

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

№2
2018

Выходит 4 раза в год

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО- ПРИБОРОСТРОЕНИИ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

В журнале печатаются материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения» (АППР-2018), которая проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-08-20061)

Севастополь 2018 г.

Главный редактор

Копп В.Я., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Заместитель главного редактора

Филипович О.В., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Научный редактор

Бохонский А.И., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Ответственный секретарь

Осипов К.Н., к.т.н.

(г. Севастополь)

Редакционная коллегия

Пашков Е.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Обжерин Ю.Е., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Краснодубец Л.А., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Скатков А.В., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Песчанский А.И., д.т.н., проф.

(г. Севастополь)

Рзаев Р.Р., д.т.н., проф.

(г. Баку)

Прейс В.В., д.т.н., проф.

(г. Тула)

Кристалль М.Г., д.т.н., проф.

(г. Волгоград)

Дьяченко В.А., д.т.н., проф.

(г. Санкт-Петербург)

Волков А.Н., д.т.н., проф.

(г. Санкт-Петербург)

Доронина Ю.В., д.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Качур С.М., д.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Васютенко А.П., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Балакин А.И., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Круговой А.Н., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Скидан А.А., к.т.н., доц.

(г. Севастополь)

Заморёнов М.В., к.т.н.

(г. Севастополь)

Майстришин М.М., к.т.н.

(г. Севастополь)

СОДЕРЖАНИЕ

**Секция «Автоматизация производства, проектирование
автоматизированного оборудования»**

- Карлов А.Г., Кривич Д.В.* Применение технологии ионно-плазменного напыления для аддитивного производства 3
- Вартанов М.В., Зинина И.Н., Зотин Д.О., Ненюк Д.С.* Роботизация отделочной обработки авиационных агрегатов 12
- Бохонский А.И., Майстришин М.М.* Реализация оптимальных перемещений антропоморфным манипулятором 29
- Фисун С.Н., Дзюба С.Н.* Методика использования системы автоматизации построения трансляторов ANTLR для разработки информационных систем в машиноприборостроении 26

**Секция «Моделирование автоматизированных
производственных систем»**

- Балакин А.И., Копп В.Я., Балакина Н.А.* Анализ функционирования автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования 34
- Заморёнова Д.В.* Имитационная модель процесса функционирования автоматизированной системы сбора данных 42
- Нусратов О.Г., Алмасов А.Ш.* К вопросу повышения достоверности позиционно-бинарного метода распознавания циклических сигналов 50

**Секция «Системы управления и информационные технологии
в современном производстве»**

- Гасанов В.И.* Выявление аномалий в сетевых трафиках на основе нечёткого моделирования динамических рядов изменений объёмов IP-пакетов 59
- Бабаева С.Т.* Взвешенная оценка странового риска с применением нечёткого метода максиминной свёртки 71
- Доронина Ю.В.* Учёт степени устаревания технической системы при анализе ее эффективности 82

**Секция «Автоматизированный контроль, диагностика и
информационно-измерительные системы»**

- Карлусов В.Ю., Рассказов С.В.* Цифровой инверсный фильтр в измерительной системе 88
- Михеев А.В., Албагачиев А.Ю., Керопян А.М.* Автоматизированный контроль температуры при сверлении 97

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

УДК 533.9.07

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ДЛЯ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Карлов А.Г.¹, Кривич Д.В.²

***Аннотация.** Представлена информация о технологии ионно-плазменного напыления и возможной модернизации данной технологии точечного нанесения материалов для аддитивного производства точных изделий. Приведено описание возможной конструкции установки для аддитивного процесса с использованием ионно-плазменного напыления для создания изделий машиностроительных и ракетостроительных отраслей, а также производства биопротезных имплантов. Уделено внимание созданию изделий с внутренней упорядоченной структурой.*

***Ключевые слова.** Технология ионно-плазменного напыления, аддитивное производство, прецизионное наращивание материала, изделия с упорядоченной внутренней структурой.*

Достижение высокого качества деталей машин и агрегатов, а также изделий, используемых в медицинских целях и в других областях, выпускаемых тяжелой и легкой промышленностью, невозможно без применения прогрессивных технологических методов автоматизированного производства. В большинстве случаев современные машины эксплуатируются в жестких условиях контакта с высокотемпературными газовыми потоками, агрессивными газами и абразивными веществами, вызывающими интенсивный износ, коррозию или деформацию. В связи с этим возникает необходимость применения специальных способов производства, обеспечивающих радикальное повышение износостойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости и других свойств рабочей поверхности материалов, а также позволяющих изготавливать аналогичные изделия, полученные с помощью традиционных методов производства с новыми технико-экономическими качествами [1]. **Целью исследования** настоящей статьи является анализ современных технологий формирования изделий плазменным и вакуумно-плазменным методами, а также обоснования характеристик 3-D принтеров дидактического назначения, которые могут применяться в качестве тренажеров, позволяющих приобретать навыки программирования движений аддитивного оборудования и регулирования режимов работы подобных технологических систем.

В последнее время возрос интерес к плазменным и вакуумно-плазменным методам формирования изделий. Эти методы обладают широкими технологическими возможностями. Они позволяют формировать в едином технологическом цикле практически любые композиции и конструкции покрытий. При этом реализуются плазмохимические процессы синтеза новых

соединений для применения их в составе композиционных покрытий, формируются покрытия диффузионно-покровного типа. Их состав является продуктом взаимодействия компонентов насыщающей среды с материалом поверхностного слоя. Технология реализует импульсные режимы плазменной обработки, в поверхностном слое формируются аморфные слои. После этого проводится поверхностная термообработка, в том числе с оплавлением материала, используя комбинацию различных плазменных и вакуумно-плазменных методов. Такая технология обеспечивает износостойкие покрытия с заданными свойствами. Подобные характеристики материала недостижимы никакими другими методами.

Однако, несмотря на столь позитивные свойства, плазменная и вакуумно-плазменная технологии формирования изделий в производстве деталей машин на данное время широкое практическое применение не нашли. Это объясняется несколькими причинами.

Во-первых, на данном этапе развития технологии ионно-плазменного напыления недостаточно изучены процессы, протекающие в плазменных и вакуумно-плазменных технологических установках, применяемых для формирования таких покрытий.

Во-вторых, не разработаны опытные технологии их формирования методами плазменной и вакуумно-плазменной технологий. Не проведены испытания опытных серий деталей и образцов, которые могли бы доказать эффективность таких методов автоматизированного технологического процесса в производстве высокоточных изделий различного применения. [2].

Ионно-лучевая техника нашла свое применение в различных технологических процессах, связанных с нанесением покрытий и удалением вещества, то есть с процессами переноса вещества из одной точки в другую. Наиболее широко такая технология применяется в таких областях, как изготовление оптических изделий, пьезокварцевых, электровакуумных и газоразрядных приборов, лазерной технике, упрочнении поверхности режущего инструмента.

Переход к субмикронным размерам требуют замены технологических процессов на обработку изделий направленными потоками частиц в виде ионизированного газа. Главной, с точки зрения использования технологии ионно-плазменного напыления, для автоматизированного производства является возможность отклонения, а также фокусировки потока ионизированных частиц в электромагнитных полях и возможность формирования изображений с помощью электронно- и ионно-оптических систем, что позволяет программным способом управлять координатами и точностью нанесения материала.

Техника получения электронных пучков намного проще, чем ионных, что способствует их применению в процессах, связанных с точечным нагревом, плавлением и испарением веществ. Электронный нагрев не вносит загрязнений ни в нагреваемый материал, ни в остаточную газовую среду.

