинамических функций.

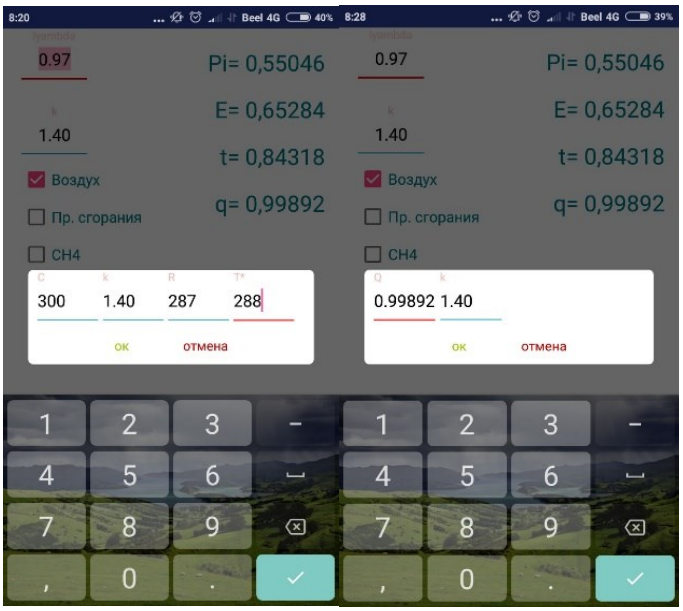


Рис. 2 – экраны мобильного приложения GasFunction

Список литературы

[1] Шилдт Г. Java 8: Руководство для начинающих, 6-е изд . : Пер. с англ. – М. : ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 720 с.

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

Завальный Федор Геннадьевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor.zavalnyj1995@gmail.com

К.М. Ефремов, О.Г. Шитохина

КОНСТРУКЦИИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВЫХ НАСОСОВ

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

Вихревые насосы применяются в различных областях промышленности, в системах автоматического водоснабжения и оросительных комплексах для сельского хозяйства. В химической промышленности они используются для подачи различных жидкостей, в том числе агрессивных, легколетучих, насыщенных газом [1]. Также вихревые агрегаты можно применять в качестве компрессоров пониженного давления, вакуум-насосов, питающих насосов вспомогательных котельных установок. Вихревые насосы, как правило, используют в системах, где необходимо создать высокий напор при относительно небольшой подаче. Способность перекачивать жидкостно-газовую смесь позволяет использовать вихревые насосы для перекачки летучих жидкостей (бензин, керосин), что обуславливает применение таких насосов в системах заправки топливом.

Как и центробежные, вихревые насосы относятся к динамическим машинам, в которых жидкость под воздействием гидродинамических сил перемещается в камере (незамкнутом объеме), постоянно сообщающейся с входом и выходом насоса. В лопастных насосах энергия жидкости передается в процессе обтекания ею лопастей рабочего колеса и их силового воздействия, а в вихревых насосах энергия жидкости передается за счет образования вихрей. Вихревые насосы, в отличие от лопастных, создают более высокий напор при небольшой подаче [1] (Рис.1), следовательно, они имеют меньший размер, и их можно использовать в условиях ограниченного пространства. Недостатком вихревого насоса является низкий КПД, не превышающий в рабочем режиме 45%, что препятствует применению вихревого насоса при больших мощностях. У наиболее распространенных насосов КПД 35-38 %.

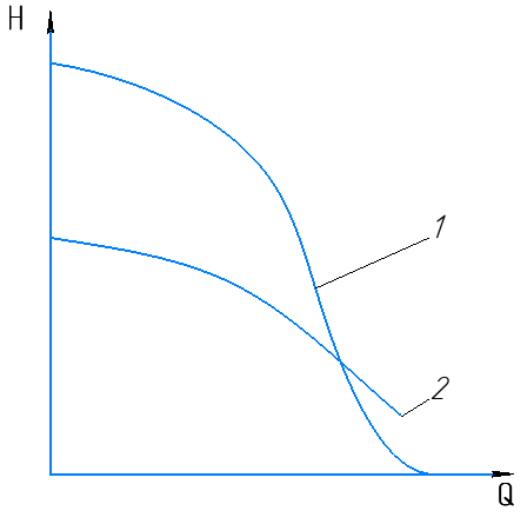


Рис.1. Характеристика насосов: 1 – вихревого; 2 – центробежного

Конструкции вихревых насосов весьма разнообразны. Большинство вихревых насосов имеют крыльчатку открыто-вихревого либо закрыто-вихревого типа. Особый интерес представляет гидромашина, имеющая цилиндрический ротор с выполненными на его наружной поверхности глухими сферическими отверстиями, а на его периферии винтовой канал, неподвижно закрепленный в корпусе. [2]

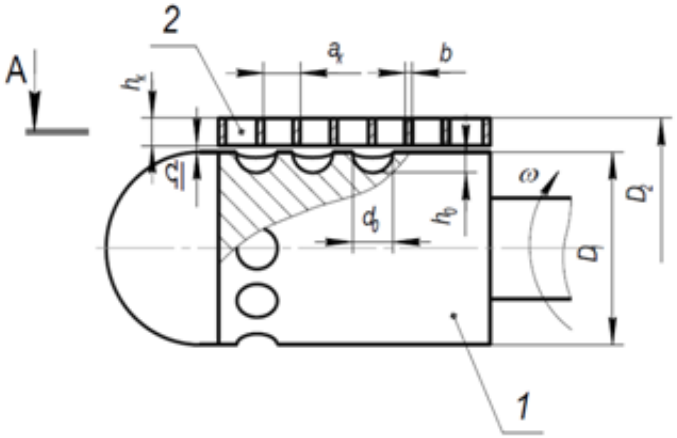


Рис. 2. Схема вихревой гидромашины с цилиндрическим ротором и неподвижными винтовыми каналами: 1 – цилиндрический барабан; 2 – винтовые каналы

При вращении ротора под действием центробежных сил и из-за воздействия винтовой решетки на поток в глухих отверстиях ротора возникают вихри. Вихри, проникая в каналы решетки, перемещают находящуюся там жидкость от входа к выходу. [3]

Для повышения эффективности работы вихревых насосов необходимо исследовать процессы течения жидкости и вихреобразования в проточной части.

Список литературы

[1] Байбаков, О.В. Вихревые гидравлические машины / О.В. Байбаков // М.: Машиностроение, 1981. – 197 с.

[2] Насос: А.с.1724941 РФ / Лысенко Л.В., Анкудинов А.А., Зотов Б.Н.Заявл.04.06.91; опубл.15.01.94.

[3] Анкудинов, А.А. Исследование характеристик вихревого нагнетателя с цилиндрическим ротором/ А.А. Анкудинов, Е.В. Волчкова, В.В. Коротков// Электронный журнал: Успехи современной науки, 2016 №11, Том 5. С.27-31.

Ефремов Кирилл Михайлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана. E-mail: kirik007750@gmail.com

Шитохина Ольга Григорьевна – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: bonkog@mail.ru

А.Н. Сизов, Ф.М. Мурзин

МОДЕЛЬ ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРИВОДА ДЛЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

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

Одним из наиболее востребованных в настоящее время типов промышленных систем автоматического регулирования является электрогидравлическая система [1, с. 225]. Функционально в ней можно выделить две составные части: электронная управляющая (ЭУЧ) и исполнительная гидромеханическая (ГМЧ). Рассматриваемый в работе объект- следящий привод (электромеханический преобразователь) – является промежуточным элементом между ними, получая электронный управляющий сигнал из ЭУЧ и преобразуя его непосредственное перемещение пристыкованного отсечного золотника – управляющего элемента гидравлического блока регулирования в составе ГМЧ. Применение подобных электромеханических приводов (ЭМП) в управляющих контурах малоинерционных объектов регулирования, таких как паровая турбина, предъявляет к ЭМП повышенные требования в части динамики, которые требуют учета, в том числе и на этапе разработки конструкции ГМЧ. Анализ существующих систем регулирования паровых турбин в ОАО «Калужский Турбинный Завод» позволяет установить, что требования к быстродействию подобных ЭМП достаточно высоки, т.к. перемещение рабочего органа на полный ход в форсированном режиме не должно происходить более, чем за 0,1-0,2 с при требуемой точности позиционирования до 0,1 мм. Достоинством САР подобного типа является то, что по развиваемому ЭМП усилию высоких требований не предъявляется из-за наличия гидравлически разгруженного исполнительного элемента – отсечного золотника. До недавнего времени указанным требованиям отвечали лишь ЭМП иностранного производства – таких американских производителей, как Exlar, CCC и др. в настоящее время в РФ также освоен выпуск пилотных образцов подобных ЭМП, в частности, уже примененных на Калининской АЭС.

Главной отличительной особенностью рассматриваемого ЭМП является его наиболее ответственный и нагруженный узел – ролико-винтовая пара (РВП). Это именно тот узел, который преобразует вращательное движение приводного электродвигателя в поступательное движение выходного штока механизма с высокой скоростью и точностью [3, с. 114]. В настоящее время для получения контролируемого линейного перемещения конструкторы, как правило, используют пять основных вариантов (таблица). Из таблицы следует, что наиболее подходящим механизмом для ответственных применений с непрерывным режимом работы выходит РВП. В отличие от

традиционных передач типа ШВП или с трапецеидальной резьбой, она может выдерживать больше нагрузки в течение тысяч часов эксплуатации в самых жестких условиях. Разница с другими типами передач заключается в том, каким образом роликовый ходовой винт передает усилия. Несколько резьбовых спиральных роликов расположено вокруг резьбового вала по планетарной схеме, что позволяет преобразовывать вращательное движение электродвигателя в линейное перемещение вала или гайки.

Таблица 1. Анализ механизмов контроля линейного перемещения

	Ролико-винтовая пара	Винты с трапецеидальной резьбы	Шарико-винтовая пара	Гидравлика	Пневматика
Номинальная нагрузка	Высокая	Высокая	Высокая	Очень высокая	Высокая
Срок службы	Большой	Маленький, из-за высокого трения	Средний	Большой при правильном техническом обслуживании	Большой, при правильном техническом обслуживании
Скорость	Высокая	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая
Позиционирование	Простоя	Среднее	Среднее	Сложное	Очень сложное
Жесткость	Очень высокая	Очень высокая	Средняя	Очень высокая	Очень низкая
Ударные нагрузки	Высокие	Высокие	средние	Очень высокие	Высокие
Габариты	Минимальные	Средние	Средние	Большие	Большие
КПД, %	>80 %	Прибл. 40%	>70%	<50%	<50%
Установка	Совместима со стандартными преобразователями частоты	Требуется разработка механически системы	Требуется разработка механики системы	Сложная, требуется установка гидро линий, сервоклапанов, маслостанции и т.д.	Сложная, требуется установка гидро линий, сервоклапанов, маслостанции и т.д.
Обслуживание	Очень простое	Сложное, в следствии сильного износа	Среднее	Очень сложное	Сложное
Воздействие на окружающую среду	Минимальное	Минимальное	Минимальное	Утечка гидравлической жидкости, шум	Шум

Обозначенные достоинства обусловили выбор РВП для решения задач регулирования частоты вращения объектов типа паровых турбин широкого назначения (приводных, конденсационных, теплофикационных). В подобных системах регулирования, набирающих популярность на многих энергетических объектах во многих странах мира, ЭМП с РВП управляет положением отсечного золотника (ОЗ) во втулке, установленной в расточке гидравлического блока регулирования. А смещение ОЗ, в свою очередь, определяет положение исполнительного органа – двухстороннего гидроцилиндра, жестко связанного с паровпускным регулирующие клапаном турбины. Отрицательная обратная связь в таких современных системах предусматривается двойная – локальная (по положению ОЗ или ЭМП) и главная (по регулируемому параметру – обычно, частоте вращения). Благодаря тому, что ОЗ в подобных конструкциях является гидравлически разгруженным, ЭМП не испытывает существенных ударных или силовых воздействий, зато обеспечивает важное для подобных задач высокое быстродействие и очень высокую точность позиционирования.

На очереди – системы прямого регулирования с непосредственным воздействием ЭМП на регулирующий клапан, обладающие рядом достоинств (главное из которых – упрощение системы и отказ от использования гидравлических узлов и жидкостей). Однако, их применение пока еще ограничено высокими паровыми усилиями, воздействующими на регулирующий клапан, а также высокой потребляемой мощностью и не всегда достаточным быстродействием при небольших нагрузках.

В рамках работы выполнено моделирование рабочего процесса одного из отечественных аналогов подобных ЭМП, выпускаемого ЗАО «Диаконт» (Санкт- Петербург), не уступающих, а по ряду характеристик – и опережающих своих иностранных конкурентов [4, с. 8]. Согласно требованиям, предъявляемым к качеству процессов регулирования, следящий привод отсечного золотника должен обеспечивать высокую скорость перемещения отсечного золотника (до 0,25 м/с). Ошибка поддержания заданного положения отсечного золотника не должна превышать его зоны нечувствительности. Перемещение отсечного золотника с помощью электромеханического следящего привода должно иметь характер, близкий к монотонному.

В качестве исполнительного двигателя выбран электродвигатель RSM-M-24-92-50-C.

Момент на валу электродвигателя

$$M_{дв} = C_м I_c \tag{1}$$

где $C_м$ - коэффициент момента электродвигателя;

I_c - ток статора электродвигателя.

Ток статора определяется из выражения:

$$I_c = \frac{U_{дв}}{R_c (T_{дв} p + 1)} \tag{2}$$

где $U_{дв}$ - напряжение на обмотке статора двигателя;

R_c - сопротивление обмотки статора;

$T_{дв}$ - электромагнитная постоянная времени электродвигателя.

Напряжение на обмотке статора двигателя

$$U_{дв} = U_{усм} - U_{прЭДС} \tag{3}$$

где $U_{прЭДС}$ - напряжение противоЭДС электродвигателя.

Из характеристики электродвигателя RSM-M-24-92-50-C:

$$U_{прЭДС} = 0 \text{ при } p\alpha \le p\alpha_1 \text{ , } U_{прЭДС} = C_e p\alpha \text{ при } p\alpha \rangle p\alpha_1 \tag{4}$$

где C_e - коэффициент противоЭДС электродвигателя;

$p\alpha$ - скорость электродвигателя;

$p\alpha_1$ - значение скорости электродвигателя, при котором начинается существенное увеличение значения напряжения противоЭДС, для электродвигателя RSM-M-24-92-50-C 10% от максимальной частоты вращения ротора.

Напряжение на выходе усилителя мощности

$$U_{усм} = K_{усм} U_{усм} \tag{5}$$

где $K_{усп}$ - коэффициент усиления предварительного усилителя;

$U_{усп}$ - напряжение на выходе предварительного усилителя:

$U_{усм}$ - напряжение на выходе усилителя мощности.

Напряжение на выходе предварительного усилителя:

$$\begin{gathered} U_{усп} = K_{усп} U_{\Sigma} \text{ при } -U_{усп\max} < U_{\Sigma} < U_{усп\max} \\ U_{усп} = U_{усп\max} \text{ при } U_{усп} \ge U_{усп\max} \\ U_{усп} = -U_{усп\max} \text{ при } U_{усп} \le -U_{усп\max} \end{gathered} \tag{6}$$

где $K_{усп}$ - коэффициент усиления предварительного усилителя;

$U_{усп\max}$ - максимальное напряжение на выходе предварительного усилителя;

U_{Σ} - напряжение на выходе ПИД – регулятора.

Для преобразования вращения ротора электродвигателя в поступательное перемещение отсечного золотника применена ролико-винтовая передача (РПВ).

Управление моментов, приведенное к ротору РВП:

$$M = M_{дв} - Jp^2\alpha - M_{тр} Sign \cdot p\alpha \tag{7}$$

где J-суммарный момент инерции вращающихся частей ЭМП приведенный к валу двигателя;

$p^2\alpha$ -угловое ускорение электродвигателя;

$M_{тр}$ - суммарный момент трения в двигателе и подшипниках ЭМП.

Сила, приложенная со стороны электродвигателя, к отсечному золотнику:

$$F = \frac{2\pi}{H}\eta M \tag{8}$$

где H – величина шага РВП;

η - коэффициент полезного действия РВП.

Величина скорости перемещения отсечного золотника определяется из 2-го закона Ньютона применительно с учетом вязкого трения в соединении «отсечной золотник – втулка»:

$$mp^2 h_{ЗОЛ} + K_{вт} p h_{ЗОЛ} = F \tag{9}$$

где m – суммарная масса отсечного золотника и винта, жестко с ним соединенного;

$K_{вт}$ - коэффициент вязкого трения в отсечном золотнике;

$p^2 h_{ЗОЛ}$ - ускорение отсечного золотника;

$p h_{ЗОЛ}$ - скорость отсечного золотника.

В случае управления отсечным золотником с помощью непосредственно подсоединенного к нему электромеханического привода отпадает необходимость в использовании гидравлической обратной связи и гидравлической позиционной нагрузки [2, с.215].

На вход системы электромеханического следящего привода поступает $U_{ЗАД}$, пропорциональный задаваемому значению отклонения отсечного золотника. При моделировании учитывалось, что управление происходит непрерывным током сигналом от 4 до 20 мА и входное сопротивление, установленное на входе АЦП преобразователя частоты, имеет значение 250 Ом, что эквивалентно изменению сигнала $U_{ЗАД}$ в диапазоне от 1 до 5 В.