Принципиальное отличие ионных пучков от электронных состоит в переносе ионами массы вещества. Это определяет и характер взаимодействия ионных пучков с поверхностью. Помимо нагрева облучаемой поверхности, под действием ионного излучения происходит напыления вещества, образующих

ионный поток, а также, в случае химически-активных ионов, химическая реакция с образованием новых химических соединений. Интенсивность этих процессов определяется энергией, массой, химическим составом ионов и материалом облучаемой поверхности. Различные виды взаимодействия ионов с обрабатываемыми материалами определяет многообразие технологических процессов, реализуемых ионно-лучевой обработкой. [3]

При ионно-плазменном напылении используется высокотемпературная струя, которая и наносит материал на объект. Частицы вещества во время удара деформируются и взаимодействуют с поверхностью основы, таким образом, формируя новое покрытие. Для выполнения процесса используется установка ионно-плазменного напыления. С помощью ионно-плазменной установки можно:

- наносить покрытия на листовые материалы, на конструкции больших размеров, изделий сложной формы;
- покрывать поверхность материалов различного типа, в том числе тех, которые не могут подвергаться термической обработке;
- наносить вещество равномерным слоем на элементы, имеющие большую площадь, а также на небольшие изделия и их составные части;
- увеличивать толщину или размер элемента, производя восстановительный процесс детали, которая имеет износ;
- достигать высокого уровня автоматизации процесса напыления;
- наносить различные виды металлов, сплавов, оксидов, карбидов, нитридов, боридов, пластмасс и их различных комбинаций;
- выполнять нанесение нескольких слоев, которые будут иметь специальные характеристики;
- выполнять аккуратное нанесение покрытие, которое незначительно деформирует некоторые виды материалов, из которых изготавливается основа;
- выполнять большой объем работы при невысоком значении трудоемкости и энергопотребления;
- улучшать качество покрытия объекта, делая его равномерным, стабильным, плотным, увеличивая износостойкость.

Вакуумное ионно-плазменное напыление сегодня является одним из лучших способов нанесения покрытий, поскольку с помощью заряженных частиц удобно производить бомбардировку объекта. Ионы легко разгоняются до необходимого значения энергии. В некоторых случаях, когда необходимо выполнить напыление, можно использовать источник ионных пучков, особенность которых является использование ионов, имеющих одинаковую массу и энергию. При этом более популярным методом является газоразрядная плазма. В основе ее действия заложено использование отрицательно заряженной мишени, которая осуществляет вытягивание положительных ионов.

Установка ионно-плазменного напыления, как правило, состоит из: источника питания; газовых баллонов; пульта управления; камеры, в которой производится напыление; порошкового дозатора; вытяжного вентилятора; плазматрона; плазменной струи; напыляемого покрытия; изделия; устройства,

использующегося для изменения положения объекта; вакуумного или водяного насоса; холодильника.

Технология плазменного напыления представляет собой процесс, в ходе которого создается дуга. В этом случае в установке имеется катод и анод, который представлен соплом. В ходе работы происходит горение рабочего газа, и стекание его в виде струи из плазмы. Чаще всего в установках применяется аргон или азот с водородом

Подача наплавочного порошкового материала происходит в сопло струей посредством газа, который является транспортирующим инертным газом. Его нагревает плазма, а после этого он с высокой скоростью наносится на материал, чтобы образовать покрытие. Как правило, плазма нагревается до сверхвысоких температур, значение которой может быть выше, чем несколько десятков тысяч градусов Кельвина. Ионно-плазменное напыление применяют с такими материалами как нано-углеродные покрытия или нитрид титана.

Среди многочисленных методов обработки поверхности заслуживают внимание, прежде всего те, которые отличаются высокой производительностью и технологической гибкостью. Важными являются свойства экологической безопасности. Существенной является функция обеспечения максимальной точности свойств поверхности. Этим требованиям в значительной степени отвечают ионно-плазменные процессы обработки, нанесение материала в низко- и средне-энергетической плазме.

Источник плазмы содержит вольфрамовый накаливаемый катод 2, окруженный цилиндрическим водоохлаждаемым анодом 5 из немагнитной стали (**Рис.1**). Снаружи анод охвачен соленоидом 6. Плазма генерируется дуговым разрядом низкого давления. Дуга горит в аргоне между термокатодом и анодом в скрещенных электрическом и магнитном полях. Через выходной срез анода направляется на подложкодержатель 7, который перемещается в декартовой системе координат.

Необходимая для конкретного процесса энергия ионов обеспечивается подачей на подложкодержатель 7 отрицательного по отношению к термокатоду 2 потенциала соответствующего значения.

Разделение имеющихся в плазме электронов и ионов, а также до-ускорение ионов до требуемой энергии происходит в дебаевском слое вблизи подложкодержателя. При этом процессы образования плазмы, ускорения ионов и воздействия на образец разделены, что позволяет достаточно эффективно управлять их параметрами. [4].

Технология ионно-плазменного точечного напыления материала позволяет производить изделия, используя технологию оптимизированной топологии.

Оптимизация топологии - это новый концептуальный инструмент проектирования, который опирается на методы конечных элементов для оптимизации используемого материала при определенном наборе критериев и видов работы (**Рис.2**). Для этого указываются граничные условия, нагрузки и цель работы, после автоматически определяется, как удалить или деформировать материал, чтобы достигнуть заданной цели, используя минимум материала.

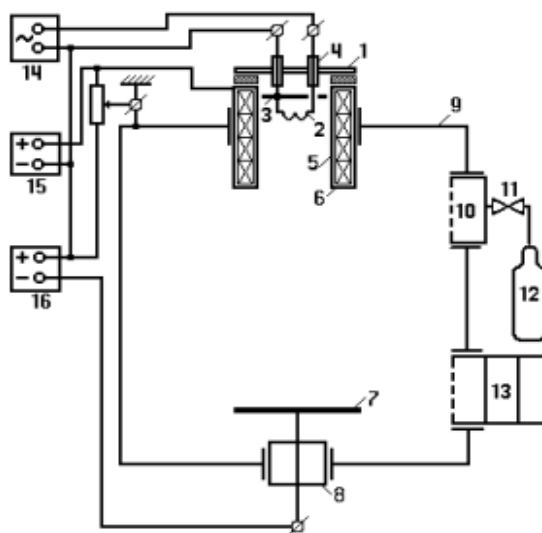


Рис.1 – Схема установки с источником плазмы: 1 – фланец катодного узла; 2 – вольфрамовый катод; 3 – молибденовый экран; 4 - токоотводы; 5 – анод; 6 – соленоид; 7 – подложкодержатель 8 – узел перемещения; 9 – вакуумная камера; 10 – сорбционный насос; 11 – натекатель; 12 – баллон с газом; 13 – откачной вакуумный пост; 14, 15, 16 – источники питания

Оптимизация топологии при производстве изделий с использованием данной технологии может быть дорогостоящим или неосуществимым с точки зрения возможности применения серийных установок. Целью оптимизации топологии является такой дизайн по критериям работоспособности изделий, который позволит реализовать приемлемую по себестоимости и технически реализуемую на современном оборудовании модель. Такое производство предполагает наличие на рынке или в цехе компании установок аддитивного производства, в том числе с использованием технологии ионно-плазменного напыления. Следует учитывать, что объем рынка, например, изделий хирургической ортопедии увеличивается с каждым годом. В этой связи одной из актуальных проблем являются разработка и совершенствование имплантационных материалов и конструкций нового поколения, заменяющих поврежденные костные участки и системы. Основным требованием к таким материалам является их быстрая адаптация в организме человека путем взаимодействия с костными тканями и значительно более длительный срок службы по сравнению с существующими материалами, что позволит избежать повторных операций [2, 4, 5].



Рис.2 – Пример изделия, произведенного по технологии ионно-плазменного напыления с экономией материала.

Сложность проблемы состоит в том, что ни один из современных материалов, используемых для изготовления имплантатов, не обладает всеми свойствами костной ткани. Имплантационные материалы нового поколения должны обладать высокой поверхностной твердостью и прочностью на сжатие и растяжение, высокой износо- и коррозионной стойкостью, низким модулем упругости, а также минимальной концентрацией токсичных атомов легирующих элементов на контактной поверхности изделий и отсутствием возможности вывода в растворы и ткани живых организмов [5]. Одним из способов улучшения этих свойств является формирование защитно-упрочняющих покрытий методом ионно-лучевой технологии. Это один из самых эффективных методов улучшения характеристик материалов (**Рис.3**). Он обеспечивает изменения элементного состава и структурно-фазового состояния поверхностных слоев металлов.

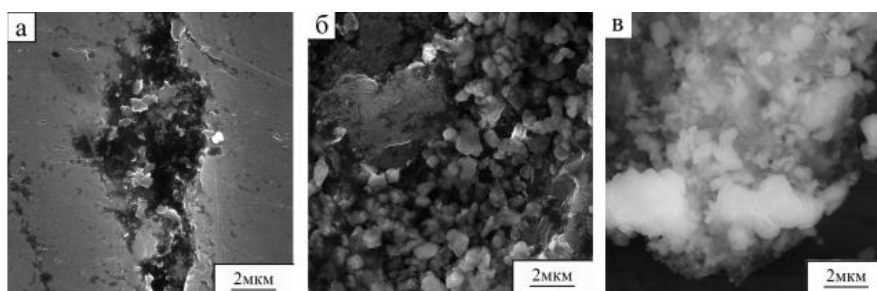


Рис.3 – Изображения поверхности образцов, полученных с помощью РЭМ: а – титан без облучения; б – титан, облученный с дозой азота $\Phi=1000$ мкКл/см²; в – титан, облученный с дозой азота $\Phi=10000$ мкКл/см² [5]

Это позволяет получать градиентно-слоевую структуру с плавным изменением фазового состояния по глубине модифицированных приповерхностных слоев без резких границ между ними.



Рис.4 – Изображения образца зубного имплантата с пористой поверхностью

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений ионной имплантации является формирование в поверхностных слоях нитридных систем, характеризующихся аномальными физико-механическими свойствами [5].

Для того что бы имплантат быстрее срастался с костной тканью, его поверхность обрабатывают таким образом, чтобы придать ей микрорельеф, повторяющий структуру кости. Поверхность конструкции делают пористой с помощью ионно-плазменного напыления (**Рис.4**). Для улучшения остеоинтеграции, на поверхность имплантата наносятся кристаллы гидроксиапатита, фосфатов, которые позволяют вращать в костную ткань

организма, в поры поверхности титанового основания. Имплантаты, имеющие полированную поверхность, очень плохо срастаются с костной тканью.

Важными компонентами внедрения новых технологий напыления является процесс обучения программированию траекторий перемещения инструментов установок для реализации аддитивных технологий. Однако оборудование для реализации аддитивных технологий, которое предназначено для обучения будущих специалистов, 3D-принтеры дидактического назначения, которые разработаны и производятся отечественными предприятиями в первую очередь для обеспечения компетенций аддитивных технологий и прототипирования выпускаются пока в очень ограниченном количестве.

Авторы данной статьи попытались проанализировать, почему этого учебного оборудования пока явно недостаточно для обеспечения ВУЗов, колледжей, учебных центров производственных компаний.

Одна из причин этого в том, что относительно высокими пока остаются цены на такое дидактическое оборудование, и, возможно, недостаточно надежные комплектующие входят в состав подобных упрощенных моделей 3D-принтеров. В СевГУ на кафедре ПСАТП разработан опытный образец дидактического стенда настольного исполнения, который показал при испытаниях вполне достаточные для реализации аддитивных технологий характеристики при относительно низкой цене за такое изделие в условиях практически единичного производства.

Эта работа выполнена на средства гранта конкурса У.М.Н.И.К. в 2017 году. В настоящее время два промышленных предприятия России рассматривают возможность изготовления таких моделей как для реализации 3D-принтеров дидактического применения, так и при использовании данного образца в качестве настольного фрезерно-гравировального станка, или станка с ЧПУ для реализации обработки заготовок лазерными инструментами [6].

Выводы:

1. Технология ионно-плазменного напыления является перспективной для внедрения в аддитивное производство, несмотря на некоторые недостатки, а именно: высокие энергозатраты, необходимость обеспечения рабочей камеры вакуумом, наличие чистого материала для производства. Данная технология позволит изготавливать высокоточные изделия с заданными при проектировании размерами и качеством поверхностей без необходимости последующей доработки.

2. Представленная конфигурация установки по аддитивному производству с применением ионно-плазменного напыления позволит создавать прецизионные изделия и детали машин для машиностроительной и ракетостроительной отрасли медицинских изделий, заменив целые цеха по изготовлению аналогичных изделий с помощью традиционных способов обработки материалов.

3. Данная установка в состоянии изготавливать изделия с упорядоченной внутренней структурой, которая позволит снизить затраты материала на производство изделий без ухудшения заданных свойств получаемых изделий.

4. Авторами данной статьи разработаны и изготовлены опытные образцы дидактического стенда настольного исполнения, который показал при

испытаниях вполне достаточные для реализации аддитивных технологий характеристики при относительно низкой цене за такое изделие в условиях практически единичного производства.

Библиографический список

1. Алякрецкий, Р. В., Карчебный, М. Ю. Исследование влияния режимов плазменного напыления на термостойкость покрытия: Решетневские чтения. 2015. С. 216—220.
2. Лесневский, Л.Н., Лежнёв, Л.Ю., Плазменные методы формирования износостойких покрытий элементов тепловых двигателей и энергоустановок: Вестник научно-технического развития №10 (98), 2015г.
3. Виноградов, М.И., Макшев Ю.П., Вакуумные процессы и оборудование ионно- и электронно-лучевой технологии, учебное издание, Заочный институт повышения квалификации ИТР ЦИ ВНТО приборостроителей им. С.И. Вавилова, 1989г.
4. Белоус, В.А Ионное распыление материалов в высокоплотных плазменных потоках, РИ, 2001, №3.
5. В.Н. Лясников, О.Д. Муктаров. Исследование влияния ионной имплантации азота при создании наномодифицированной поверхности титановых дентальных имплантатов, Вестник СГТУ. 2012. № 2 (66). Выпуск 2.
6. Кривич, Д.В., Карлов, А.Г. Мультифункциональный дидактический стенд для обработки материалов модульной архитектуры. Сборник тезисов докладов (каталог) XIII Международного Салона изобретений и новых технологий «Новое время», Севастополь, 28-30 сентября 2017 г., С. 270-273.