Ошибка отработки сигнала

$$\Delta U = U_{ЗАД} - U_{ЗОЛ} \tag{12}$$

где $U_{ЗОЛ}$ - сигнал с выхода датчика линейного перемещения золотника.

$$U_{ЗОЛ} = K_{ДП} h_{ЗОЛ} \tag{13}$$

где $K_{ДП}$ -коэффициент датчика перемещения ОЗ.

Сигнал на выходе ПИД- регулятора:

$$U_{\Sigma} = K_1 \Delta U + K_{ДИФ} p \Delta U + \frac{K_{ИНТ}}{p} \Delta U - K_{ОС} I_C + U_{КОМ} \tag{14}$$

где K_1 - коэффициент усиления ошибки;

$K_{ДИФ}$ - коэффициент дифференциатора, уменьшающего статическую ошибку отработки заданного сигнала;

$K_{ИНТ}$ - коэффициент интегратора, уменьшающего статическую ошибку отработки заданного сигнала;

$K_{ОС}$ - коэффициент обратной связи по току статора;

$U_{КОМ}$ - сигнал, обеспечивающий уменьшение ошибки от воздействия осевой нагрузки на отсечной золотник;

$$U_{КОМ} = 0 \text{ при } -U_{ЗОЛ1} \le U_{ЗОЛ} \le U_{ЗОЛ1};$$

$$U_{КОМ} = K_{ОТ}(U_{ЗОЛ} - U_{ЗОЛ1}) \text{ при } -U_{ЗОЛ1} > U_{ЗОЛ} > U_{ЗОЛ1} \quad (15)$$

$U_{ЗОЛ1}$ - сигнал, пропорциональный значению отклонения отсечного золотника, до которого значение $U_{КОМ}$ равно нулю (в данном расчете $U_{ЗОЛ1} = 2$ В, гидравлический ноль);

$K_{ОТ}$ - коэффициент компенсационного сигнала.

Список литературы

[1] Башта, Т.М., Руднев, С.С., Некрасов, Б.Б., и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: Учебник. 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1982. – 423 с.

[2] Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмопривода: Учебник. – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.

[3] Попов, Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учебник. – М.: Машиностроение, 1976. – 425 с.

[4] Информационные материалы от ЗАО «Диаконт» и ЗАО «Интай», ОАО «Калужский турбинный завод», 2013г.

Сизов Александр Николаевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sizov_an@ktz.power-m.ru

Мурзин Фарид Муратович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: farid_murzin@mail.ru

В.Ю. Ильичев, И.С. Хахалев

ОБЗОР ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСИЛИЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ЭЛЕМЕНТЫ ПАРОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК

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

В ходе работы паровой турбоустановки возникают силы того или иного характера. Эти силы действуют как на отдельные элементы установки, так и на всю установку в целом. Природа данных сил может быть абсолютной разной, но все возникающие возмущения приводят к уменьшению надежности работы паровой турбины.

Турбомашина представляет собой сложную систему деталей, узлов и элементов, работающих при разных условиях, которые способны возбуждать и воспринимать, а также усиливать и менять направление векторов воздействий. Основными крупноузловыми элементами системы, входящими в систему передачи усилий, можно считать:

- корпуса: корпуса цилиндров турбины, корпус статора генератора, теплоизоляционный кожух (слой) и т.д.;
- неподвижные опоры роторов: подшипники, стойки, гибкие опоры, система стабилизации турбоагрегата относительно горизонта (для некоторых транспортных турбин);
- роторы: турбин, приводных механизмов;
- фундамент.

В ходе работы турбоагрегата, усилия, а как следствие - вибрации в динамической системе «ротор-опоры» могут наблюдаться в следующих случаях:

- увеличение действующих или появление новых возбуждающих сил;
- ослабление статической жесткости;
- приближение системы к резонансу.

Наиболее распространенная причина появления негативных усилий имеет механический характер [1] – данной причиной является неуравновешенность ротора. Неуравновешенность ротора или роторов турбины ведет к возникновению центробежных сил. Перераспределение массы в окружном направлении приводит к смещению центра масс ротора относительно оси его вращения. Наиболее частые причинами возникновения неуравновешенности роторов являются:

- нарушения круговой симметрии сечений ротора, заложенные в конструкции и возникающие из-за неточности механической обработки;
- прогиб, связанный с остаточными деформациями от механической и термической обработки;
- ослабление посадки рабочих дисков и полумуфт;

- упругий прогиб, определяемый термической нестабильностью материала ротора;
- обрыв лопаток или бандажей, разрушение дисков или других деталей ротора;
- неравномерный износ рабочих лопаток;
- неравномерный занос лопаточного аппарата солями;
- неравномерное смещение элементов обмотки ротора генератора;
- ослабление посадки бандажных и центрирующих колец и полумуфт;
- упругий прогиб вследствие неравномерного нагрева или охлаждения ротора по сечению.

Также причиной увеличения вибрации может послужить ослабление жесткости системы. Известно, что амплитуда вибрации линейной системы обратно пропорциональна ее статической жесткости и прямо пропорциональна динамическому коэффициенту. Динамический коэффициент, характеризующий близость к резонансу, определяется отношением частоты возбуждения к собственным частотам системы и ее демпфирующими свойствами. Иными словами, изменение статической жесткости и приближение системы к резонансу взаимосвязаны. Если в результате ослабления жесткости элементов турбоагрегата возникает резонанс, то он обычно наблюдается в виде колебаний того же направления, что и направление ослабления жесткости системы.

Немаловажным аспектом появления возмущающих сил служит продольная вибрация подшипников. Продольная вибрация подшипников турбин и генераторов вызывается угловыми перемещениями шеек ротора, вращающегося с прогибом, и внецентровым приложением динамической нагрузки к подшипнику. Вращение изогнутого ротора вызывает соответствующий поворот вкладышей, а с ним и корпусов. Следуя в своем движении за угловыми перемещениями цапф, подшипники совершают продольные колебания [2].

Еще одним проявлением колебаний является низкочастотная вибрация. Практически у всех современных турбоагрегатов в общем частотном спектре вибрации подшипников и вращающихся роторов обнаруживается низкочастотные составляющие. Низкочастотная вибрация иногда внезапно возникает и достигает угрожающей величины, что может вызвать повреждение машины. Основной причиной возбуждения низкочастотной вибрации является потеря ротором динамической устойчивости на масляном слое опорных подшипников. В отдельных, относительно редких, случаях низкочастотная вибрация возникает как следствие субгармонического резонанса системы «ротор-опоры» [3].

Эти и многие другие причины могут вызвать повышенные вибрации турбоагрегата в целом, либо даже привести к необратимым последствиям. Практически невозможно оценить качественно изменение усилий действу-

ющие на турбоустановку без применения ЭВМ. В данной области существует множество переменных факторов, которые изменяются нелинейно и влияют друг на друга при переменных режимах. Даже при регулировании турбины, в зависимости от вида паровой турбины, изменение осевого усилия варьируется, в зависимости от режима и даже может изменить главный вектор равнодействующей силы, не говоря о характере перераспределения осевого усилия по ступеням.

В дальнейшем планируется создание программы, которая бы смогла качественно и численно дать полную картину перераспределения усилий, действующих на элементы паровой турбины при переменных режимах работы турбогенератора.

Список литературы

[1] *Брановский М. А., Лисицын И. С., Сивков А. П.* – Исследование и устранение вибрации турбоагрегатов - М.: Энергия. - 1969 г. – 22 – 92 с.

[2] *Липсман С. И., Музыка А. Т., Липсман В. С.* Предупреждение и устранение вибрации роторных машин. - Киев: Теніка. - 1968 г. – 40 – 52 с.

[3] *Жирицкий Г. С, Струнки*н *В. А.* Конструкция и расчет на прочность деталей паровых и газовых турбин. – М.: Машиностроение. – 1968 г. – 107 – 180 с.

Ильичев Владимир Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: patrol8@yandex.ru

Хахалев Игорь Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Igrenty.Khakhalev@yandex.ru

В.Ю. Савин

ОБЗОР СХЕМ РАЗГРУЗКИ ПЛАСТИН В НАСОСАХ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

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

Величина давления, развиваемого пластинчатыми насосами низкого давления обычно не превышает 70кГ/см^2. При этом пластины прижимаются к статору под действием центробежной силы и давления нагнетаемой жидкости, которая подводится под пластины в кольцевую канавку. При давлении выше 70кГ/см^2 использование давления нагнетаемой жидкости ведет к значительному износу пластины и статора. Разгрузка пластин в радиальном направлении от давления рабочей жидкости уменьшает износ статора и пластин и повышает долговечность насоса при работе на давлении, доходящем до 140кГ/см^2. Разгрузка пластин позволяет также значительно увеличить срок службы работы насосов в условиях их работы при давлении 140кГ/см^2.[1]

Для обеспечения надежного уплотнения между пластиной и статором, требуется строго радиальное положение пазов в роторе и точное выполнение верхних кромок пластины, находящемся в контакте со статором, в противном случае будут иметь место значительные утечки рабочей жидкости через одну из верхних кромок пластины.

Для осуществления надежного прижима пластин к статору без использования пружин применяются схемы частичной разгрузки пластин, в которых давление рабочей жидкости, прижимающее пластину к статору, действует не на всю площадь сечения, а только на ее часть. [2]

Один из способов заключается в том, что верхняя часть пластины 1 насоса толще нижней (рис 1). Соответствующую форму имеют и пазы ротора 2. Пространство 3 под пластиной 1 соединяется с камерой 4 между двумя соседними пластинами при помощи канала 5 в роторе 2, в результате чего давление под пластинами равняется давлению в камере 4. Для обеспечения надежной силы прижима пластины 1 к статору 12 камера 6, образованная выступами пластины 1 и ротора 2, сообщается с полостью нагнетания каналом 7 и кольцевыми канавками 8 и 9, выполненными в распределительных дисках 10 и 11.

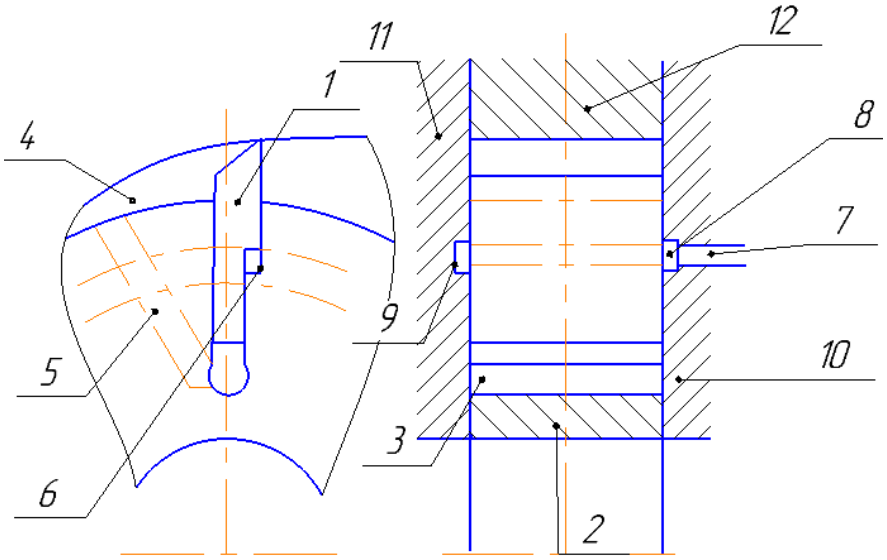


Рис. 1 Схема разгрузки пластин с использованием ступенчатой пластины

Второй способ также предусматривает соединения пространства 3 под пластиной 1 с камерой 4 между пластинами при помощи канала 5 (рис 2). Для прижима пластины 1 к статору 12 камера 6 между пластиной 1 и вставкой 13, упирающейся в дно паза ротора (вставка 13 прямоугольного сечения) соединена с полостью нагнетания посредством каналов 14 и 15, образованных канавками в стенках паза ротора 2. Каналы 14 и 15 сообщаются с кольцевыми канавками 8 и 9 в распределительных дисках 10 и 11, а канавка 8 соединена с полостью нагнетания каналов 7. Таким образом, пластина прижимается к статору силой, величина которой определяется давлением рабочей жидкости и площадью поперечного сечения вставки 13.

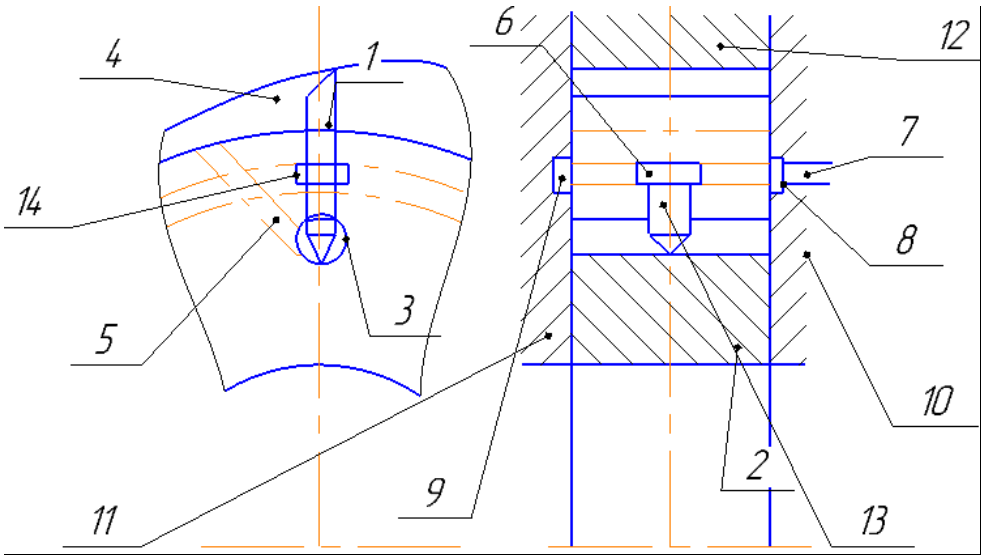


Рис 2 Схема разгрузки пластин соединения пространства под пластиной с камерой между пластинами

Третий способ отличается о второго только тем, что вместо одной вставки прямоугольного сечения применяют несколько цилиндрических стержней 2 (рис 3), упирающихся в дно паза ротора 1, отверстия в пластине, в которые вставлены стержни 2, соединяются с полостью нагнетания насоса через отверстие 3 в пластине кольцевыми канавками 4 и 5 в дисках 6 и 7 и каналом 8. [1]

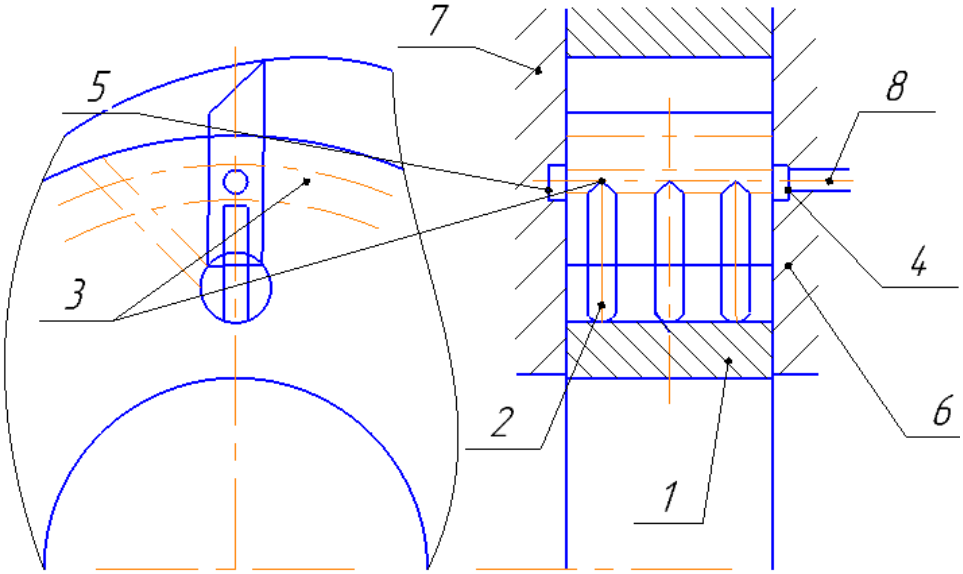


Рис 3 Схема разгрузки пластин с применением нескольких цилиндрических стержней

Анализируя известные варианты схем разгрузки можно отметить, что наиболее простой схемой с конструктивной и технологической точки зрения является схема полной разгрузки пластин. В данной схеме надежный прижим пластин к статору осуществляется под действием центробежной силы и пружин. При этом необходимо создать методику расчета критической массы пластин и силы прижима пружин пластин.

Список литературы

[1] Зайченко И.З., Мышлевский Л.М. Пластинчатые насосы и гидромоторы / И.З. Зайченко, Л.М. Мышлевский. - М.: Машиностроение, 1970, 229 с.

[2] Башта, Т.М. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта [и др.]. – М.: Машиностроение, 1979. – 628 с.

Савин Владимир Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: savin.study@yandex.ru

Ф.Л. Чубаров, Ф.А. Морозов, К.С. Каньшин, А.В. Никитин

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПНЕВМОПРИВОДА В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

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

В современном мире эффективная модернизация и оптимизация производства предполагает не расширение площадей и штата, а внедрение роботов и промышленных манипуляторов. Применение роботизированного оборудования порой представляет собой единственное возможное решение по повышению эффективности производства. Boston Consulting Group прогнозирует, что доля задач, решаемых с помощью роботов вырастет с 8% сегодня до 26% к 2025 году.

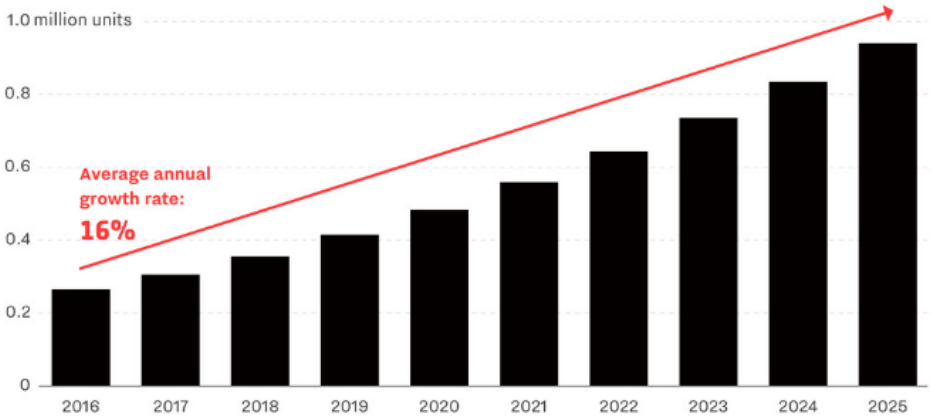


Рис. 1. Прогноз объема мирового рынка промышленных роботов до 2025 года

В составе промышленного робота есть механическая часть (включающая один или несколько манипуляторов) и система управления этой механической частью. Кроме этого, робот может иметь средства очувствления (образующие в совокупности информационно-сенсорную систему), сигналы от которых поступают к системе управления. [1]

Система очувствления робота основана на различных датчиках. Например, тактильные, светочувствительные (чаще видеокамеры), температурные, датчики давления, акселерометры и т.д.

Так, в робототехнике используется множество видов светочувствительных сенсоров. Камеры могут передавать изображение, которое в дальнейшем будет использоваться для управления роботом. Например, нейронные сети могут распознавать на изображениях образы в реальном времени, которые могут использоваться для позиционирования или иных операций.

Гироскопы в робототехнике также распространенная вещь. Они отвечают за балансировку и стабилизацию любого устройства. А за счет того,

что эта деталь относительно недорогая, ее можно установить в любой промышленном роботе.

Цепь управления роботом состоит в организации воздействий на его приводы, которые приведут к перемещению захватного устройства из исходного в заданное положение по заложенным характеристикам движения.

Различают:

- автоматизированные системы управления – частью действий робота управляет оператор.
- автоматические системы управления – управление робототехнической системой без использования человека.

В зависимости от условий применения робота могут применяться системы управления жесткопрограммируемого, адаптивного или гибкопрограммируемого принципа действия. Жесткопрограммируемые системы требуют строгой определенности описания действия манипулятора и условий применения. Адаптивные системы управления не содержат полной информации о параметрах работы, как правило, требуют только данные о начальном и конечном положении рабочего органа, а иные параметры синтезируются системой на основе заложенных инструкций и алгоритмов, характеристики положения и внешний среды поступают от органов очувствления робота. Гибкопрограммируемые или интелектуальные системы способны автоматически синтезировать программу на основе общих целей выполняемой работы.

Программирование контроллеров, ответственных за управление робототехническими системами осуществляется с помощью огромного количества языков программирования таких, как: Basic, Cg, Pascal, C++, Delphi, Python и д.р. Наиболее распространенным и универсальным является C++. [2, 3]

Для приведения звеньев манипулятора и устройства схвата в движение используют электрические, гидравлические или пневматические приводы.

Обычно привод состоит из энергоустановки, передаточных механизмов и блока управления. К роботехническим приводам любых типов предъявляются следующие требования: минимальный вес и габариты, повышенные энергетические, статические и динамические характеристики, легкость регулирования в большом диапазоне рабочих режимов, реверсивность, большой ресурс, обеспечение плавности хода, дешевизна. [4]

Пневматический привод характеризуется конструктивной простотой и дешевизной (особенно при наличии централизованной сети сжатого воздуха), высокой скоростью перемещений (до 10 м/с), простотой обслуживания, высокой надежностью и пожаробезопасностью, в отличии от гидропривода, не требует замкнутого цикла рабочего тела, т.к. сжатый воздух можно выпустить в атмосферу.

Пневмопривод также обладает серьезными недостатками. Недостатки пневмопривода связаны со свойствами главного рабочего тела – сжатого воздуха. Его высокая экологичность обусловливает широкое применение

именно пневмоприводов в пищевой, электронной, фармацевтической промышленности и в точном приборостроении. Сжимаемость воздуха затрудняет точность позиционирования. Грузоподъемность пневмопривода не многим превышает 30 кг. Однако он легко совмещается с любыми звеньями манипулятора, обеспечивая непосредственное воздействие на них. Так корпус и шток пневмоцилиндра может одновременно являться еще и звеньями приводимого в движение механизма. Возможность такого интегрирования привода выгодно отличает пневмопривод от, к примеру, электросервопривода, для монтажа которого могут потребоваться редукторы, тяги или иные переходные звенья и механизмы. [5]

Таким образом использование пневматических приводов с электронным управлением является одним из наиболее перспективных направлений в данной области. Однако оно несет в себя ряд конструктивных и эксплуатационных особенностей, позволяющих использовать пневмоприводы автоматизировано, выполняя ряд наиболее сложных задач.

Список литературы

[1] Макаров И. М., Т. Ю. (2003). Робототехника: История и перспективы. Москва: МАИ.

[2] Зенкевич С. Л., Ю. А. (2004). Основы управления манипуляционными роботами. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана.

[3] Тягунов, О. А. (2007). Математические модели и алгоритмы управления промышленных транспортных роботов // Информационно-измерительные и управляющие системы. Москва.

[4] Иванов Г.М., С. В. (2013). Цифровой линейный электрогидравлический. Конструктор. Машиностроитель.

[5] Выжигин А.Ю. Методы повышения быстродействия пневматических приводов промышленных роботов [Электронный ресурс]: монография/ А.Ю. Выжигин, Ю.К. Щипин– Электрон. текстовые данные. – М.: Московский гуманитарный университет, 2011. – 112 с

Чубаров Федор Леонидович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor1966chub@yandex.ru

Морозов Федор Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: fedor.morozov.klg@gmail.com

Каньшин Кирилл Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Kanshin.K@ya.ru

Никитин Алексей Валерьевич – директор ГАПОУ КО. E-mail: anikitin74@yandex.ru

Д.В. Шевелев, М.И. Соколов

ОСОБЕННОСТИ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

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

Важной особенностью развития мирового хозяйства является решение вопросов энергобезопасности и энергоэффективности, в связи с чем, особые надежды возлагаются на производство энергии с помощью возобновляемых природных источников - солнечного света, ветра, воды, тепловой энергии земных недр [1]. Проблемы развития возобновляемой энергетики обсуждаются на самом высоком уровне [2]. Постоянная угроза возникновения кризиса с поставками нефти, риски, связанные с развитием ядерной энергетики и озабоченность современного общества проблемами окружающей среды и, соответственно, климатическими вопросами, обусловили возникновение современной энергетической политики, которая нацелена на то, чтобы в течение нескольких следующих десятилетий была сформирована возобновляемая энергетическая система, базирующаяся на возобновляемых источниках энергии, без выбросов парниковых газов в атмосферу.

В настоящее время активно развиваются электростанции, использующие энергию Солнца. Известны следующие типы солнечных электростанций:

- Солнечные фотоэлектрические электростанции (СФЭС) – их принцип действия основан на возникновении фотоэлектрического эффекта в полупроводниковых материалах. КПД большинства электростанций такого типа составляет величину порядка 15 % [3]. Солнечные фотоэлектрические электростанции наиболее распространены т.к. достаточно просты, как в самой работе, так и в обслуживании. Устанавливаться могу практически везде. Имеют широкий диапазон мощности.
- Солнечные тепловые электростанции типа (СТЭС) – их принцип действия основан на концентрации солнечного излучения на приемнике, в котором происходит нагрев рабочего тела, в дальнейшем используемого в цикле теплового двигателя того или иного типа. КПД тепловых солнечных электростанций башенного типа, работающих совместно с циклом паротурбиной установки, достигает 35 % [4].
- Комбинированные солнечные электростанции служат для выработки электрической энергии с помощью вышеописанных принципов в комбинации с ветрогенераторами, газопоршневыми или газотурбинными электростанциями.

Недостатком СФЭС является прерывистый характер генерации электрической энергии, возникающий при смене погодных условий или дневного цикла [5]. Негативные последствия этой особенности солнечных фотоэлектрических электростанций заключаются в том, что в дневное время

электростанция вырабатывает большое количество энергии, которое может быть не востребовано потребителем. В ночное же время суток ситуация обратная, электростанция не вырабатывает достаточное количество энергии.

Более стабильный характер генерации достигается в солнечных тепловых электростанциях. СТЭС подразделяются на:

- Солнечные электростанции с параболическими концентраторами солнечной энергии;
- Солнечные электростанции башенного типа.

Солнечные электростанции с параболическими концентраторами состоят из многочисленных расположенных параллельно рядов концентраторов солнечного излучения, которые являются параболическими отражателями. Эти отражатели концентрируют солнечное излучение на теплоприемные трубки в которые нагревается теплоноситель - масло. Нагретый солнцем до 400°С теплоноситель поступает в теплообменный аппарат-парогенератор служащий для получения водяного пара с температурой 390°С. Этот пар поступает в паровую турбину, служащую для привода электрогенератора.

В солнечных электростанциях башенного типа концентрация солнечной энергии на теплоприемнике осуществляется с помощью плоских зеркал. В теплоприемнике (баке, установленном на высокой башне) происходит нагрев промежуточного теплоносителя – масла или расплава солей до высокой температуры (от 200 до 1000 °С). Дальнейший рабочий процесс аналогичен солнечным электростанциям параболического типа.

Особенностью СТЭС является то, что они могут генерировать энергию, как днем, так и ночью несмотря на отсутствие солнечного света в ночные часы. Это возможно благодаря термосолевой технологии, позволяющей концентрировать лучи солнца в дневное время, и накапливать их энергию в расплавленной соли, служащей аккумулятором тепла [5].

Теплосиловое оборудование таких электростанций (паровые турбины, парогенераторы и т п.) может быть использовано из номенклатурного ряда серийной продукции отечественных предприятий энергетического машиностроения, но требует определенных доработок, учитывающих особенности его эксплуатации в схеме СТЭС.

Список литературы

[1] Мога И.С., “Использование зарубежного опыта при внедрении возобновляемых источников энергии в России” / диссертация кандидата экономических наук 2012. Режим доступа: http://www.dissercat.com/content/ispolzovanie-zarubezhnogo-opyta-pri-vnedrenii-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii-v-rossii (Дата обращения 28.09.18)

[2] Шпильрайн Э.Э. “Проблемы и перспективы возобновляемой энергетики России” // Институт высоких температур РАН. Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=446 (Дата обращения 28.09.18)

[3] Sanan T.Mohammad / Hussain H.Al-Kayiem / Morteza K.Assadi / Osama.Sabir / Ayad K.Khlief “An integrated program of a stand-alone parabolic trough solar thermal power plant: Code description and test” /Case Studies in Thermal Engineering Volume 12, September 2018, Pages 26-37 Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X1730165X (Дата обращения 24.09.18)

[4] Luigi Crema / Fabrizio Alberti / Ewa Wackelgard / Barbara Rivolta / Sebastian Hesse / LorenzoLuminari / Drummond Hislop / Brian Restall, “Novel System for Distributed Energy Generation from a Small Scale Concentrated Solar Power “ Energy Procedia Volume 57, 2014, Pages 477-486 Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214015653 (Дата обращения 24. 09.18) [5]

[5] Joshua D.McTigue/ Jose Castro / Greg Mungas / Nick Kramer / John King / Craig Turchi / Guangdong Zhu, “Hybridizing a geothermal power plant with concentrating solar power and thermal storage to increase power generation and dispatchability” Applied Energy Volume 228, 15 October 2018, Pages 1837-1852 Режим доступа: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918310924 (Дата обращения 11.10.18)

Шевелев Денис Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: Denis.V.Shevelev@gmail.com

Соколов Максим Игоревич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ilannymax@gmail.com

А.С. Голиков

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ГЕНЕРАТОРА ВОЗМУЩЕНИЯ НА ФОРМУ НЕРАВНОМЕРНОСТИ, СОЗДАВАЕМОЙ ПРИ ЕГО РАБОТЕ

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

Физический эксперимент занимает значительную часть научного познания, в том числе и в области аэродинамики проточной части турбомашин [1]. Однако, эти исследования сопряжены с трудностями, обуславливаемыми особенностями течения рабочего тела по проточной части турбомашин. Поэтому реализация натурного эксперимента на реальной машине не всегда представляется возможным, и из-за этого изучение взаимодействия потока с рабочими органами чаще проводятся на экспериментальных установках различной степени сложности.

Одним из самых сложных явлений для изучения является вибрация лопаточного аппарата под воздействием потока [2].

Чтобы упростить задачу исследования приходится прибегать к упрощениям. Одним из них является замена реальной решетки лопаток на плоскую.

В тоже время, в рамках исследования влияния неравномерности давления на входе в выхлопной патрубок на возможность возникновения резонанса рабочих лопаток последних ступеней, необходимо спроектировать генератор, воссоздающий данную неравномерность (рис.1) [3].

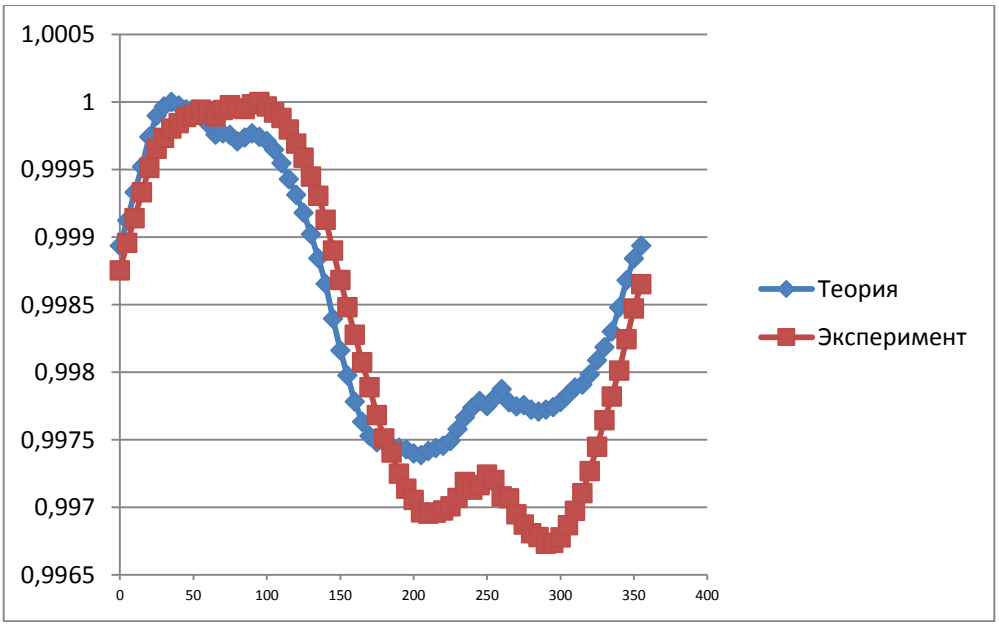


Рис.1. Неравномерность на входе в выхлопной патрубок.

Но в силу физических ограничений его конструкции, он может быть создан только в виде окружности с венцом стержней, генерирующих необходимую картину неравномерности (рис.2). Поэтому необходимо провести исследование, которое решит две задачи данного исследования:

1. Каков минимальный необходимый диаметр венца генератора, чтобы не учитывать его кривизну, а стало быть и искажения возмущения, действующего на плоскую решетку.

2. Как можно учесть искажение возмущения при воздействии его на плоскую решетку профилей.

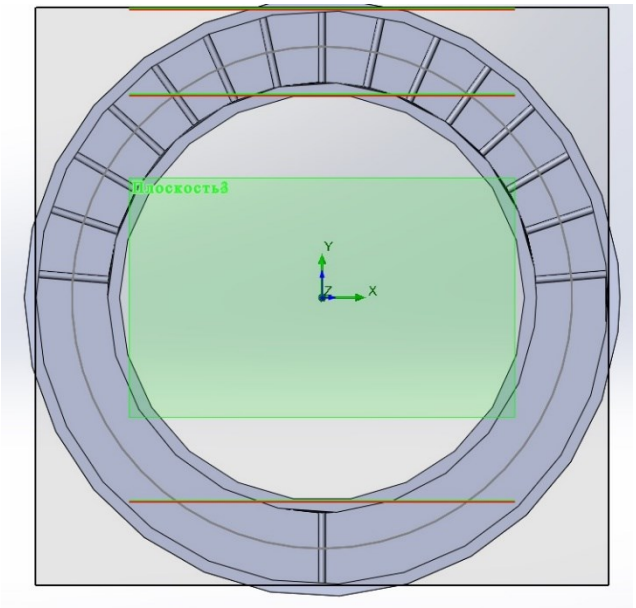


Рис. 2. Генератор неравномерности

Таким образом на основе данных математического эксперимента будет проведен анализ влияния размера генератора на создаваемую неравномерность давления и учет перехода от плоской решетки к реальной.

Список литературы

[1] *Повх Н. Л.* Аэродинамический эксперимент в машиностроении / Повх Н. Л. – «Машиностроение», 1974. –480 с.