Bibliograficheskiy spisok

1. Alakretsky R. V., Karzhebniy M. Yu. Investigation of the influence of plasma spraying regimes on the thermal stability of coating: Reshetnev readings. 2015. P. 216-220.
2. Lesnevsky LN, Lezhnev L.Yu., Plasma methods for the formation of wear-resistant coatings for elements of thermal engines and power plants: Vestnik of Scientific and Technical Development No. 10 (98), 2015.
3. M.I. Vinogradov, Yu.P. Makshev, Vacuum processes and equipment of ion and electron beam technology, educational edition, Correspondence Institute for Advanced Training of Engineering Design Bureau of the Central Institute of Instrumentation im. S.I. Vavilov, 1989.
4. VA Belous, Ion sputtering of materials in high-density plasma flows, RI, 2001, N3
5. V.N. Lyasnikov, O.D. Muktarov. Investigation of the effect of ion implantation of nitrogen when creating nanomodified surface of titanium dental implants, Vestnik SSTU. 2012. № 2 (66). Release 2.
- D.V. Krivich, A.G. Charles. Multi-functional didactic stand for processing materials of modular architecture. Collection of abstracts (catalog) of the XIII International Salon of Inventions and New Technologies "New time", Sevastopol, September 28-30, 2017, p.270-273

Карлов Антон Георгиевич, к.т.н., доцент, antkar38cam@gmail.com, Российская Федерация, г. Севастополь, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Политехнический институт.

Кривич Д.В., студент первого курса магистратуры кафедры Приборные системы и Автоматизация Технологических Процессов, denkelen95@gmail.com, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, Политехнический институт.

USING THE TECHNOLOGY OF ION-PLASMA DEPOSITION FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Karlov A.G., Krivich D.V

The information about the technology of ion-plasma spraying and possible modernization of this technology for point application of materials for additive manufacturing of precision products is presented. A description of the possible design of the installation for the additive process using ion-plasma spraying to create products of machine-building and rocket-building industries, as well as the production of bio-prosthetic implants. Attention is paid to the creation of products with an internal ordered structure.

Keyword: Technology of ion-plasma spraying, additive manufacturing, precision build-up of material, products with an ordered internal structure.

Karlov Anton Georgievich, Ph.D., the senior lecturer, antkar38cam@gmail.com, the Russian Federation, Sevastopol, the Sevastopol state university, Polytechnical institute.

Krivich Daniil Vadimovich, student Denkelen95@gmail.com. Sevastopol, the Sevastopol state university, Polytechnical institute.

РОБОТИЗАЦИЯ ОТДЕЛОЧНОЙ ОБРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ АГРЕГАТОВ

Вартанов М.В.¹, Зинина И.Н.², Зотин Д.О.³, Ненюк Д.С.⁴

Аннотация. В статье рассматриваются перспективы роботизации отделочных слесарных операций. Приведен обзор возможных технических решений при роботизации ручных доводочных операций. Создана экспериментальная установка, оснащенная силомоментным датчиком, специальной технологической оснасткой и инструментом. Приведены результаты экспериментальных исследований. Оценена сходимость расчетных и экспериментальных результатов. Сформулированы задачи дальнейшей работы.

Ключевые слова. Роботизированная обработка, отделочные операции, авиационные агрегаты, качество поверхности.

Одним из новых направлений применения промышленных роботов является отделочная механическая обработка. Роботизированная механическая обработка является одной из перспективных технологий снижения затрат в производстве. Роботы предлагают широкие возможности переналадки и позволяют обрабатывать сложные детали. Тем не менее, у них есть два основных ограничения – это их недостаточная точность и низкая жесткость.

Авторами был проведен обзор возможных технических и технологических решений при роботизированной отделочной обработки деталей машин [1].

Для преодоления этих недостатков роботизированной обработки предлагаются различных подходы. Например, компания Volvo Aero Corporation совместно с University West (Швеция), проводила исследования в области роботизации операций полирования и снятия заусенцев на деталях авиационных двигателей [2], по результатам которых производителю роботов фирме АВВ были даны рекомендации по оптимизации программного обеспечения для работы с датчиками силового контроля.

В работе [3] были исследованы динамическая устойчивость роботизированной механической обработки и качество обрабатываемой поверхности детали. Предложенный в работе подход может быть использован для нахождения условий обеспечения наиболее стабильной работы и исключения динамически неустойчивых параметров резания.

Итальянскими исследователями [4] предложен метод проектирования гибких роботизированных ячеек для механической обработки, основанный на разработке виртуального прототипа с последующей калибровкой ячейки, состоящей из четырех этапов, что приводит к уменьшению погрешности обработки детали от ± 1 до $\pm 0,1$ мм.

Технической основой большинства предлагаемых решений является оснащение роботов силомоментными датчиками, оценивающими фактические значения составляющих силы резания. Разрабатываемые алгоритмы управления роботами направлены на компенсацию возникающих отклонений от программных траекторий движения инструмента.

В российском машиностроении также имеет место большой объем слесарных операций, после обработки деталей на станках с ЧПУ. Подобная ситуация имеет место и в авиационной корпорации «РУБИН» (г. Балашиха, Московская обл.). При производстве гидроагрегатов весь объем операций по снятию заусенцев, полировке и доводке выполняется вручную.

Корпорация «РУБИН» заинтересована в снижении трудоемкости, слесарных операций корпусных деталей авиационных гидроагрегатов на основе роботизации отделочной механообработки. На **Рис.1** приведен пример изделия и технических требований к операции отделочной обработки.

- Снятие заусенцев и притупление острых кромок (наружные кромки от 0,1 до 0,4 мм; внутренние кромки от 0,2 до 0,8 мм);
- Заправка и полировка R0,5+0,5мм в отверстиях на дне корпуса диаметром 20H7, диаметром 14H7 и диаметром 10H9;
- Зачистка внутренних плоскостей до шероховатости Ra 0,63.

Целью проводимых исследований является снижение трудоемкости слесарных и отделочных операций в производстве деталей авиационных гидроагрегатов на основе создания технологии роботизированной обработки.

Для достижения поставленной цели в лаборатории «Средства автоматизации» Московского Политеха смонтирована экспериментальная установка (**Рис.2**), которая включает в себя: робот ABB IRB 140, силомоментный датчик FTN-AXIA80 Ethernet, специальную оснастку для крепления инструмента и режущий инструмент. Специальная оснастка (**Рис.3**) необходима для неподвижной фиксации гибкого вала бормашины относительно выходного звена робота.

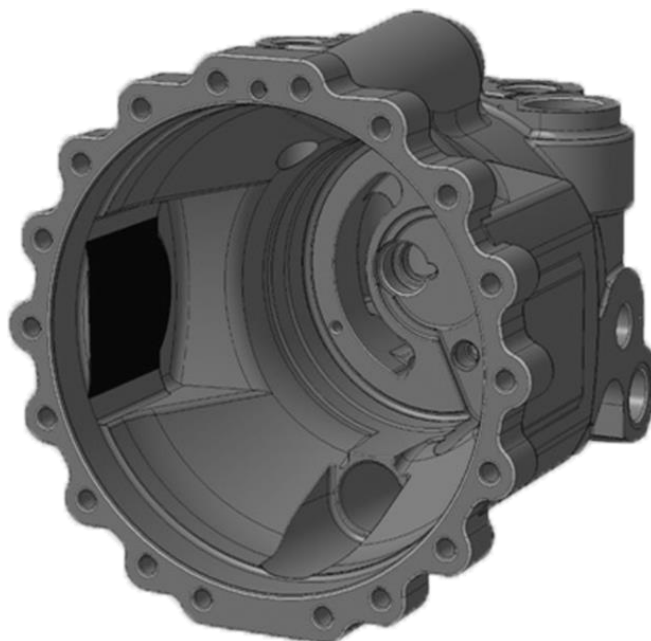


Рис.1 – Корпус авиационного плунжерного насоса

Для притупления острых кромок по наружному контуру и на дне корпуса в отверстиях после расточной операции ЧПУ был подобраны варианты отделочного инструмента:

- режущие щетки фирмы XEBEC (Xebec Technology Co. Ltd – Токио, Япония). Щетки из керамического волокна применяются для удаления заусенцев до 0,5 мм и притупления острых кромок;
- борфрезы с двойной заточкой для цветных металлов фирмы Hoffmann Group. Борфрезы с двойной заточкой эффективно снимают материал, образуя мелкую стружку. Борфреза с такой заточкой универсальна и ее успешно применяют для обработки большинства материалов.