[2] *Самойлович Г. С.* Нестационарное обтекание и аэроупругие колебания решеток турбомашин / Самойлович Г. С. –М.: 1969 –444 с

[3] *Голиков А. А., Сидоров А.А., Полникова Т.В.* Влияние диффузора на окружную неравномерность давления газа в выходном патрубке турбины, Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2015. - №6. - с. 20-25

Голиков Андрей Сергеевич – ст. преподаватель кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: golickov.a.s@yandex.ru

Д.С. Трутнев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

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

В связи со значительной неравномерностью электрической нагрузки в течение суток важной задачей является рациональное покрытие относительно кратковременных, но значительных пиков нагрузки. По числу часов использования максимума нагрузки различают базовые, полупиковые и пиковые агрегаты. Для базовых электростанций использование максимума нагрузки составляет в год 6000 - 7500 ч, для полупиковых и пиковых - соответственно 2000 - 6000 и 500 - 2000 ч.

При проектировании к базовым электростанциям предъявляется, прежде всего, требование высокой тепловой экономичности.

Рассмотрим основные способы покрытия пиков электрической нагрузки:

- использование гидроэлектростанций, благодаря простоте пуска, останова и изменения нагрузки;
- использование резерва мощности обычных паротурбинных энергоблоков, работающих в режиме частых пусков и остановов;
- применение высокоманевренных агрегатов, таких, как пиковые и полупиковые паротурбинные, газотурбинные, парогазовые и гидроаккумулирующие электростанции;
- использование временной перегрузки паротурбинных ТЭС за счет режимных мероприятий (изменение параметров пара перед турбиной, отключение ПВД и т.д.);
- аккумулирование энергии путем заполнения газохранилищ для сжатого воздуха, используемого затем в газотурбинных установках, накопление теплоты в виде горячей воды и электроэнергии в электрических аккумуляторах. [1]

В настоящее время большую популярность приобретают гидроаккумулирующие ГАЭС. Гидроаккумулирующие электростанции, в период минимальных электрических нагрузок, перекачивают воду из нижнего водохранилища в верхнее, потребляя энергию из сети, а в период максимальных нагрузок работают, как ГЭС [2]. В состав отечественных ГАЭС входят: Загорская ГАЭС, установленная мощность которой – 1200 МВт (первая очередь), 840 МВт (вторая очередь); Зеленчукская ГАЭС, установленная мощность – 160 МВт; Кубанская ГАЭС, установленная мощность – 15,9 МВт; Ленинградская ГАЭС, установленная мощность – 1560 МВт. В состав зарубежных ГАЭС входят: ГАЭС «Бас Каунти», США, установленная мощность – 3003 МВт;

ГАЭС «Хойчжоу», Китай, установленная мощность – 2448 МВт; ГАЭС «Динорвиг», Великобритания, установленная мощность – 1728 МВт.

При проектировании гидротурбин для ГАЭС необходимо стремиться к:

- уменьшению гидравлических потерь в рабочем колесе;
- уменьшению гидравлических потерь в отсасывающей трубе путем формирования оптимального для работы отсасывающей трубы потока;
- улучшению кавитационных характеристик гидротурбины для увеличения максимального значения мощности при том же заглублении гидротурбины;
- уменьшению нестационарных воздействий потока путем оптимизации рабочего колеса и установки стабилизирующих устройств [3];
- возможность работы в реверсном режиме.

Основные рекомендации по проектированию гидроаккумулирующих турбин приведены в [4].

В качестве исходных данных для проектирования гидротурбины ГАЭС берется график суточной нагрузки, который представлен на рисунке 1.

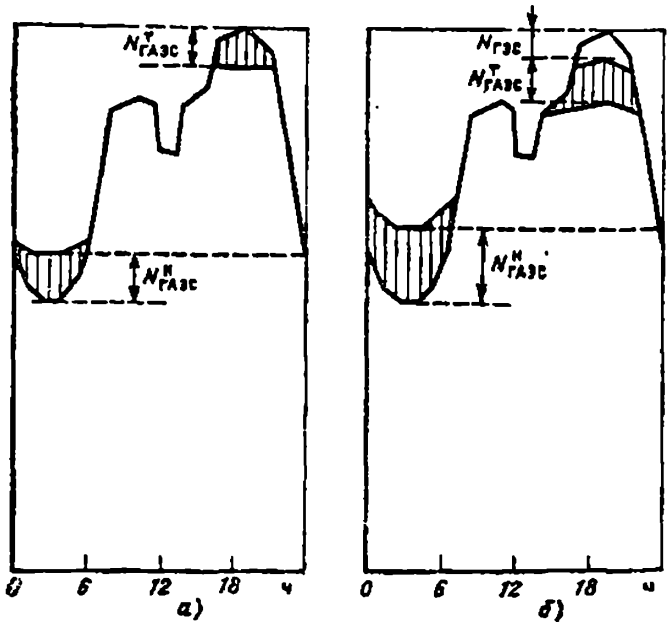


Рис.1 - Работа ГАЭС в графике суточной нагрузки энергосистемы, а – в пике; б –в полупике

С использованием рекомендаций работы [4], а также наиболее современных разработок в области исследования гидротурбин и гидроаккумулирующих ГЭС (например, [5,6]), в ходе дальнейшей работы планируется проектирование конструкции гидроаккумулирующей турбины, обладающей наилучшими эксплуатационными и экономическими характеристиками.

Список литературы

[1] Кириллин В.А., Сычев В.Ч. Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. - М.: Энергоатомиздат, 1983.

[2] Зысин Л.В., Сергеев В.В. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Часть 1. Возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 133 с.

[3] Силовые машины Проектирование и исследование гидротурбин. Режим доступа: http://power-m.ru/customers/hydropower/turbines/ (дата обращения: 02.10.2018).

[4] СО 153-34.20.161-2003 Рекомендации по проектированию технологической части гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций.

[5] ВНТП 41-85 Нормы технологического проектирования гидроэлектрических и гидроаккумулирующих электростанций.

[6] ГОСТ Р 55260.4.1-2013 Гидроэлектростанции. Часть 4-1. Технологическая часть гидроэлектростанций и гидроаккумулирующих электростанций. Общие технические требования.

Трутнев Дмитрий Сегреевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: serious_912@mail.ru

А.Д. Козлов, А.А. Анкудинов

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

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

Повышение надежности эксплуатации насосов для водоснабжения являются весьма актуальными проблемами и требуют проявления повышенного внимания как проектирующих, так и эксплуатирующих организаций.

Статистические данные по повреждаемости насосного оборудования. Существенное влияние на гарантированное обеспечение потребителей водоснабжением оказывает устойчивая, высокоэффективная работа насосных агрегатов, составляющих основную часть оборудования объектов водоснабжения и водоотведения. Отметим, что в суммарной оценке затрат на обслуживание насосов величина оплаты электроэнергии на привод, для отдельных отраслей промышленности, достигает более 85%, поэтому вопросы повышения КПД насосного оборудования являются актуальными и перспективными. [1]

В настоящее время основное направление технической политики в области совершенствования функционирования гидравлических систем связано в основном с модернизацией эксплуатируемого насосного оборудования и повышением согласованности используемых насосов с гидравлической сетью. По данным Europump, до 60% насосных станций, эксплуатирующихся в мире, работают с КПД всего лишь 10-40%, что обусловлено широким диапазоном реальной рабочей зоны, в которой вынуждены работать насосные агрегаты. Следует отметить, что данная область существенно отличается от оптимальной рабочей зоны, на которую насос был спроектирован. Второе обстоятельно, негативным образом воздействующее на энергоэффективность гидравлических систем, связано с невозможностью регулирования требуемого расхода экономичными способами, что в итоге также приводит к большим потерям энергии и значительному сокращению располагаемого ресурса гидромашины. [2]

Отмеченные обстоятельства показывают актуальность разработки методов, способных с повышенной достоверностью определять реальный ресурс насосного агрегата с учетом особенностей эксплуатации конкретных технологических циклов, а также модернизации эксплуатирующихся насосов с целью повышения их КПД.

Определение наиболее эффективных путей повышения надежности эксплуатации насосного оборудования на первых этапах должно основываться на результатах анализа повреждаемости насосного оборудования, эксплуатируемого на различных энергетических объектах.

Ликвидация причин, порождающих эти повреждения, одна из важнейших задач персонала теплоэнергетического объекта, направленная на снижение аварийности насосного оборудования и повышения надежности его работы.

Оценка работоспособности насосного агрегата необходима для принятия корректных, обоснованных решений по ряду вопросов, возникающих в процессе эксплуатации.

Повышение экономичности центробежных насосов на основе гидрофобизации поверхностей рабочих колес. Решение вопросов энергосбережения является приоритетным для повышения эффективности объектов водоснабжения и водоотведения. По данным Министерства образования и науки, в сфере потребления энергии лежит 70% возможности энергосбережения и только 30% - в сфере выработки энергии. В этой связи возрастает важность вопроса разработки и внедрения технологий, обеспечивающих снижение энергопотребления при более качественном обеспечении работы конкретных технологических циклов. [3]

Одной из таких технологий является метод модернизации поверхности проточных частей центробежных насосов на основе модификации функциональных поверхностей проточных частей рабочих колес (РК) насосов. Изменение свойств поверхности проточной части насоса обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик насосного агрегата с помощью гидрофобных покрытий. Создание гидрофобных пленок на поверхностях, имеющих пространственную геометрию, представляет сложную для реализации задачу и является одним из сдерживающих факторов широкого применения данной технологии для повышения рабочих характеристик насосов.

Список литературы

[1] Волков А.В., Панкратов С.Н. Анализ повреждений насосного оборудования на тепловых энергетических объектах// Тяжелое машиностроение. 2005. № 10. С. 2-6.

[2] Анкудинов А.А., Волчкова Е.В., Коротков В.В. Исследование насосов// Успехи современной науки, №11, том 3, 2016. – С. 32-37.

[3] Акользин А.П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. - М.: Металлургия, 1989. - 192 с..

Козлов Артем Дмитриевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ktogovorit@gmail.com

Анкудинов Анатолий Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: ankudinov051@yandex.ru

А.П. Железнов, А.А. Жинов

ПРИМЕНЕНИЕ ОЦР-ТЕХНОЛОГИИ В СИСТЕМАХ УТИЛИЗАЦИИ БРОСОВОГО ТЕПЛА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

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

В современном мире, в условиях ограниченности ресурсов, существует необходимость улучшения эффективности выработки тепловой и электрической энергии, а также более рационального использования органического топлива.

В развитии энергосберегающих технологий заинтересованы большинство энергетических компаний мира, в том числе и отечественные, например, такие как ПАО «Газпром».

Одним из перспективных направлений утилизации бросового тепла выхлопа газотурбинных двигателей является надстройка традиционной схемы таких установок с помощью органического цикла Ренкина (ОЦР) на базе газоперекачивающих агрегатов (ГПА) компрессорных станций (КС) газотранспортной системы.

В данной работе рассматриваются несколько возможных вариантов реализации такой схемы с применением ОЦР-технологии.

Обычно, уходящие из ГПА продукты сгорания, имеющие достаточно высокую температуру (350…550 ^{0}C), выбрасываются в атмосферу.

Установка надстройки с ОЦР позволяет использовать тепло отработавших газов для выработки электроэнергии в паротурбинной установке с паровой турбиной (ПТ) за счет нагрева и испарения органического рабочего тела (фреона, хладона и т.п.) в котле утилизаторе (КУ). На рисунке 1 представлена тепловая схема такой установки с ОЦР.

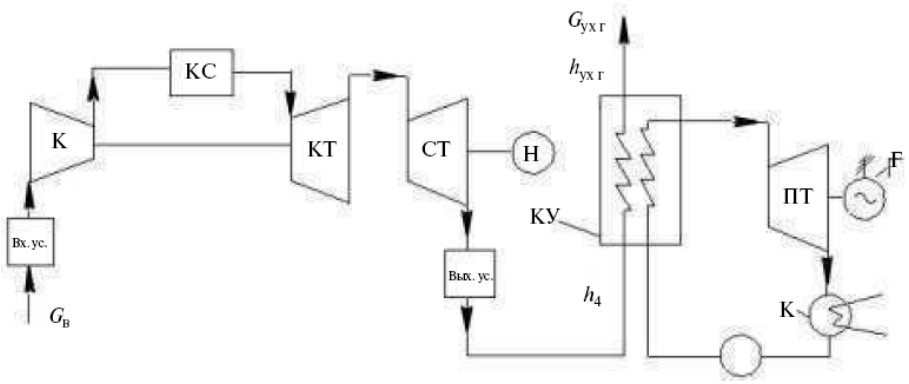


Рис.1 – Тепловая схема утилизационной установки с ОЦР

Существуют проекты установок такого типа с промежуточным контуром, где в качестве теплоносителя используется вода под высоким давлением или термомасло (Рис. 2) [4].

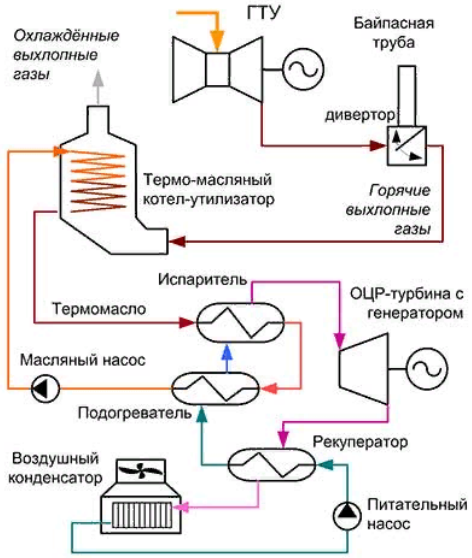


Рис.2 – Тепловая схема утилизационной установки
с промежуточным контуром и ОЦР

В России имеются примеры использования технологии утилизации бросового тепла ГПА. Например, на КС «Чаплыгин» Первомайского управления магистрального газопровода ООО «Мострансгаз» запущен в эксплуатацию утилизационный комплекс мощностью 500 кВт, работающий на выхлопных газах газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3. Этот ГПА является одним из самых распространенных в системе магистральных газопроводов России (322 шт.). В качестве рабочего тела в утилизационном цикле этой установки используется вода.

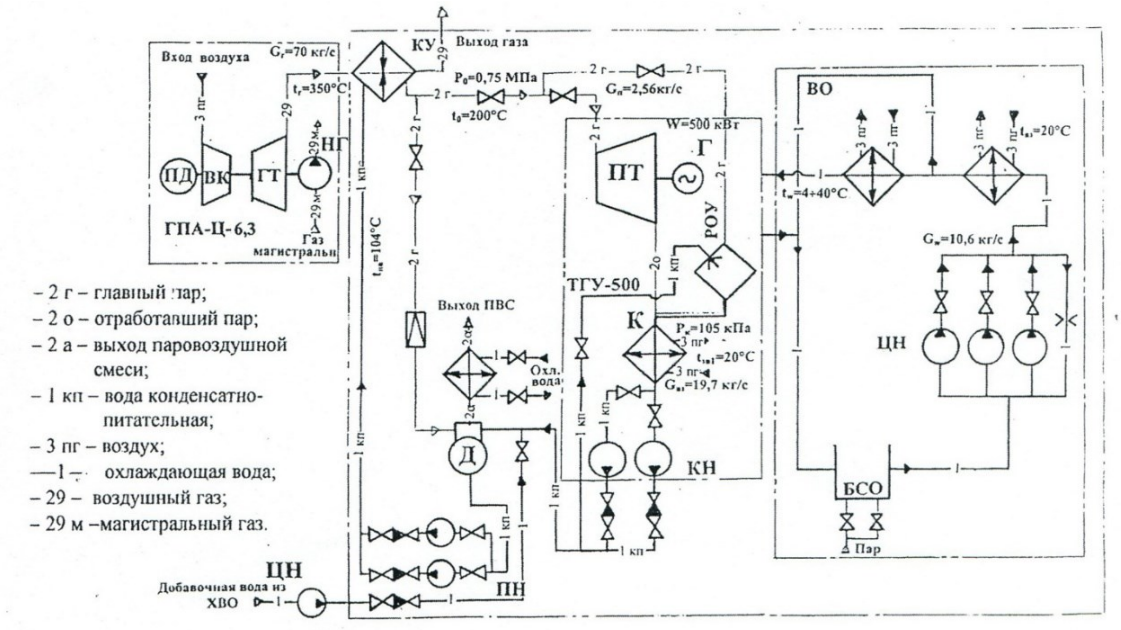


Рис.3 – Тепловая схема утилизационной установки на КС «Чаплыгин»
на базе ГПА – Ц -6,3

Выхлопные газы ГТУ агрегата ГПА-Ц-6,3 с температурой 340…360˚С поступают в котел-утилизатор, в котором охлаждаются для выработки 11,2 т/ч водяного пара с температурой t = 200˚С и давлением р = 0,99 МПа. Пар поступает на турбину типа «Кубань-0,75» (ТГ 0,75/0,4 Р 13/2, работающую на пониженных параметрах пара). Утилизационная установка производит 500 кВт электрической мощности. Тепловая схема этой установки представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 представлена схема пилотного проекта теплоутилизационного комплекса, работающего по ОЦР и реализованного на КС «Новокомсомольская» на базе ГПУ–16М. В данной установке в качестве рабочего тела использован хладон R21.

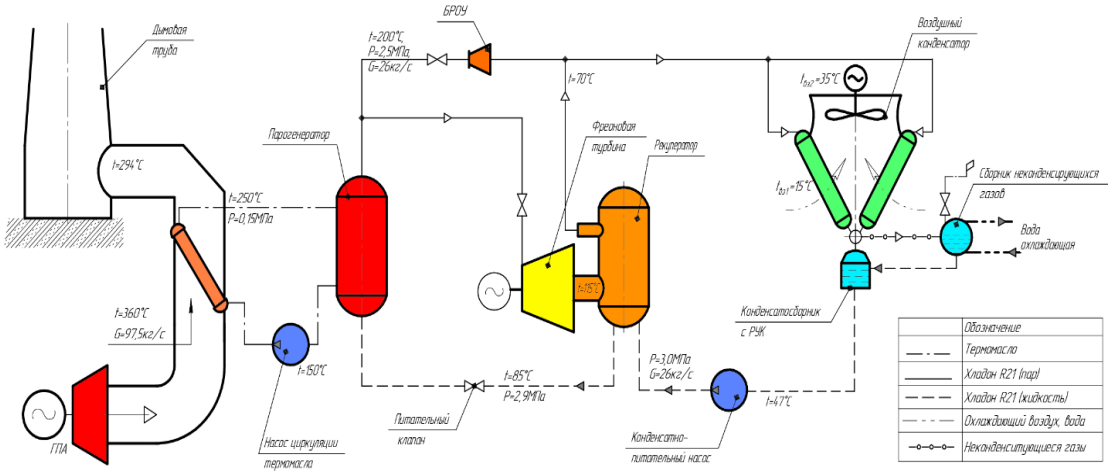


Рис.4 – Тепловая схема утилизационной установки на КС «Новокомсомольская» на базе ГПУ – 16 М

Одним из преимуществ данной схемы является использование низкокипящего рабочего тела в ОЦР, так как в условиях эксплуатации такой установки при отрицательных температурах окружающей среды имеется возможность остановки теплоутилизационного блока без риска замерзания рабочего тела в системе теплообменных аппаратов и трубопроводов по сравнению с циклом где в качестве рабочего тела используется вода.

Основные технические характеристики такого утилизационного комплекса:

- Электрическая мощность генератора, кВт – 1100
- Расход промежуточного теплоносителя (термомасла), кг/с – 30,4
- Температура промежуточного теплоносителя, ˚С:
  на входе – 150
  на выходе – 250
- Давление промежуточного теплоносителя, МПа 0,15
- Расход хладона R21, кг/с – 26
- Температура хладона, ˚С:
  за парогенератором – 200
  за конденсатором – 47

- Давление хладона R21, МПа:
  за парогенератором– 2,5
  в конденсаторе – 0,4
- Мощность конденсатно-питательного насоса, кВт – 62
- Мощность вентиляторов воздушного конденсатора, кВт – 64
- Расход греющего газа, кг/с – 97,5
- Температура греющего газа, ˚С:
  на входе – 360
  на выходе – 294
- Потери давления газа от турбины до дымовой трубы, кПа – 1,0
- КПД утилизационной установки (по отпущенной электроэнергии) – 0,14

Таким образом, целесообразно и реализуемо при современном уровне технологий создание теплоутилизационной энергоустановки, работающей по ОЦР на низкокипящем рабочем теле на базе существующих и строящихся компрессорных станций магистральных газопроводов.

При проектирования такой установки необходимо определить:

- типы ГПА, на основе которых будет реализован утилизационный цикл с ОЦР;
- оптимальную тепловую схему такой установки, путем расчетов различных вариантов схем и сравнения их характеристик;
- оптимальное рабочее тело с учетом термодинамических показателей эффективности цикла, экологических требований, а также требований пожаро- и взрывобезопасной эксплуатации;
- оптимальные параметры рабочего тела в цикле ОЦР.

Список литературы

[1] Забелин Н.А., Лыков А.В., Рассохин В.А. Оценка располагаемой тепловой мощности уходящих газов газоперекачивающих агрегатов единой системы газоснабжения России / Научно технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.4-1(183), 2013, стр. 138.

[2] Опыт создания и эксплуатации БУТЭК на КС «Чаплыгин». http://energyfuture.ru/butek4.

[3] Федоров В.А. Мильман О.О. Конденсаторы паротурбинных установок. Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013, стр.402. https://e.lanbook.com/reader/book/106296/#402.

[4] Применение ОЦР-технологии в системах утилизации бросового тепла https://aqua-therm.ru/articles/articles_429.html

Жинов Андрей Александрович – канд. техн. наук, зав. кафедрой "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: jinov@mail.ru

Железнов Алексей Павлович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alexej.zheleznov2016@yandex.ru

Н.Н. Шинкевич

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕНДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТА УЗЛОВ ПУТЕВЫХ МАШИН

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

Большинство путевых машин могут использоваться как при строительстве новых железных дорог, так и во время их ремонта и текущего содержания. Но некоторые путевые машины специализированы либо только на выполнении работ, производящихся при ремонте и текущем содержании пути (например, звеноразборочные поточные линии, путеуборочные машины), либо на сооружении верхнего строения пути (например, тракторные путеукладчики, как более мобильные). [1] Для ремонта и текущего содержания пути созданы путевые машины, либо производящие определенные операции, либо выполняющие комплекс работ в их технологической последовательности.

Различают автономные путевые машины, имеющие энергетическую базу, к которой подключаются все двигатели машины (путеукладчик, дрезина, балластоуплотнительная, шпалоподбивочная машина и др.), и неавтономные путевые машины, у которых энергетическая установка отсутствует, и электрическая энергия или энергия сжатого воздуха поступает к рабочим органам машины от локомотива (роторный снегоочиститель, щебнеочистительная машина, путевой струг). [2]

Все путевые машины включают в себя гидравлические системы, которые необходимо регулярно обслуживать, а также проводить запланированный и незапланированный ремонты. Для экономии средств, рабочего времени и материальных ресурсов используют стенды, на которых можно сымитировать реальные условия работ машины для определения качества проведенного ремонта деталей и узлов. В зимний период очень проблематично производить обкатку путевых машин из-за низких температур, но благодаря стендам можно производить обкатку, не выезжая из ремонтного цеха. Испытанию подвергаются как отремонтированные, так и новые подбивочные блоки. [3]

Существует много фирм, которые производят стенды, наиболее крупные из них:

- Транс-компонент;
- АВА Гидроком;
- Стройдеталь-сервис;
- ИстМЗ.

Рассмотрим стенд от компании «АВА Гидроком» (Рис.1) поконкретнее, поскольку она сотрудничает с предприятиями Калуги и специализируется на производстве и проектировании гидравлических приводов и систем.

Рис.1 Стенд для повышения эффективности ремонта узлов путевых машин

Стенд компании “АВА Гидроком” (Рис.1) предназначен для проверки качества изготовления, сборки и ремонта, а также обеспечения первоначальной приработки элементов подбивочного блока машин, который контролирует следующие параметры:

- давление сжима разжима подбоек (3,5 ... 12 МПа)
- частота вращения вибровала (0 ... 2100 об/мин)
- температура масла в расходном баке стенда - до 100С°
- температура подшипников вибровала - до 115 С°
- температура осей шарнирных соединений рычагов и гидроцилиндров
- герметичность уплотнений и штуцерных соеденений
- герметичность системы смазки и центральных шарниров
- качество перемещение штоков гидроцилиндров
- отсутствие посторонних шумов при работе блока

Так же данный стенд имеет следующие параметры:

- рабочее давление до 13 МПа
- номинальный расход 118 л/мин
- объем бака 1300 л
- вес гидроагрегата 1850 кг

Сейчас много средств вкладывают в развитие техники, особенно когда это связано с функционированием ЖД транспорта России, ведь это основа транспортной инфраструктуры страны. Производители стендов постоянно

модернизируют выпускаемую ими продукцию. Все стенды компьютеризированы для снятия более точных показаний. Это позволяет значительно расширить возможности стендов.

Список литературы

[1] *Попович М.В., Бугаенко В.М., Волковойнов Б.Г.* Путевые машины

[2] *Бабич А.В., Манаков А.Л., Щелков С.В.* Ремонт машин в строительстве и на железнодорожном транспорте

[3] Прогнозы, статистика в области промышленных стендов. (б.д.). Получено из Trends: http://robotrends.ru/robopedia/novosti-prognozy-statistika-v-oblasti-promyshlennyh-stendov

Шинкевич Николай Николаевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: nick-next@mail.ru

А.Н. Сизов, И.В. Макаров

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ В ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

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

Системы линейных перемещений

Системы (технологии) линейных перемещений представляют собой готовые к установке устройства, состоящие из приводов (как правило, электромеханических) и направляющих. [4] Такие приводы строятся на базе либо шариковинтовой, либо роликовинтовой пары, характеризующихся сверхвысокой точностью обработки рабочих поверхностей и высокой скоростью перемещения при больших нагрузках. Готовые технические решения на ряд нагрузок и скоростей перемещения помогают пользователю быстрее произвести расчет и их сборку для соответствующих областей применения.

В машиностроении наиболее часто применяются 3 вида передачи: ШВП, ходовые метрические или трапецеидальные винты и зубчатая рейка (ролико-винтовые передачи). Между ними есть существенные различия. Ходовые трапецеидальные винты базируются на трении скольжения, имеют большую площадь контакта и как следствие - высокую жесткость и грузоподъемность, но низкий КПД. Высокое трение также ограничивает скорость передачи. [2] Шарико-винтовые передачи обладают высоким КПД благодаря трению качения. Это позволяет достичь достаточно высоких скоростей, однако жесткость ШВП значительно уступает трапецеидальному винту, и грузоподъемность ШВП тоже намного ниже, чем у ходового винта аналогичного размера - площадь контакта шариков с беговой дорожкой меньше, чем у трапецеидальной резьбы.

Технологии линейных перемещений в последнее десятилетие получили бурное развитие с точки зрения улучшения самой технологии – благодаря новым конструкционным материалам и доступной теперь сверхвысокой точности обработки рабочих поверхностей. Все это привело к достижению новых, более высоких значений развиваемых скоростей перемещения, усилий и повышенной точности перемещения, недоступных ранее для линейных приводов. Не случайно они все шире применяются в различных отраслях как машиностроения, так и в эксплуатирующих организациях энергетики (гидроэлектростанции, ТЭС, ТЭЦ и т.п.). Приблизительно с начала 2000-х годов наметилась такая тенденция и в гидравлике – в частности, при разработке систем управления силовыми гидроприводами. Традиционная схема требует для управления перепадом давления в полостях гидропривода дополнительного узла – отсечного золотника, обеспечивающего подвод и

отвод рабочей жидкости в нужные каналы (полости) в нужной степени [7]. В большинстве гидравлических систем быстродействующих стационарных и мобильных объектов, применявшихся до 2000-х, управление этим золотником также было гидравлическим, что требовало дополнительную ступень предусиления и усложняло конструкцию. Использование существующих линейных электроприводов для этой цели ограничивалось их относительно меньшим быстродействием и малыми развиваемыми усилиями, однако теперь эти недостатки в значительной степени преодолены в конструкциях ШВП и РВП, рассмотренных далее.

Шариковинтовой привод (ШВП)

Уже в древности винтовые приводы скольжения использовались для преобразования вращательного движения в линейное. Шариковинтовой привод впервые упоминался в литературе в 19-ом веке. Он заменил трение скольжения на трение качения. Первое промышленное применение такого привода приходится на 1940-ые годы, когда General Motors начала использовать шариковинтовые приводы в системах рулевого управления в автомобилях. Вскоре появились и другие области промышленного применения. С тех пор процессы конструирования и изготовления сделали гигантский скачок вперед. Сегодня шариковинтовые приводы находят широкое применение в разных отраслях промышленности, строительстве станков. Во многих случаях эти передачи не взаимозаменяемы, и встает вопрос поиска компромисса между точностью, жесткостью и нагрузочной способности. Причем очень часто сухие цифры спецификаций не помогают сформировать представление о функциональности той или иной передачи, чтобы сделать выбор.

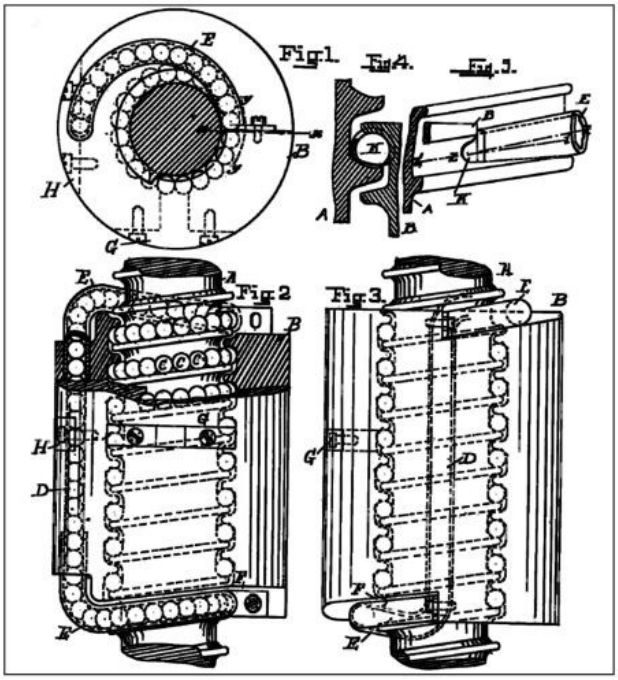


Рис.1. Шариковинтовой привод (ШВП)

Производители ШВП указывают данные для статической и динамической осевой грузоподъемности, и точности шага винта. Динамическая грузоподъемность характеризует диапазон нагрузок, при которых винт отходит расчетный ресурс, а точность шага характеризует прежде всего точность всей передачи. Винты ШВП делятся на 2 больших класса - катаные и шлифованные. Шлифованные дороже, точнее, сложнее в производстве, чем катаные. [1]

Роликовинтовой привод (РВП)

Планетарная ролико-винтовая передача (зубчатая рейка для ЧПУ) объединяет в себе плюсы ШВП. Зубчатая рейка РВП обладает большой площадью контакта между резьбой роликов и резьбой винта, что означает больший ресурс и грузоподъемность, чем у ШВП, а также значительно большую жесткость. (Рис.2)

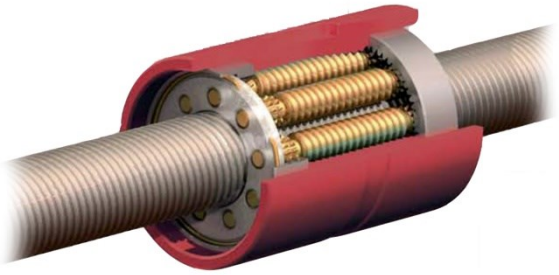


Рис.2. Роликовинтовой привод (РВП)

Поскольку ролики разъединены кольцом по типу планетарной передачи, они не обладают паразитным взаимным трением, как шарики в ШВП, и это дает возможность достигать больших угловых скоростей и ускорений винта. [3] И все это - без существенных потерь КПД, так как ролики все же используют трение качения для перемещения по резьбе винта.

Применение линейных приводов в электрогидравлических системах позиционирования

Описанные выше качества РВП и ШВП сделали неизбежным их применение в том числе и для систем управления положением (позиционирования) рабочего органа, таких как например, системы регулирования и, в частности, системы регулирования теплофизическими параметрами турбоагрегатов [8]. Основными такими параметрами являются частота вращения ротора и давление пара перед турбиной. Высокие паровые усилия, действующие со стороны паровой среды на регулирующие клапаны, требуют мощных приводов, а резкие сбросы (скачки) мощности или иные возмущения в электросети – высокой скорости отработки управляющих воздействий. Именно поэтому долгое время в качестве приводных механизмов для управления положением регулирующих паровпускных клапанов применялись гидроприводы со своими системами управления, тоже как правило гидравлическими (на базе отсечных золотников, втулок и импульсных гидролиний между ними). Однако, благодаря новым качествам, переданным приводам благодаря РВП и ШВП, управлять положением отсечного золотника в подобных системах стало значительно проще и экономичнее [6]. На рисунке 3

приведен фрагмент принципиальной схемы, иллюстрирующей такое применение, на примере электрогидравлической системы регулирования частоты вращения и давления пара паротурбинной установки ТК-35/38-3,4 для плавучей атомной станции (ПАТЭС).