Для написания программы отделочной обработки корпуса была использована виртуальная среда RobotStudio. Обучение осуществлялось путем задания множества точек на траектории обработки методом обучения.

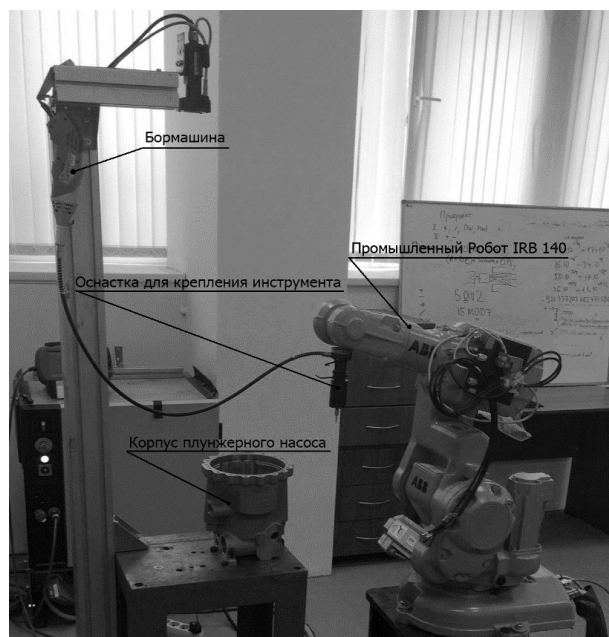


Рис.2 – Общий вид экспериментальной установки

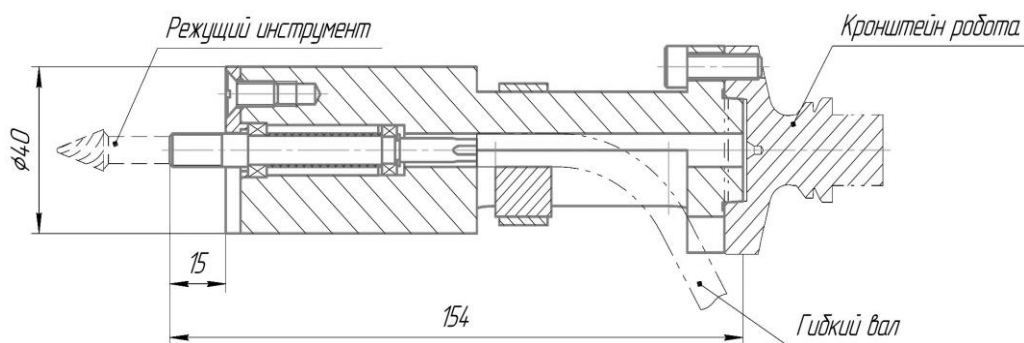


Рис.3 – Специальная оснастка

На экспериментальной установке были проведены тестовые исследования, направленные на выявление режимов обработки, обеспечивающих требуемое качество поверхностей. Эксперименты проводились при постоянных значениях подачи (для щеток диаметром 6 и 15 мм – 2400 мм/мин; для цилиндрической борфрезы диаметром 8 мм – 1850 мм/мин) с изменением частоты вращения инструмента, в диапазоне от 1000 до 10000 об/мин для щеток и от 8000 до 34000 об/мин для борфрезы.

Исследования позволили установить оптимальные значения частот вращения, при которых обеспечивается требуемое качество поверхностей деталей. Для щетки диаметром 6 мм – 6000 об/мин, диаметром 15 мм – 4800 об/мин. Для цилиндрической борфрезы оптимальное число оборотов составляет 31000 об/мин. На графиках (Рис.4, 5) показаны зависимости силы резания от частоты вращения инструмента.

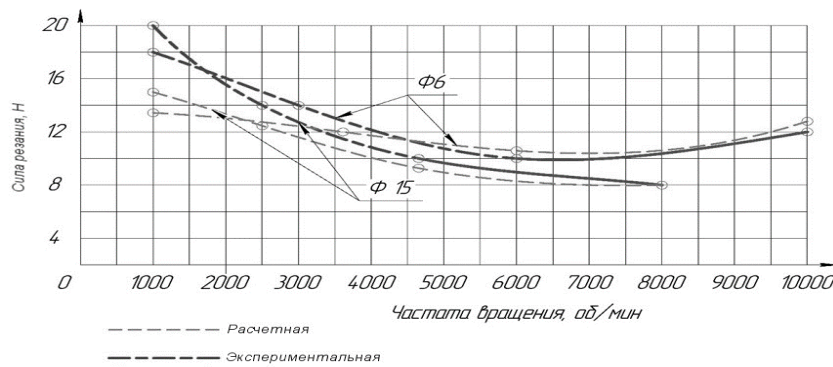


Рис.4 – Зависимость силы резания от числа оборотов щетки

Проверка фактических сил и моментов при резании осуществлялась с помощью силомоментного датчика. Сходимость процесса оценивалась по положению расчетной и экспериментальной кривых. Из графиков видно, что расчетная и экспериментальная кривые весьма близки.

Оценка качества обработки проводилась с использованием видеоизмерительного микроскопа модели NVM-3020 фирмы NORGAU. Проведенная оценка поверхности, обработанной борфрезой, показала, что заусенцы успешно удалены и сформирована поверхность требуемого качества (Рис.6).

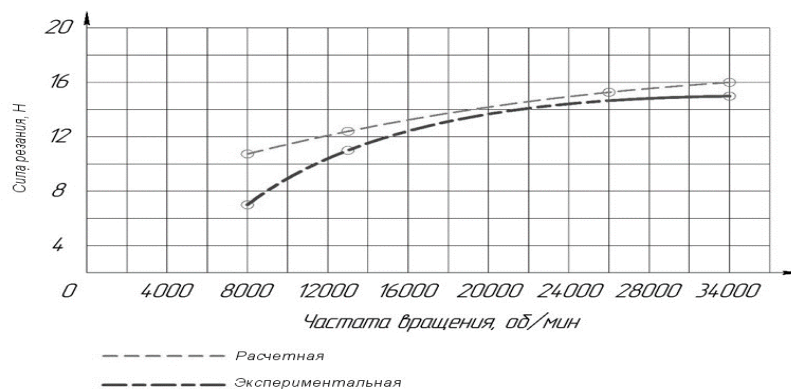


Рис.5 – Зависимость силы резания от числа оборотов борфрезы

Проведенные эксперименты носили тестовый характер и были использованы для оценки возможности применения робота на операции устранения заусенцев. Эксперименты подтвердили возможность роботизации данной технологической операции с обеспечением требуемого качества поверхности.