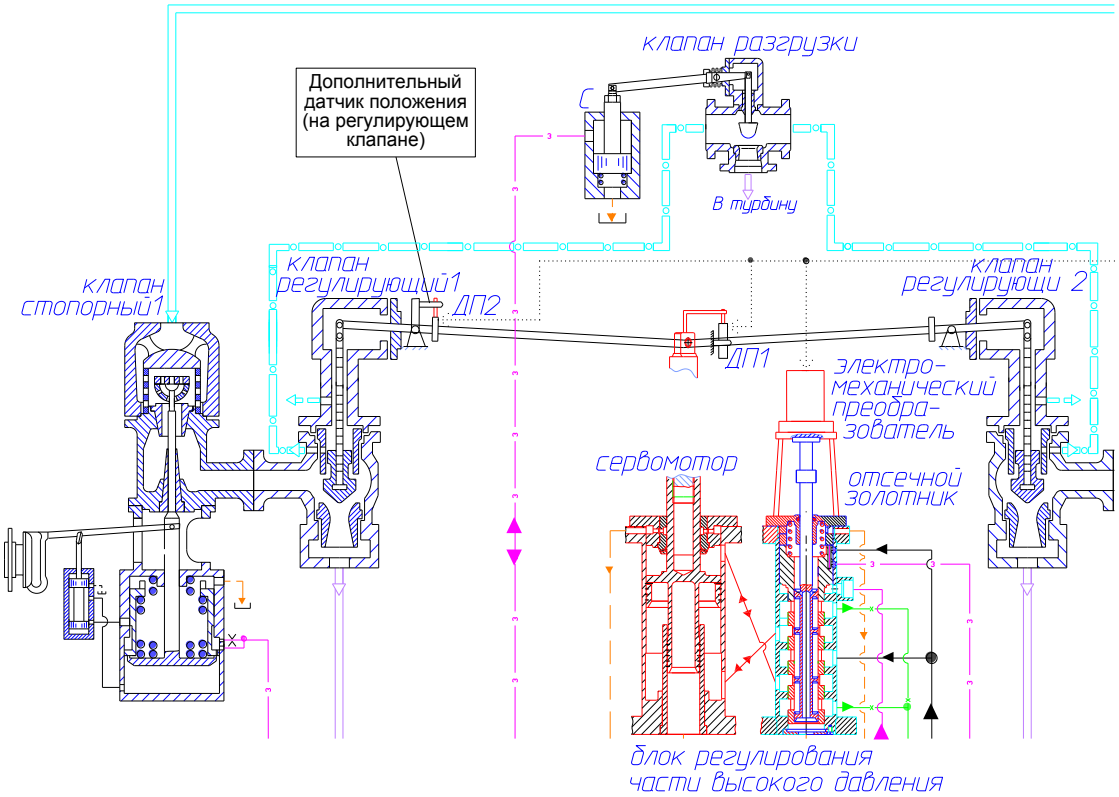


Рис.3. Контур регулирования частоты вращения в типовой современной электрогидравлической системе регулирования паровой турбины

В качестве приводов при этом используются электромеханические привода в основном иностранного производства марки Exlar (рис. 4).

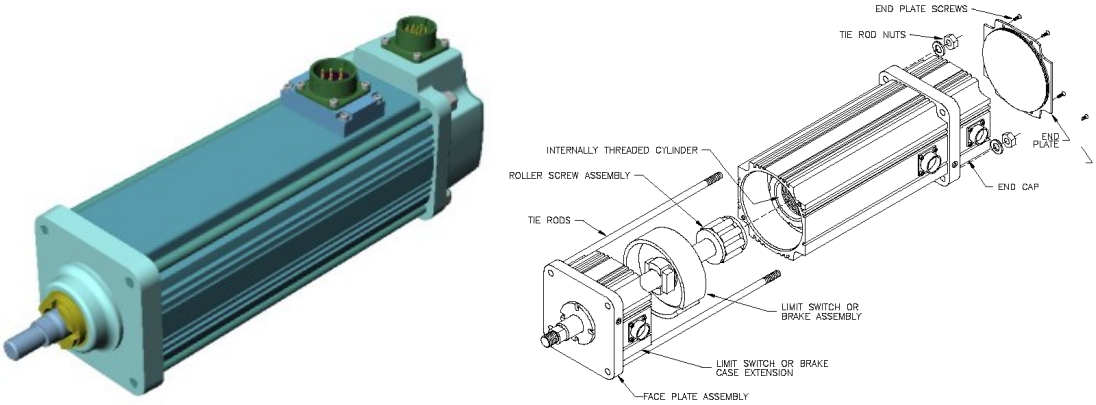


Рис. 4. Электромеханические преобразователи Exlar из состава систем регулирования турбин, которые устанавливаются на отсечных золотниках их блоков регулирования и задают положение паровых регулирующих клапанов

В заключение хочется отметить, что электрогидравлические приводы с пропорциональным электроуправлением являются хорошим конструкторским решением, поскольку обладают достоинствами как электроники (точность, простота настройки, управления и обслуживания), так и гидравлики (высокое развиваемое усилие, высокое быстродействие), компенсируя отчасти при этом недостатки друг друга.

Список литературы

[1] Bosch Rexroth AG. Технология линейных перемещений Справочное руководство R310RU 2017 (2008.01) – 9,10 с.

[2] Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН, 2003

[3] Алексеев П.В. Моделирование и расчет линейного электромагнитного привода. Методические указания. - СПб., 2001

[4] Электромеханические приводы нового поколения производства ЗАО «Диаконт» (http://www.diakont.ru)

[5] Проектирование автоматизированных станков и комплексов: учебник в 2 т. / под ред. П.М. Чернянского. – 1-е изд., испр. – М.: издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2014.

[6] Сизов А.Н., Мусатов Е.А., Чубаров Ф.Л., Гусев И.В. Применение высокоточных быстродействующих следящих электромеханических приводов в электрогидравлических системах регулирования частоты вращения паровых турбин. Теоретические и прикладные аспекты современной науки: сборник научных трудов по материалам V Международной научно-практической конференции 30 ноября 2014 г.: в 6 ч. / Под общ. ред. М.Г. Петровой. – Белгород: ИП Петрова М.Г., 2014. – Часть III. – с.133-139.

[7] Кирюхин В.И., Тараненко Н.М., Огурцова Е.П. и др. Паровые турбины малой мощности КТЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

[8] Булкин А.Е. Автоматическое регулирование энергоустановок. Пособие для вузов / А.Е. Булкин. - М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

Сизов Александр Николаевич –канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: sizov_an@ktz.power-m.ru

Макаров Игорь Владиславович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: makar5883@gmail.com

В.С. Антипов

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ГАЗА МЕЖДУ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ СТАНЦИЯМИ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕГУЛИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

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

Поддержание сбалансированного режима работы газотранспортной системы (ГТС) является одной из важнейших задач диспетчерского управления. ГТС должна иметь достаточные возможности удовлетворить спрос на газ потребителей, в том числе и в случаях резкого колебания спроса по календарным, погодным, экономическим и иным причинам. При этом система должна эксплуатироваться в безопасном режиме, оптимальном по выбранным критериям (чаще всего минимизация энергетических затрат на транспорт газа).

К сожалению, на данный момент не существует единой методики, позволяющей произвести расчет перераспределения потоков газа между газотранспортными станциями.

Цель данной работы – разработка методики оптимизации перераспределения потоков газа между газотранспортными станциями.

В качестве первого этапа разработки данной методики проведен анализ работы по исследованию технической возможности приема газа Южно-Русского месторождения в ЕСГ ОАО «Газпром». Главной целью работы являлось:

1. Анализ увеличения пропускной возможности ГТС Заполярное-Уренгой за счет строительства:
   - газопровода от 72 км. г-да Заполярное-Уренгой до КС «Пуртазовская»;
   - газопровода от КС «Пуртазовская» до ГКС-2 «Новоуренгойская»;
   - перемычки ГКС-2 – ГКС-1;
   - Цеха 4 на КС «Пуртазовская» и Цеха 2 на ГКС-2 «Новоуренгойская»
2. Анализ динамики объемов поставок газа от эксплуатируемых и запланированных к разработке месторождений;
3. Аналитика по вышеуказанным вопросам проведена на основе фактических режимов работы объектов ГТС.

Исходя из приведенного примера, с целью разработки единой методики оптимизации, целесообразным представляется проведение следующих этапов исследования работы газотранспортных систем:

1. Начальный шаг – сбор или оценка заявок на поставку газа и планирование производственной программы работы компании в целом и ГТО – план транспорта газа. Это ограничение задается контрактными обязательствами перед заказчиками.

2. На основе плана разрабатываются режимы, или технологические карты работы оборудования, с целью выполнения плана при желательной минимизации затрат по топливному газу. Это технологическое ограничение. Отдаются команды и распоряжения, осуществляется наблюдение за процессами. В дальнейшем к процессу работы подключается персонал операторных и диспетчерских филиалов компании, отвечающих за работу оборудования и выхода КС и других систем на заданные режимы.

3. Далее могут возникнуть возможные «возмущения» и отклонения от плана транспорта газа и рассчитанного начального режима работы оборудования. Прежде всего это изменения в потреблении газа, вызванные экономическими или погодными причинами. В результате появляется избыток или нехватка природного газа. Во-вторых, это техногенные причины – возможные аварии или запланированные ремонтные работы. Для выявления отклонения режима по ГТС в целом используются оперативные (технологические) балансы газа.

4. Отклонения от заданного стабильного режима работы приводят к необходимости оценивать ситуацию и принимать решения – как по изменению графика поставок и по потокам газа, так и по работе технологического оборудования (например, локализация аварии, отключение участка и т. д.).

5. Наконец, и по технологической части, и по «поставкам» необходимо составлять отчетные документы. Важнейшей частью отчетов является баланс газа по предприятию – в отличие от оперативного баланса, он составляется по итогам месяца на основе проверенных показателей и служит, в том числе, для коммерческих расчетов. Эти отчеты являются отправной точкой для уточнения планов дальнейших поставок топлива.

Таким образом, в результате проведенного анализа намечены основные ограничения и этапы на пути разработки методики оптимизации перераспределения потоков газа между газотранспортными станциями.

Ключевую роль в обеспечении сбалансированной работы газотранспортной системы играет диспетчерское управление на уровне газотранспортного предприятия, осуществляющее постоянный мониторинг и анализ сети. Важными методами мониторинга являются анализ режимных показателей, расчеты газовых балансов, оптимизационное и прогнозное моделирование развития режимов, автоматизация анализа и поддержки принятия решений. По результатам мониторинга система управления оказывает воздействия на регулирующие устройства. Проектирование таких регулирующих устройств является одной из важнейших задач при оптимизации диспетчерского управления перераспределением потоков топлива между ГТС.

Целью проектной разработки в рамках данной работы является совершенствование конструкции регулирующего клапана, в качестве прототипа которого используется клапан осевого типа фирмы Моквелд. Он отличается большой жесткостью, не требует частого обслуживания и спроектирован с целью получения высокой эффективности в широком диапазоне применения регулирующей арматуры. Спрямленная осесимметричная проточная

часть устраняет вихревые течения и неоправданные изменения направления потока среды в клапане. Это дает значительное снижение уровня шума и турбулентности, а также предотвращает эрозию, вызываемую неочищенными средами при эксплуатации клапанов на месторождениях. Конструкция осевого типа обеспечивает большую пропускную способность при том же диаметре, чем любая обычная конструкция.

Однако, с учетом постоянного изменения расхода газа через клапан, в его конструкцию могут быть внесены изменения, которые улучшат эффективность его работы.

Список литературы

[1] Р Газпром 098-2011 Моделирование и оптимизация потоков газа по участкам ГТС для решения задач оперативного диспетчерского управления на основе базы данных ЦПДД ОАО «Газпром».

[2] Снежин А.Н., Петров С.В./ Алгоритм управления распределением потоков газа в замкнутой газотранспортной системе / https://www.science-education.ru

[3] Л.И. Бернер, А.А. Ковалев, В.В. Киселев. Управление газотранспортной сетью с использованием методов моделирования и прогнозирования/ Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности, 1/2013.с 48-53.

[4] Сухарев М.Г., Ставровский Е.Р. Оптимизация систем транспорта газа. -М.: Недра, 1975. - 277 с

[5] Weigend A.S., Huberman B.A., Rumelhart D.E. Predicting the Future: A Connectionist Approach // International Journal of Neural Systems. 1990. Vol. l.-P. 193-209.

[6] Казак К.А. Системный анализ потребления газа // Наука и техника в газовой промышленности. 2010. №2.-С.19-23.

[7] Сарданашвили С.А. Расчетные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа). М.: Нефть и газ, 2005. - 576 с.

[8] Эффективность работы компрессорных станций магистральных газопроводов / А.Ф. Калинин, А.С. Лопатин, А.Ю. Топоров, К.Х. Шотиди // Научно-технический сборник «Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт». – М.: РГУ нефти и газа им. Губкина 2004, №2, с.42-46.

[9] СТО Газпром 2-4.1-212-2008. Общие технические требования к трубопроводной арматуре, поставляемой на объекты ОАО «Газпром». М.: ОАО «Газпром», 2008. С. 23, 24.

[10] https://mokveld.com.

Антипов Вадим Сергеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: beowulf1064@gmail.com

А.С. Кувшинов

СИСТЕМЫ ПЕРЕКАЧКИ НЕФТИ НА НЕФТЕПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ СТАНЦИЯХ

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

Для создания и поддержания в трубопроводе напора, достаточного для обеспечения транспортировки нефти, необходимы нефтеперекачивающие станции. Основное назначение каждой нефтеперекачивающей станции состоит в том, чтобы забрать нефть из сечения трубопровода с низким напором, с помощью насосов увеличить этот напор и затем ввести нефть в сечение трубопровода с высоким напором [1]. Основными элементами НПС являются насосные агрегаты, резервуары, системы подводящих и распределительных трубопроводов, узлы учета, устройства приема и пуска очистных устройств и поточных средств диагностики, а также системы смазки, вентиляции, отопления, энергоснабжения, водоснабжения, автоматики, телемеханики и т.п.

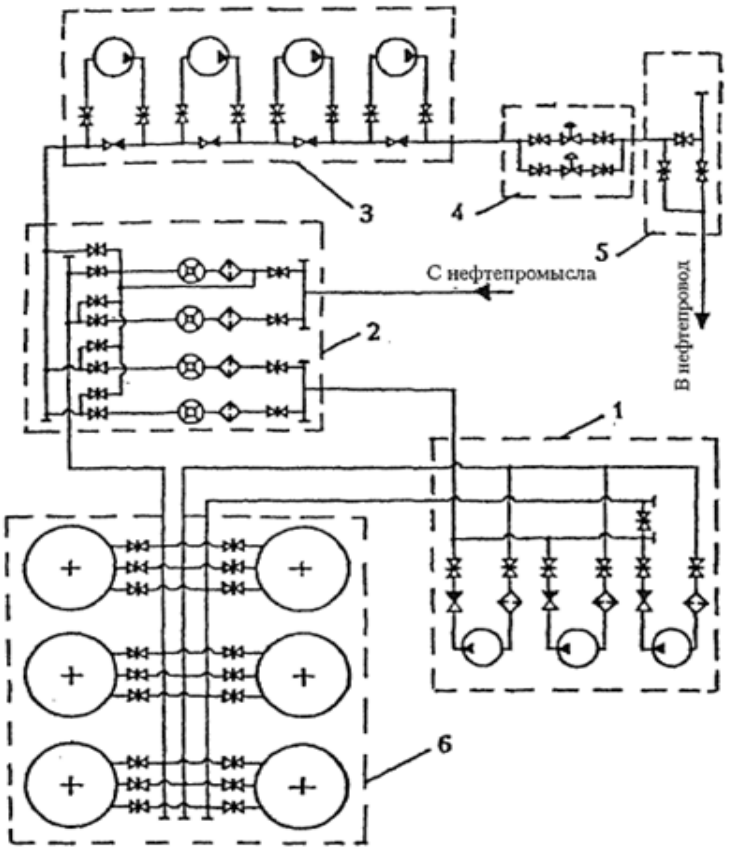


Рис. 1.1. Технологическая схема головной НПС. 1 – подпорная насосная; 2 – площадка фильтров и счетчиков; 3 – основная насосная; 4 – площадка регуляторов; 5 – площадка пуска скребков; 6 – резервуарный парк

В зависимости от того как организовано прохождение нефти через нефтеперекачивающие станции различают следующие системы перекачки (рис. 1.2):

– постанционная;
– через резервуар станции;
– с подключенными резервуарами;
– «из насоса в насос»

При использовании схемы перекачки «из насоса в насос» резервуары промежуточных НПС (если они имеются) отключаются от трубопровода и нефть с предыдущего участка подается непосредственно в насосы этих станций для дальнейшей транспортировки по следующему участку (см. рис. 1.2, г). Такая схема перекачки весьма прогрессивна, поскольку исключает промежуточные технологические операции и неизбежно связанные с ними потери нефти. Кроме того, она значительно удешевляет технологию, поскольку исключает сооружение дорогостоящих резервуарных парков. Недостатком этой схемы является «жесткая» гидравлическая связь всех участков, работающих в этом режиме, поскольку любое изменение на одном из них вызывает изменение на всех остальных. В частности, аварийная остановка одного участка ведет к остановке всех участков, связанных с ним режимом перекачки. Именно поэтому нефтепроводы большой протяженности, работающие по системе «из насоса в насос», делят на эксплуатационные участки, разделенные резервуарными парками.

При использовании постанционной схемы перекачки нефть на НПС принимают поочередно в один из резервуаров станции, в то время как закачку нефти в трубопровод осуществляют из другого резервуара (см. рис. 1.2, а). Преимущество постанционной схемы перекачки заключается в том, что отдельные участки нефтепровода оказываются не связанными той жесткой гидравлической зависимостью, которая имеет место в случае перекачки «из насоса в насос», поэтому нефтепровод имеет большую степень надежности и способности к бесперебойной поставки нефти потребителю. Кроме того, при постанционной схеме возможен порезервуарный учет количества транспортируемой нефти, что очень важно для контроля за сохранностью продукции. Основным недостатком постанционной схемы перекачки являются высокая стоимость сооружения и эксплуатации резервуарных парков, а также потери нефти при больших дыханиях резервуаров, связанных с выбросами паров нефти в атмосферу при заполнении резервуаров. Постанционная схема перекачки применяется в основном на головных НПС нефтепровода [2].