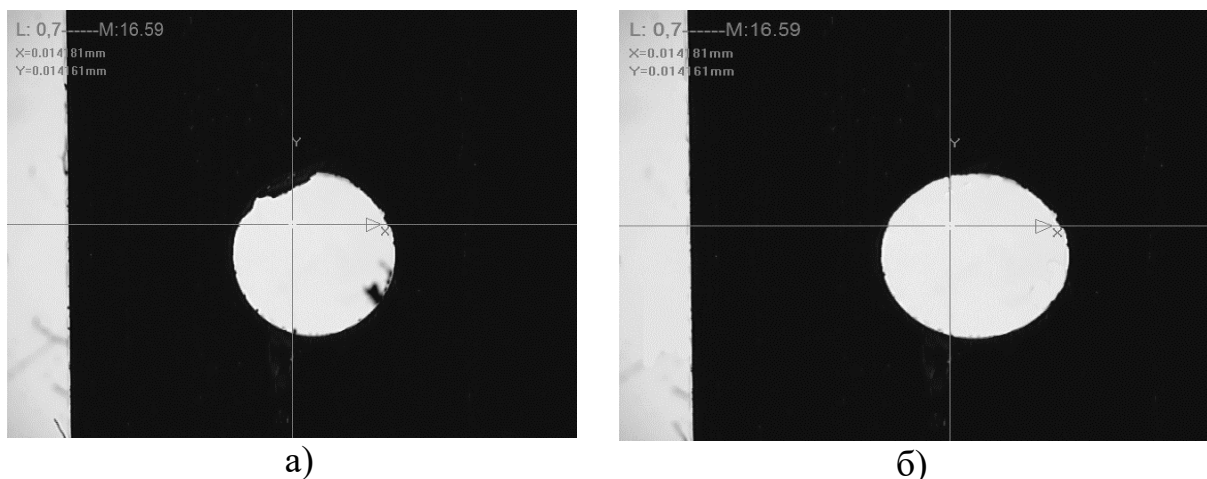


Рис.6 – Снимки обрабатываемой поверхности под микроскопом: а) до обработки Ra 2,1 мкм, б) после обработки Ra 1,2 мкм

Дальнейшие исследования требуют дооснащения экспериментальной установки специальным шпинделем и специальным программным обеспечением для реализации позиционно-силового управления роботом.

Библиографический список

1. Вартанов М.В., Зинина И.Н., Зотин Д.О. Технологические возможности роботизированной отделочной обработки в условия многономенклатурного производства // Вестник РГТУ, №1 (40), 2017, С. 190-194.
2. M. Krantz, R. Andersson Robotized Polishing and Deburring with Force Feedback Control. University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN.
3. I. Zaghbani, M.Lamraoui, V. Songmene, M.Thomas, M. El badaoui Robotic High Speed Machining of Aluminum Alloys // Proceedings of the 4th edition of the International Conference on High Speed Machining (ICHSM'2010), Harbin, China. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.188.584
4. F. Leali, A. Vergnano, F. Pini, M. Pellicciari, G. Berselli A workcell calibration method for enhancing accuracy in robot machining of aerospace parts // International Journal Advanced Manufacturing Technology (2016) p. 47–55. DOI 10.1007/s00170-014-6025-y

Bibliograficheskiy spisok

1. Vartanov M.V., Zinina I.N., Zotin D.O. Tekhnologicheskie vozmozhnosti robotizirovannoi` otdelochnoi` obrabotki v usloviia mnogonomenklaturnogo proizvodstva // Vestneyk RGATU, №1 (40), 2017, p. 190-194..
2. M. Krantz, R. Andersson Robotized Polishing and Deburring with Force Feedback Control. University West, Department of Engineering Science, S-461 86 Trollhättan, SWEDEN.
3. I. Zaghbani, M.Lamraoui, V. Songmene, M.Thomas, M. El badaoui Robotic High Speed Machining of Aluminum Alloys // Proceedings of the 4th

edition of the International Conference on High Speed Machining (ICHSM'2010), Harbin, China. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.188.584

4. F. Leali, A. Vergnano, F. Pini, M. Pellicciari, G. Berselli A workcell calibration method for enhancing accuracy in robot machining of aerospace parts // International Journal Advanced Manufacturing Technology (2016) p. 47–55. DOI 10.1007/s00170-014-6025-y

Вартанов Михаил Владимирович, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры «Технологии и оборудования машиностроения», m.v.vartanov@mospolytech.ru, Россия, Москва, Московский политехнический университет

Зинина Инна Николаевна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры «Технологии и оборудования машиностроения», i.n.zinina@mospolytech.ru, Россия, Москва, Московский политехнический университет

Зотин Даниил Олегович, магистр по кафедре «Технологии и оборудования машиностроения», i.n.zinina@mospolytech.ru, Россия, Москва, Московский политехнический университет

Ненюк Дмитрий Сергеевич, магистр по кафедре «Технологии и оборудования машиностроения», i.n.zinina@mospolytech.ru, Россия, Москва, Московский политехнический университет

ROBOTIZATION FINISHING AIRCRAFT UNITS

M. V. Vartanov, I. N. Zinina, D. O. Zotin, D. S. Neniuk

The article discusses the perspective of the robotization finishing operation and locksmithing. The review of possible technical solutions for the robotization of manual smoothing operations is given. An experimental setup equipped with a force-torque sensor, a special industrial equipment and tools. The results of experimental studies are presented. The convergence of the calculated and experimental results is estimated. The tasks of further work are formulated.

Key words: robotic processing, finishing operations, aviation units, surface quality.

Vartanov, Mikhail Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the chair of "Technologies and Equipment of Mechanical Engineering", m.v.vartanov@mospolytech.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University.

Zinina Inna, candidate of technical sciences, associate professor of the chair of "Technologies and Equipment of Mechanical Engineering", i.n.zinina@mospolytech.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University.

Zotin Daniil Olegovich, Master in Technology and Machinery Engineering, i.n.zinina@mospolytech.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University.

Nenyuk Dmitry Sergeevich, Master in Technology and Machinery Engineering, i.n.zinina@mospolytech.ru, Russia, Moscow, Moscow Polytechnic University.

РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ АНТРОПОМОРФНЫМ МАНИПУЛЯТОРОМ

Бохонский А.И.¹, Майстришин М.М.²

Аннотация. С помощью антропоморфного манипулятора реализуется оптимальное перемещение груза по траектории в виде отрезка прямой. Оценена энергоёмкость управления.

Ключевые слова. Оптимальное управление, антропоморфный манипулятор, обратная задача динамики, кинематические параметры движения.

Решение задач оптимального управления движением объектов дано в работах [1 – 7] и других, задачам динамики посвящены работы [8 – 12]; дальнейшее совершенствование алгоритмов управления естественно с использованием систем аналитических вычислений.

Цель исследований – реализация алгоритма обратной задачи динамики при оптимальном перемещении объекта антропоморфным манипулятором. Реализация алгоритма иллюстрируется на примере.

Траектория, по которой перемещается схват манипулятора с полезным грузом, – отрезок прямой AB (Рис.1).