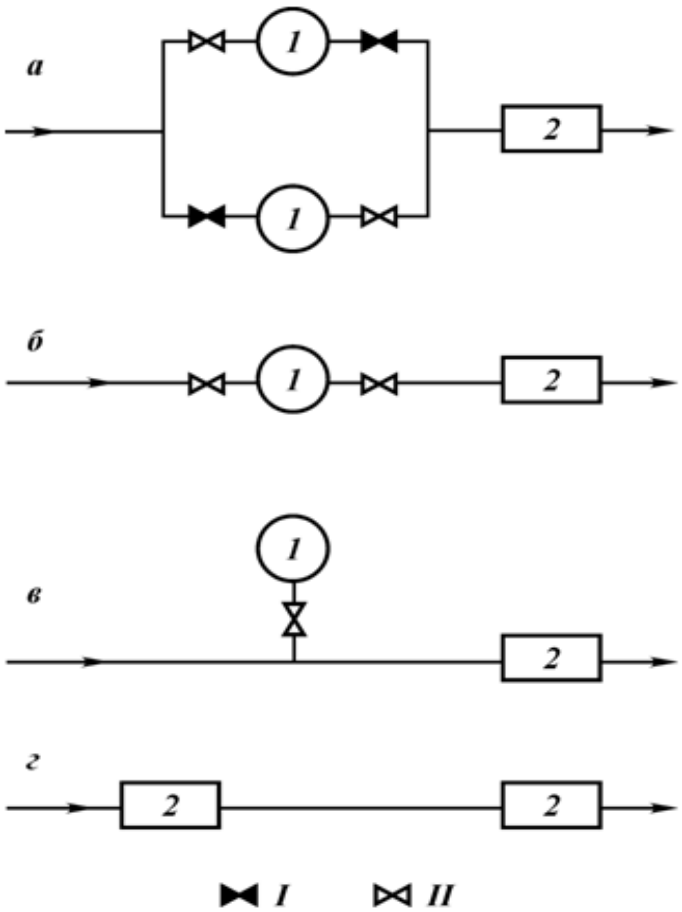


Рис. 1.2. Основные технологические схемы перекачки нефти:
а – постанционная; б – через резервуар; в – с подключенным резервуаром;
г – «из насоса в насос»; I – задвижка закрыта; II – задвижка открыта;
1 – резервуар; 2 – насосный цех

При использовании схемы перекачки через резервуары (см. рис. 1.2, б) нефть с предыдущего участка поступает в резервуар ПНПС и закачивается также из этого резервуара. Такая схема делает соединение участков нефтепровода более «мягким» в гидравлическом отношении. Кроме того, в резервуаре происходит гашение волн давления, связанных с изменениями режима перекачки, что повышает надежность эксплуатации нефтепровода, однако, этому способу присущи все недостатки предыдущего и в настоящее время он практически не используется.

Схема перекачки с подключенными резервуарами (см. рис. 1.2, в) предусматривает, что основное количество нефти прокачивают по трубопроводу, минуя резервуар, однако, при этом допускается, что расходы нефти на предыдущем и последующем участках могут в течение некоторого времени отличаться друг от друга, а дебаланс расходов компенсируется сбросом или подкачкой части нефти в подключенный резервуар. При синхронной работе участков, т.е. перекачке с одним и тем же расходом, уровень нефти в подключенном резервуаре остается постоянным [3].

В целях обеспечения стратегических и экономических интересов в России, необходимо развивать существующую инфраструктуру транспорта нефти, а также расширять строительство объектов трубопроводного транспорта. Планируется, что система трубопроводного транспорта нефти будет развиваться в четырех направлениях для обеспечения экспорта российской нефти и транзита нефти из стран СНГ через территорию России. Восточной Сибири, а также на шельфе Каспийского моря позволяет прогнозировать увеличение объемов добычи нефти и ее транзита, что будет способствовать загрузке существующих мощностей системы магистральных нефтепроводов и строительству новых трубопроводов.

Список литературы

[1] Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела. Учебник для ВУЗов: - Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001 - 544 с.: илл.

[2] Трубопроводный транспорт нефти / Г.Г. Васильев, Г.Е. Коробков, А.А. Коршак и др.; Под редакцией С.М. Вайнштока: Учеб. для ВУЗов: В 2 т. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. - Т. 1. - 407 с.: ил.

[3] Анкудинов А.А., Волчкова Е.В., Коротков В.В. Исследование магистральных насосов// Успехи современной науки, №11, том 5, 2016. – С. 25-27.

Кувшинов Александр Сергеевич– студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: alekc571015@yandex.ru

Г.М. Калюжный, Е.А. Юрик

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ПОТОКОВ ГАЗОВ

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

Известно, что тела либо поглощают свет, либо отражают, либо преломляют его, или, может быть, все вместе. Если тело не отражает, не преломляет и не поглощает свет, оно не может быть видимо само по себе.

Существуют различные стенды, широко применяемые для качественных исследований. Используемые в них методы наглядны и точны. Они надежно фиксируют отклонение светового луча в десятые доли секунды. Области применения теневых методов:

1. Изучение процессов в газах: ударные волны, визуализация дозвуковых потоков, измерение скорости движения неоднородностей (ударных волн, пламени), исследование явлений термодиффузии, конвективных потоков вокруг нагретых тел;
2. Исследование гидродинамических явлений;
3. Исследование распространения звуковых и ультразвуковых колебаний в акустике;
4. Контроль изготовления стекла на оптических заводах;
5. Исследование явлений растворения, перемешивания и т. п. в химии;
6. Изготовление крупной астрономической оптики;
7. Исследование микроскопических препаратов. [1]

На рисунке 1 изображена схема установки, выполненной по прямотеневому методу, суть которого состоит в том, что с помощью светового источника и собирающей линзы генерируется параллельный пучок света, которым «просвечивают» исследуемый участок воздушной среды. При наличии неоднородности совокупность отклоняемых ею лучей формирует изображение, которое фокусируется второй линзой на экран или в телекамеру. Однако в случае слабых возмущений плотности воздуха прямотеневое изображение получается малоконтрастным, с плохо различимыми деталями.

Рис. 1. Схема установки по теневому методу

Если надо уменьшить изображение до размера входного объектива регистрирующей телекамеры, то между изучаемой областью и экраном ставят

собирающую линзу. На полученных таким методом фотографиях можно, например, увидеть положение и форму ударных волн и турбулентности в пограничном слое потока вдоль препятствия. Поскольку на ударных волнах перепад плотности очень большой, они выглядят как темные линии, потому что отклоняют излучение очень сильно. В дозвуковых потоках, но при достаточно высоких (околозвуковых) скоростях течения перепады плотности не такие сильные, однако если вдоль хода луча размер неоднородности большой, то луч отклонится существенно, формируя соответствующую теневую картину.

Например, в 1857 году французский физик Леон Фуко предложил контролировать точность изготовления зеркал для телескопов с помощью теневого метода. А 1864 году этот метод усовершенствовал немецкий физик Август Теплер. Он предложил использовать схему с ножом Фуко для изучения включений в прозрачные среды, например, при отбраковке линз. Теплер назвал этот способ шлирен-методом, от немецкого слова Schlieren, означающего неоднородности (включения) в стекле. [2]

В настоящее время установки на основе шлирен-метода дают более контрастное изображение. Для этого в месте фокусировки фонового излучения помещают непрозрачную пластинку или диск (нож Фуко), которая отсекает не преломленные лучи (рис. 2). Лучи света, отклоненные на исследуемой неоднородности, преимущественно проходят вне точки фокуса, поэтому большинство их минует «нож» и попадает в фотокамеру. Таким образом, соотношение интенсивностей отклоненного и фонового излучений существенно увеличивается, и неоднородности проявляются сильнее – в виде светлых областей на темном фоне.

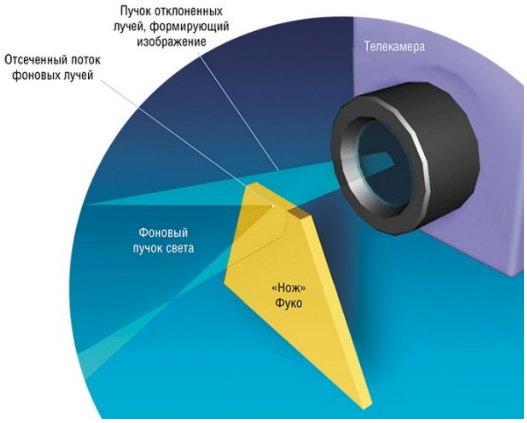


Рис. 2. Схема установки по шлирен-методу

Чем больше перепад плотности, тем большее изменение яркости наблюдается на теневом изображении. Однако при просвечивании слабых неоднородностей интенсивность отклоненных лучей может оказаться столь малой, что их совсем не будет заметно на фоне общей засветки. Для преодоления этой трудности необходимо отсечь фоновое излучение.

Эффективная модификация шлирен-метода была разработана в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН. Для отсечения мешающего излучения использованы «адаптивные визуализирующие транспаранты» (АВТ) на основе фотохромного стекла (рис. 3). Это изобретение впервые позволило увидеть очень малые возмущения в газе (менее одной тысячной доли от плотности среды)

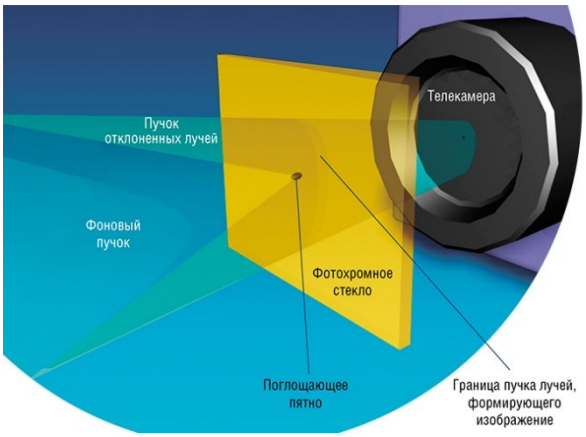


Рис. 3. Модификация шлирен-метода

Чем меньше размер «точки» сфокусированного фонового излучения и размер поглощающего это излучение элемента, тем большей чувствительностью обладает схема. Поэтому особый интерес могло бы представлять использование в теневых методах лазеров, поскольку их излучение можно сфокусировать в узкий пучок диаметром в несколько микрон (в сотни раз тоньше человеческого волоса).

Но в реальности попасть узким лучом точно на кромку или в очень маленькую точку практически невозможно: любые колебания (вибрация) шлирен-установки могут нарушить настройки ее ориентации, а неровности кромки, сравнимые по размеру со сфокусированным излучением, будут вносить сильные искажения в картину визуализации. По этой причине применение лазеров не приводило к существенному увеличению чувствительности.

Кардинально «добавить чувствительности» методу удалось в 2006 г., когда в Институте теоретической и прикладной механики СО РАН (Новосибирск) было предложено использовать вместо «ножа Фуко» фотохромное стекло, затемняющееся под воздействием интенсивного света. В быту подобные материалы широко применяются для создания так называемых очков-«хамелеонов», которые при ярком солнечном свете защищают глаза, становясь менее прозрачными.

С помощью технологии АВТ возможно в режиме реального времени наблюдать формирование вихревого следа за цилиндром (при скорости 10 м/с) и образование симметричных «усов» без завихрений (1 м/с) (рис. 4 и 5). Другими панорамными методами эти явления не удавалось визуализировать.

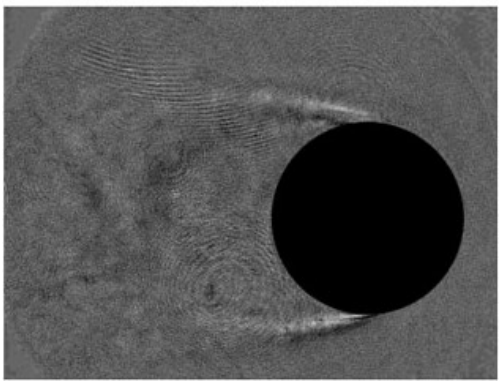


Рис. 4. Поперечное обтекание цилиндра потоком со скоростью 10 м/с

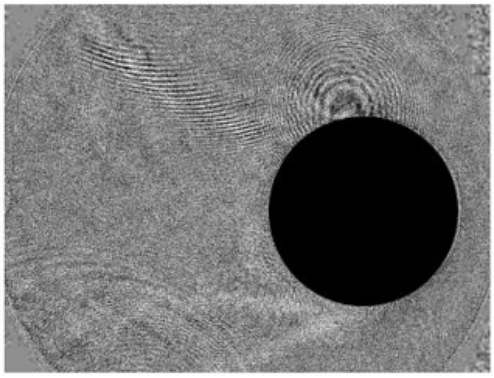


Рис. 5. Обтекание цилиндра потоком со скоростью от 0 до 1,5 м/с

Элегантность метода отсечения лишнего света с помощью фотохромной пластинки заключается в том, что фоновое излучение, фокусируясь в ее толще, само создает поглощающее его пятно в нужном месте и соответствующего (минимально возможного) размера. Следовательно, отпадает необходимость точной настройки такого теневого прибора, потому что в случае смещения прибора пятно поглощения автоматически создается в новом месте, а в старом исчезает. При этом лучи, отклоненные на неоднородности, не фокусируются на пластинке и поэтому имеют крайне низкую интенсивность, не создают себе поглощающего пятна и проходят в регистрирующую камеру (на экран).

Благодаря способности адаптироваться к нарушению настроек прибора такие визуализирующие элементы получили название *адаптивные визуализирующие транспаранты* (АВТ).

Так, существенным недостатком классического шлирен-метода является невозможность визуализировать слабые возмущения на фоне сильных, так как последние зашумляют изображение в целом. При использовании АВТ эта проблема отсутствует, поскольку отклоняемые на сильных неоднородностях лучи создают на фотохромном стекле свои области поглощающих пятен, независимо от главного (фонового) пятна. Этот эффект приводит к ослаблению контраста изображения резких перепадов плотности воздуха, вследствие чего проявляются детали слабых возмущений.

Изобретение способной к адаптации системы визуализации существенно расширило возможности экспериментаторов, и уже на начальной стадии разработки были получены уникальные результаты мировой значимости. За это АВТ-метод был включен в список главных достижений Российской академии наук за 2007 г.[3]

Создание подобного стенда будет полезно как в научной деятельности КФ МГТУ им. Н.Э.Баумана, так и в учебном процессе. Данный стенд позволит наблюдать оптическую неоднородность сред при изучении отдельных разделов таких дисциплин, как «механика жидкости и газа», «основы тепломассообмен».

Список литературы

[1] Божедомов Н., Бондарев В., Чжао С. Как увидеть невидимое. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://mipt.ru/upload/medialibrary/62e/shlirien_mietod_ili_2_bondarev.pdf (дата обращения 13.10.18)

[2] Как фотографируют ударные волны. [Электронный ресурс]. –Режим доступа: http://lol54.ru/education/uvgsfeshshht_informative/27060-kak-fotografirujut-udarnye-volny.html#respond/ (дата обращения 28.09.18)

[3] Голубев М.П. Увидеть невидимое. Издательство: «Наука из первых рук» [Электронный ресурс]. –Режим доступа: https://scfh.ru/papers/uvidet-nevidimoe/ (дата обращения 30.09.18)

Калюжный Григорий Матвеевич – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: kaluzhniygrisha@hotmail.com

Юрик Елена Алексеевна – канд. техн. наук, доцент кафедры "Тепловые двигатели и гидромашины" КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: eayurik@gmail.ru

А.К. Карышев, Д.А. Седов

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ РОССИИ. СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

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

1. Современное состояние теплоснабжения в России

Электроэнергетика является крупнейшим потребителем первичного топлива. Для производства электрической и тепловой энергии на ТЭС РАО "ЕЭС России" и в АО-энерго ежегодно сжигается около 150 млн. т.у.т. или около 40 % всего органического топлива, используемого в России. При этом на производство электрической энергии на ГРЭС и ТЭЦ расходуется только около 35 % тепла топлива. Оставшаяся часть тепла является "отходом" производства электроэнергии и, либо сбрасывается в окружающую среду (на ГРЭС), либо, в большей своей части (на ТЭЦ), полезно используется в системах коммунального и промышленного теплоснабжения [1].

Таким образом, электроэнергетическая отрасль за счет теплофикации помогала и помогает народному хозяйству страны снижать потребности в органическом топливе, неся при этом издержки на сооружение более дорогих ТЭЦ по сравнению с ГРЭС на сооружение и эксплуатацию достаточно сложных и, как показала практика, ненадежных инженерных сооружений - водяных тепловых сетей.

Среди специалистов-энергетиков под термином "теплофикация" традиционно понимается совместное производство электрической и тепловой энергии в комбинированном цикле на крупных тепловых электростанциях, работающих в составе систем централизованного теплоснабжения. Крупными электростанциями принято считать такие, мощность которых 50 МВт (эл) и более [1].

Под термином "централизованное теплоснабжение" понимается снабжение тепловой энергией группы потребителей посредством передачи им тепловой энергии по тепловым сетям от источников тепла независимо от их типа (ТЭЦ, котельных, теплоутилизационных установок и т.п.) [1].

Под термином "децентрализованное теплоснабжение" обычно понимается теплоснабжение потребителя от своего индивидуального источника. Таким потребителем может быть и одно здание, и группа зданий, объединенных в одном квартале.

Минимальная мощность систем централизованного теплоснабжения в России, как правило, составляет около 10-20 Гкал/ч. Указанная тепловая мощность определяется тепловой нагрузкой, которую в климатических условиях России требуют одна-две градостроительных единицы: микрорайон (квартал), общественно-административный, культурный и т.п. центры, промышленное или коммерческое предприятие.