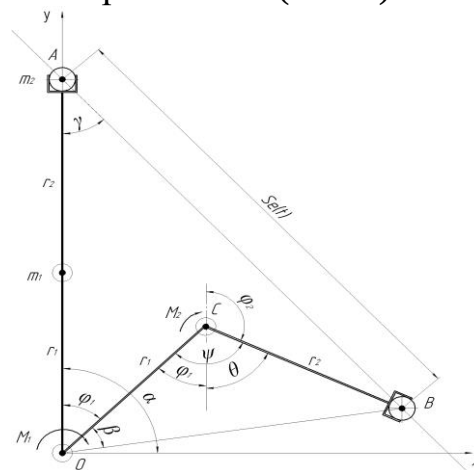


Рис.1 – Схема перемещения схвата антропоморфного манипулятора по прямой AB

Для перемещения массы m из исходного состояния (точка A) на расстояние $S_e(t) = AB$ по оптимальному закону осуществляются повороты звеньев руки на углы $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$. Исходное положение – рука манипулятора расположена на оси y , т.е. $OA = r_1 + r_2$.

Задан угол γ . Цель моделирования – выразить углы $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ через параметры γ , r_1 , r_2 и $S_e(t)$ с последующим анализом поведения руки.

Из ΔOAB следует

$$OB^2 = (r_1 + r_2)^2 + S_e^2 - 2(r_1 + r_2)S_e(t)\cos\gamma, \quad (1)$$

а из ΔOCB

$$OB^2 = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\psi. \quad (2)$$

Приравнивая правые части выражения (1) и (2), получим:

$$\psi(t) = \arccos\left(-\frac{(r_1 + r_2)^2 + S_e^2 - 2(r_1 + r_2)S_e(t)\cos\gamma - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}\right), \quad (3)$$

А с учетом $\theta = \psi - \varphi_1$ и $\varphi_2 = \pi - \theta$ выражением для угла поворота

$$\varphi_2 = \pi - \psi + \varphi_1. \quad (4)$$

С использованием теоремы синусов из ΔOAB и ΔOCB найдены углы:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{S_e(t) \cdot \sin\gamma}{OB}\right), \quad \beta = \arcsin\left(\frac{r_2 \cdot \sin\gamma}{OB}\right). \quad (5)$$

Теперь углы поворота звеньев руки определяются как

$$\varphi_1(t) = \alpha - \beta, \quad (6)$$

$$\varphi_2(t) = \pi - \psi + \alpha - \beta. \quad (7)$$

Выражения (6) и (7) для углов чрезвычайно громоздки.

Рассмотрены два варианта оптимального движения по траектории в виде отрезка прямой.

Необходимо определить движущие моменты M_1 и M_2 с последующей оценкой энергетических затрат на управляемое движение.

Пример управления [1], для которого критерием оптимальности является норма мощности $J = \int_0^T U_e^2 dt$:

$$S_e(t) = \frac{Lt^2}{T^2} \left(3 - \frac{2t}{T}\right), \quad V_e(t) = \frac{6L}{T^2} \left(t - \frac{t^2}{T}\right), \quad U_e(t) = \frac{6L}{T^3} (t - 3t). \quad (8)$$

Численный пример. Исходные данные: $L = 0,2$ м; $T = 0,5$ с; $\gamma = \frac{\pi}{4}$; $m = 3$ кг – масса перемещаемого груза.

Энергия, затраченная непосредственно на движение груза:

$$A = m \int_0^T \text{abs}(U_e) V_e dt = 1,08 \text{ Дж.}$$

Графики функций (8) изображены на **Рис.2**.

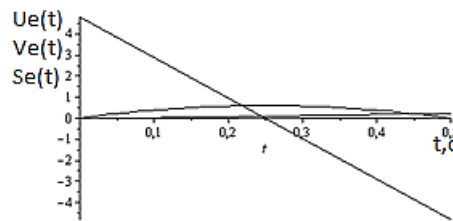


Рис.2 – Оптимальные кинематические параметры движения груза

Для реверсионно найденного управления [7] с восстановленным критерием $\int_0^T (\ddot{U})^2 dt$ оптимальности движение груза описывается аналитическими зависимостями:

$$\begin{aligned} U_e(t) &= \frac{10L}{T^5} (T - 3t)^3, \\ V_e(t) &= \frac{10L}{T^5} (T - t) (2t^2 - 2tT + T^2), \\ S_e(t) &= \frac{Lt^2}{T^5} (5T^3 - 10tT^2 + 10t^2T - 4t^3). \end{aligned} \quad (9)$$

Графики функций (9) изображены на **Рис.3**.

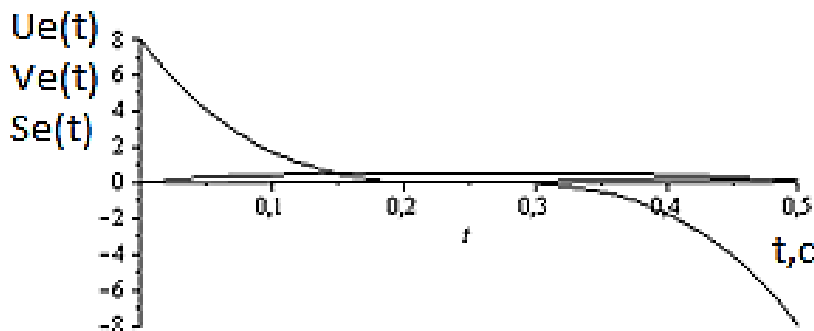


Рис.3 – Оптимальные кинематические параметры при движении груза по отрезку прямой

Непосредственно на перемещение груза затраченная энергия $A = m_2 \int_0^T U_e(t) V_e(t) dt = 0,75 \text{ Дж}$, т.е. очевидна экономия энергетических затрат. Графики $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ для обоих случаев управляемого движения практически совпадают (**Рис.4, Рис.5**).

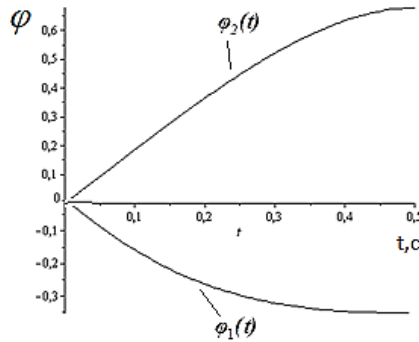


Рис.4 – Графики углов поворота звеньев манипулятора $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$

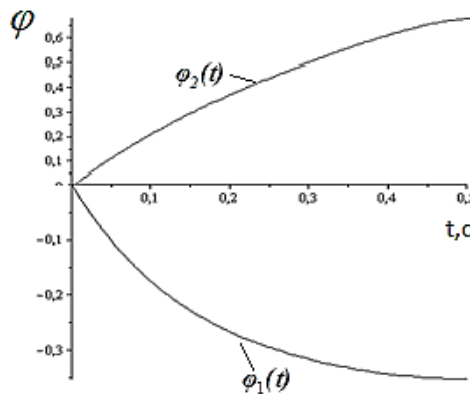


Рис.5 – Графики углов поворота звеньев манипулятора $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$

Кинетическая энергия манипулятора в произвольный момент времени равна:

$$T = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\dot{\varphi}_1^2 + m_2 \left(\frac{1}{2}\dot{\varphi}_2^2 + k_1 k_2 \dot{\varphi}_1 \dot{\varphi}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \right). \quad (10)$$

При известных $\varphi_1(t)$ и $\varphi_2(t)$ обобщение силы (чае моменты в приводах) вычисляются как правые части уравнений Лагранжа второго рода:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = M_1(t), \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_2} - \frac{\partial T}{\partial \varphi_2} = M_2(t). \quad (11)$$

После преобразований (11) выражения для движущих моментов принимают вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= (m_1 + m_2)r_1^2\ddot{\varphi}_1 + m_2R_1R_2\ddot{\varphi}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) - m_2R_1R_2\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1); \\ M_2 &= m_2R_1R_2\ddot{\varphi}_1 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + m_2R_2^2\ddot{\varphi}_2 + m_2l_1l_2\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) \end{aligned} \quad (12)$$

Графики $M_1(t)$ и $M_2(t)$ для первого случая управления изображены на **Рис.6**.