Наряду с отпуском тепла от крупных источников в системе РАО "ЕЭС России" теплоснабжение народного хозяйства осуществляется также от многочисленных котельных: большой (>100 Гкал/ч), средней (от 20 до 100 Гкал/ч) и малой (<20 Гкал/ч) мощности различных министерств и ведомств [2].

Централизованное теплоснабжение крупных городов и промышленных предприятий на основе совместного производства электрической и тепловой энергии (теплофикация) является одним из главных направлений в деятельности практически всех АО-энерго и отдельных дочерних АО-ГРЭС.

В бывшем СССР и сегодня в России совместное (комбинированное) производство электроэнергии и тепла осуществляется в основном на крупных ТЭЦ общего пользования (ТЭЦоп) и на промышленных ТЭЦ (ТЭЦпр), работающих в составе промышленных предприятий с частичным отпуском тепла в городские тепловые сети.

Совместное производство электроэнергии и тепла в электроэнергетической отрасли (в РАО "ЕЭС России") осуществляется не только на ТЭЦ, но и на ряде ГРЭС, являющихся дочерними АО в составе РАО "ЕЭС России" (АО ГРЭС). Причем многие из них по своей сути являются ТЭЦ. Электрическая мощность теплофикационных турбин, установленных на ТЭС составляет около 66 млн. кВт или 50,2% от мощности всех ТЭС РАО "ЕЭС России" [2].

И сторонники, и противники теплофикации, как технологического направления в энергетике, едины в том, что совместное производство электрической и тепловой энергии в одной энергоустановке позволяет существенно сокращать потребности в органическом топливе городов (районов) для нужд электро- и теплоснабжения в сравнении с вариантом раздельной выработки электроэнергии на ТЭС, а тепла в котельных.

Противники теплофикации, соглашаясь с тем, что совместное производство электроэнергии и тепла в одной энергоустановке в принципе является энергосберегающей технологией, вносят достаточно существенное замечание: если учесть большие потери тепловой энергии при ее транспорте и особенно при распределении (а эти потери по разным оценкам составляют от 15 до 30%), то экономия топлива за счет теплофикации будет весьма скромной и не может быть оправдана издержками, которые имеют место при высокой степени централизации в теплоснабжении.

2.Анализ перспектив применения ПГУ и ГТУ технологий для теплоснабжения народного хозяйства России.

Значительно повысить эффективность ТЭЦ, работающих на природном газе, можно путем использования на них газотурбинных и парогазовых установок.

Рассматриваются следующие направления их применения:

1. Газотурбинные ТЭЦ, в которых газы после ГТУ сбрасываются в водогрейный или паровой котел-утилизатор, где используются для выработки тепла (подогрева воды или генерирования пара) для внешних потребителей.

Схемы ГТУ-ТЭЦ наиболее просты. КПД современных ГТУ без выработки тепла близок или даже выше КПД паротурбинных ТЭЦ докритического давления. Выработка тепла с помощью ПГУ и ГТУ не снижает этого КПД - в отличие от паротурбинных установок, где электрическая мощность и КПД вследствие производственных (особенно при высоком давлении) и теплофикационных отборов пара значительно уменьшаются [3].

Для увеличения выработки тепла в периоды максимальных нагрузок применяются котлы-утилизаторы ГТУ, оснащенные горелками для сжигания дополнительного топлива. Однако сжигание топлива перед котлами-утилизаторами, как и снижение тепловой нагрузки (недоиспользование тепла отработавших в ГТУ газов), уменьшает эффективность ГТУ-ТЭЦ, которые наиболее привлекательны для промышленных ТЭЦ со значительной долей стабильной паровой нагрузки. Экономически они выгодны и при резко переменном графике тепловой и электрической нагрузки: в качестве примера можно назвать Якутскую ГРЭС (в сущности ТЭЦ) с восьмью ГТУ общей мощностью около 250 МВт, которая успешно эксплуатируется с 1971

2. ПГУ-ТЭЦ бинарного цикла. Каждая ГТУ работает на свой котел-утилизатор, в котором генерируется и перегревается пар, поступающий, например, в общий коллектор, а из него - в имеющиеся паровые турбины. Первой теплофикационной ПГУ бинарного типа в России является ПГУ-450 на Северо-Западной ТЭЦ в Санкт-Петербурге, Ее схема позволяет в широких пределах изменять соотношение между электрической и тепловой нагрузкой, сохраняя общий высокий коэффициент использования тепла топлива.

Отработанный на Северо-Западной ТЭЦ модуль ГТУ - котел-утилизатор, генерирующий 240 т/ч пара высокого давления при электрической мощности 150 МВт, может прямо использоваться для питания турбин ПТ-60, ПТ-80 и Т-100 на действующих ТЭЦ. При полной загрузке их выхлопов расход пара через первые ступени этих турбин будет значительно ниже номинального. Его можно будет пропустить при характерных для ПГУ-450 пониженных давлениях пара. Это и одновременное уменьшение температуры свежего пара до 500-510 °С летом и даже несколько более низких значений зимой снимет вопрос об исчерпании ресурса таких турбин. Такое изменение показателей радикально влияет на экономичность ТЭЦ. Суммарные издержки на выработку электроэнергии и тепла в них снизятся, а конкурентоспособность на рынках электроэнергии и тепла возрастет [3].

Одним из наиболее перспективных направлений развития энергетики (с технической, экономической и экологической точек зрения) является переоборудование действующих районных котельных в газотурбинные теплоэлектроцентрали (ГТУ-ТЭЦ). Такие ГТУ-ТЭЦ обеспечат:

- вдвое меньший расход топлива на производство электроэнергии;
- приблизят производство энергии к потребителю и снизят потери на транспорт энергии (в ПЭО "Татэнерго" они составляют 10,4%, а по России-12,2%);

– повысят гибкость энергосистемы при колебаниях в потреблении энергии;
– практически вдвое снизят выбросы вредных веществ в атмосферу по сравнению с существующими ТЭС и котельными.

Неоспоримые достоинства ГТУ в энергетике доказаны в трудах многочисленных отечественных и зарубежных авторов и отражены во всех документах перспективного энергопланирования и энергосбережения. Достоинства ГТУ, применяемых в энергетике становятся более значимыми, если принять во внимание, что при существующей тенденции по выравниванию российских и мировых цен на энергоносители себестоимость тепловой и электрической энергии в России может в 1,5 раза превысить мировой уровень.

Список литературы

[1] Некрасов А.С., Синяк Ю.В., Воронина С.А., Семикашев В.В. Современное состояние теплоснабжения России // Проблемы прогнозирования. 2011. № 1.

[2] Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. (Утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 г., № 1715-р).

[3] Некрасов А. С., Синяк Ю.В. Перспективы развития топливноэнергетического комплекса России на период до 2030 г. // Проблемы прогнозирования. 2007. № 4.

Карышев Анатолий Константинович – канд. техн. наук, профессор КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: k1kf@bmstu-kaluga.ru

Седов Даниил Александрович – студент КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. E-mail: danil.sidor972021@gmail.com

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1.
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ 3

Малышев Е.Н., Атрощенко В.Н.
Анализ конструкции центробежного регулятора скорости насоса-регулятора 4

Федоров В.А.
Анализ конструкций станочных загрузочных устройств как объектов гибкой автоматизации 7

Кривов Р.Ю., Атрощенко В.Н., Попков В.М.
Анализ принципа работы тиратронного генератора RC 11

Титов А.И., Соколова И.Д.
Анализ способов, приводящих к повышению режущих свойств инструментальных материалов 13

Мусохранов М.В.
Анализ технологических параметров при механической обработке заготовок микроинструментом 16

Аверкина Д.С., Малышев Е.Н.
Анализ чувствительности характеристик производства к выбору инструментальных материалов 18

Анкуда Э.С., Калмыков В.В.
Антивибрационная износостойкая защита поверхностей 21

Яшкин К.В., Калмыков В.В.
Варианты совершенствования решения задачи Коммивояжера 24

Бураков В.В., Вяткин А.Г.
Влияние конструктивных параметров установочных элементов на точность установки заготовки в приспособлении 26

Мельников Я.С., Мусохранов М.В.
Влияние окончательных этапов обработки деталей на эксплуатационные свойства изделий 28

Бысов С.А., Гинсар И.Э.
Выявление возможных дефектов литых заготовок из пластмассы при использовании программного обеспечения для моделирования процесса литья 31

Васильев Д.В., Зенкин Н.В.
Генераторный метод обработки поверхностей протягиванием 34

Шулепов К.А., Зенкин Н.В.
Исследование затрат времени на наладку и смену инструмента 36
Харитоненко А.В., Журавлева Т.А., Сидоров В.Б., Крылов А.Ю.
Исследование области рационального применения стандартных
и оригинальных деталей в конструкции технологической оснастки 38
Колесников И.А., Малышев Е.Н.
Исследование шероховатости поверхностей
при контурном фрезеровании 41
Панкрашин А.М., Волков А.В., Устинов И.К.
Лазерная обработка 43
Волков А.В., Устинов И.К.
О технологической системе резания 47
Анкуда Э.С., Калмыков В.В.
Область применения износостойких антивибрационных покрытий 53
Паращук Ю.В., Мусохранов М.В.
Общие закономерности взаимоусиливающих эффектов
технологических параметров:
геометрические параметры инструмента 55
Макеева О.В., Мусохранов М.В.
Общие закономерности взаимоусиливающих эффектов
режимов резания в машиностроении 58
Тарасенков Д.А., Попков В.М.
Особенности сборки электрических двигателей 61
Малышев А.Н., Бысов С.А., Матвеев С.В., Сафронова М.Е.
Особенности формы исходных листовых заготовок
при вытяжке низких прямоугольных коробчатых деталей 64
Калмыков В.В., Ермольчева Д.П.
Перспективы внедрения инструментария
бережливого производства 69
Рыков Е.В., Штокал А.О., Артемьев А.В., Говорун Т.А., Шаталов В.К., Добросовестнов К.Б., Богачев В.А., Баженова О.П.
Перспективы применения износостойких покрытий,
полученных методом микродугового оксидирования,
при создании грунтозаборных устройств космических аппаратов
для исследования Луны 71
Малышев Е.Н., Карпов М.П.
Технологические возможности
планшетного режущего плоттера MIMAKI CF3 78
Степанов Е.Д., Атрощенко В.Н., Короходкина К.Г., Калмыков В.В.
Увеличение стойкости фрез
за счет применения специальных покрытий 81

Чемборисов Н.А., Устинов И.К., Мерзлов А.В.
Формирование винтовой канавки концевой фрезы 84

Ермачков Р.О., Вяткин А.Г.
Экспериментальное подтверждение преимуществ осадки с упором для повышения точности геометрических размеров осаженных заготовок на гидравлическом прессе 88

СЕКЦИЯ 2.
ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ СВАРОЧНОГОПРОИЗВОДСТВА 91

Харченкова Е.А., Максимов Н.Н.
Выбор метода повышения работоспособности сварных соединений применительно к жаровой трубе газотурбинного двигателя 92

Шаталов М.И., Труханов К.Ю.
Исследование напряженно-деформированного состояния нахлесточного соединения в условиях отклонение параметров сборки 95

Дитковский П.Ю., Левко П.С., Труханов К.Ю.
К вопросу о выборе технологии сварки изделий из стальной проволоки 65Г 98

Дубровский В.А., Амеличева А.Ю., Меньшиков В.С.
Определение рациональных режимов электроконтактной наварки проволокой при восстановлении наружных поверхностей деталей типа «вал» 101

Никитин А.А.
Особенности восстановления детали «пиноль» электроконтактной наваркой проволокой 106

Орлик Г.В., Орлик А.Г., Дымов А.В.
Особенности нанесения износостойких покрытий..... 109

Максимов Н.Н., Грибовский Е.И.
Расчет оптимальной формы и величины сварочного тока при контактной точечной сварке алюминия 112

Зырянов А.В., Чернова Т.Г.
Сварка полиэтиленовых труб..... 116

Орлик Г.В., Орлик А.Г., Мишин Д.А.
Сварка трением с перемешиванием конструкций из алюминиевых сплавов..... 121

Козлова М.С., Максимов Н.Н.
Условия формирования обратного валика шва без использования специальных устройств при автоматической сварке под флюсом 126

СЕКЦИЯ 3.
ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
И ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕХНИКА 128

Кудряшов Е.А., Андреев Д.В.
Автоматизированная установка измерения
вольт-фарадных характеристик МДП-структур
высокочастотным методом 129

Драч В.Е., Богомолов Н.С.
Адаптер для микросхемы 525ПС3 133

Лутовин Е.А., Андреев Д.В.
Влияние деградации резистивной пленки на дрейф
напряжения смещения нуля и методы ее исключения
в операционном усилителе 135

Крисанов С.С., Драч В.Е
Выявление причин брака интегральных микросхем
по тестовым таблицам 138

Егорова О.Ю., Аунг Чжо Чжо, Зайончковский В.С.
Гальваническое наращивание толстых пленок меди 142

Терских А.О., Андреев В.В.
Исследование влияния типа корпуса на шумовые характеристики
операционных усилителей 144

Драч В.Е., Саввин М.А.
Моделирование структуры поля в прямоугольном волноводе
средствами программы Ansoft HFSS 148

Ульянов Д.О., Андреев Д.В.
Особенности применения атомно-силовой микроскопии
для измерения толщин наноразмерных пленок 151

Вовченко О.Н., Андреев В.В.
Получение ультратонких пленок SiO^2
с последующим нитрированием поверхности для получения
подзатворного окисла МОП-транзистора 156

Сидоров А.А., Шагаев В.В.
Проведение измерений сопротивления
и температурного коэффициента сопротивления (ТКС)
резисторов на платах ГИС-045.1 161

Мазаева К.А., Головатый Ю.П.
Расчет брэгговского зеркала на метаматериале 164

Карпов В.И., Андреев В.В.
Создание математической модели микросхемы
четырехканального аналогового ключа со схемой управления 167

Кузьмичева А.О., Адарчин С.А.
Температурная зависимость сопротивления
в толстопленочных резисторах 171
Шагаев В.В., Караханян В.А.
Увеличение модуля коэффициента усиления
интегральной бескорпусной микросхемы,
представляющей собой дифференциальную пару транзисторов,
на высокой частоте 175
СЕКЦИЯ 4.
ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ И ГИДРОМАШИНЫ 178
Шевелев Д.В., Пальтов Н.А.
Автономная система энергоснабжения 179
Маклачков А.Н., Коротков В.В.
Виды скважинных погружных насосов для перекачивания нефти 182
Жинов А.А., Сидоров П.М.
Влияние закрутки потока на потери давления
в выхлопном тракте ГТУ 185
Жинов А.А., Иванов С.А.
Влияние эрозионного износа рабочих лопаток на собственные
частоты дисков паровых турбин 189
Карышев А.К., Малинкина М.А.
Использование регулируемого соплового аппарата силовой турбины
для приводных ГТУ 192
Шитохина О.Г., Ананьев Н.А.
Исследование влияния глубины глухих отверстий
в коническом роторе вихревого насоса на характеристики
потока жидкости 196
Коротков В.В., Минеев В.А.
Исследование и разработка способа повышения эффективности
центробежного насоса 199
Сидоров П.М., Шевелев Д.В.
Исследование работы ступени центробежного компрессора
в CFD пакете ANSYS 202
Филимонов А.А.
Исследование равномерности расходов всасывающих и нагнетающих
пластин для пластинчатого насоса 205
Цыганов Н.С.
Кавитационный вихревой теплогенератор 210
Шевелев Д.В., Завальный Ф.Г.
Калькулятор газодинамических функций 212
Ефремов К.М., Шитохина О.Г.
Конструкции и характеристики вихревых насосов 215

Сизов А.Н., Мурзин Ф.М.
Модель прецизионного электромеханического привода
для электрогидравлической системы регулирования 217
Ильичев В.Ю., Хахалев И.С.
Обзор причин возникновения усилий, действующих
на элементы паротурбинных установок 223
Савин В.Ю.
Обзор схем разгрузки пластин в насосах двойного действия 226
Чубаров Ф.Л., Морозов Ф.А., Каньшин К.С., Никитин А.В.
Особенности использования пневмопривода
в робототехнических системах 229
Шевелев Д.В., Соколов М.И.
Особенности солнечных тепловых электростанций 232
Голиков А.С.
Оценка влияния размера генератора возмущения
на форму неравномерности, создаваемой при его работе 235
Трутнев Д.С.
Перспективы применения гидроаккумулирующих электростанций 237
Козлов А.Д., Анкудинов А.А.
Повышение надежности эксплуатации насосного оборудования 240
Жинов А.А., Железнов А.П.
Применение ОЦР-технологии в системах утилизации бросового тепла
газоперекачивающих агрегатов 242
Шинкевич Н.Н.
Применение стендов для повышения эффективности ремонта
узлов путевых машин 246
Антипов В.С.
Разработка методики расчета перераспределения потоков газа
между газотранспортными станциями и проектирования
регулирующего устройства 249
Сизов А.Н., Макаров И.В.
Применение технологии линейных перемещений для управления
исполнительных органов в электрогидравлических системах
позиционирования 254
Кувшинов А.С.
Системы перекачки нефти на нефтеперекачивающих станциях 257
Калюжный Г.М., Юрик Е.А.
Современные методы визуализации неоднородностей потоков газов 261
Карышев А.К., Седов Д.А.
Теплоснабжение России. Состояние и перспективы 266
СОДЕРЖАНИЕ 270

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

Материалы
Всероссийской 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 20.11.2018.
Формат 60x90/16. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печ. л. 17,25. Усл. п. л. 16,04. Тираж 50 экз. Заказ № 39

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