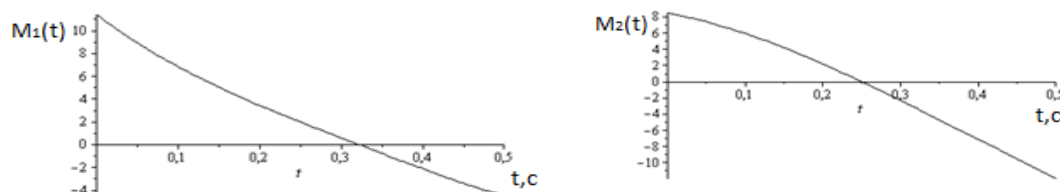


Рис.6 – Графики движущих моментов $M_1(t)$ и $M_2(t)$

Графики $M_1(t)$ и $M_2(t)$ для второго случая управления изображены на Рис.7.

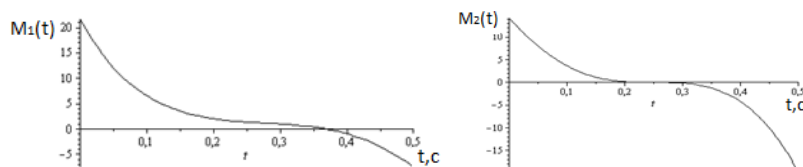


Рис.7 – Графики движущих моментов $M_1(t)$ и $M_2(t)$

Общая энергия управления, затраченная на реализацию манипулятором первого управления

$$\mathcal{E}_e = \int_0^T \text{abs}(M_1) \text{abs}(\omega_1) dt + \int_0^T \text{abs}(M_2) \text{abs}(\omega_2) dt = 2,135 + 3,198 = 5,324 \text{ Дж}$$

Аналогично для второго типа управления: $\mathcal{E}_e = 5,597$ Дж. Здесь $m_1 = 2$ кг, $m_2 = m_1 + m = 5$ кг.

Найденные движущие моменты (обобщенные силы $M_1(t)$ и $M_2(t)$) описывают перемещение полезной массы по прямой на заданное расстояние L за время T из исходного в конечное состояние покоя. Естественно, что энергия, затраченная непосредственно на перемещение полезного груза, существенно меньше общей энергии, которая расходуется с учетом движения звеньев антропоморфного манипулятора. Естественным продолжением исследований является учет конечной жесткости звеньев антропоморфного манипулятора.

Библиографический список

1. Воронов А.А. Теория автоматического управления. ч.II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. – М.: Высш. школа, 1977. – 288с.
2. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
3. Крутько, П.Д. Обратная задача динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1988. – 304 с.
4. Бохонский, А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов. Фундаментальные основы механики // Материалы междуна. науч.- пр. конф. Новокузнецк, НКЦ МС, 2017. – №2. – С.38 – 41.
5. Бохонский А.И. Варминская Н.И. Вариационное и реверсионное

- исчисления в механике: монография. – Севастополь: изд-во СевНТУ, 2012. – 212 с.
6. Бохонский, А.И. Оптимальное управление переносным движением дефор-мируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.Н. Мозолевский – Севастополь: изд-во СевГТУ, 2007. – 296 с.
 7. Бохонский А.И. Реверсинный принцип оптимальности. Монография. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА – М, 2016. – 174 с.
 8. Емельянов, А.В. Введение в аналитическую механику. – Калуга : Эйдос, 2005. – 124 с.
 9. Мещерский, И.В. Задачи по теоретической механике. – СПб.: Лань, 2002, 448с.
 10. Лойцянский, Л.Ш., Лурье А.И. Курс теоретической механики. – М.: Наука, Т.2. 183. – 640 с.
 11. Парс Л. Аналитическая динамика М. – Л.: Наука, 1971. – 635 с.
 12. Суслов Г.К. Теоретическая механика М. – Л.: Гостехиздат, 1946. – 655 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Voronov A.A. Theory of automatic control. Part II. The theory of nonlinear and special systems of automatic control. - М.: Higher education. school, 1977. - 288s.
2. Krasovskiy N.N. Motion Control Theory. - Moscow: Nauka, 1968. - 476 p.
3. Krutko P.D. Inverse problem of the dynamics of controllable systems: Linear models. - Moscow: Nauka, 1988. - 304 p.
4. AI Bokhonsky. Energy intensity control of moving objects. Fundamental Fundamentals of Mechanics. Scientific-Pr. Conf. Novokuznetsk, NCC MC, 2017. - № 2. - P.38 - 41.
5. Bokhonsky A.I. Warminskaya N.I. Variational and reversion calculus in mechanics: monograph. - Sevastopol: publishing house SevNTU, 2012. -212 pp.
6. AI Bokhonsky. Optimum control of the portable motion of deformable objects: theory and technical applications / A.I. Bokhonsky, N.I. Warminskaya, M.N. Mozolevsky - Sevastopol: publishing house SevGTU, 2007. - 296 p.
7. AI Bokhonsky. The reverse principle of optimality. Monograph. - М.: University textbook: INFRA-M, 2016. - 174 p.
8. Emelyanov A.V. Introduction to analytical mechanics. - Kaluga: Eidos, 2005. - 124 p.
9. Meshchersky I.V. Problems in theoretical mechanics. - St. Petersburg: Lan, 2002, 448p.
10. Loytsiansky L.Sh., Lurie A.I. Course of theoretical mechanics. - Moscow: Nauka, Vol.2. 183. - 640 p.
11. Pars, L., Analytic Dynamics, M.-L.: Nauka, 1971. - 635 p.
12. Suslov G.K. Theoretical Mechanics M. - Leningrad: Gostekhizdat, 1946. – 655 p.

*Бохонский Александр Иванович, д-р техн. наук, проф.,
bohon.alex@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет,*

*Майстришин Михаил Михайлович, канд. техн. наук, доц.,
mihail.maystrishin@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский
государственный университет*

REALIZATION OF OPTIMAL MOVEMENTS BY ANTHROPOMORPHIC MANIPULATOR

A. I. Bokhonsky, M.M. Maystrishin

With the help of an anthropomorphic manipulator, an optimal shift of the cargo along the trajectory in the form of a straight line segment is realized. The energy management capacity is estimated.

Key words: optimum control, anthropomorphic manipulator, inverse dynamic problem, portable motion.

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

*Maystrishin Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences,
mihail.maystrishin@gmail.com Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.*

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСЛЯТОРОВ ANTLR ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МАШИНОПРИБОРОСТРОЕНИИ

Фисун С.Н.¹, Дзюба С.Н.²

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению методики использования системы автоматизации построения трансляторов ANTLR для разработки информационных систем в машиноприборостроении. На примере фрагмента грамматики языка программирования, подобного используемому в рассматриваемой области, рассмотрена методика автоматического построения нисходящего синтаксического анализатора.

Ключевые слова. Синтаксический анализ, ANTLR, Теренс Парр, грамматика LL(1), метод LL(1).

ANTLR (от англ. ANother Tool for Language Recognition- «еще одно средство распознавания языков») - генератор нисходящих анализаторов для формальных языков, разработанный профессором Теренсом Парром из Университета Сан-Франциско [1]. ANTLR преобразует контекстно-свободную грамматику, представленную в виде расширенной Бэкус-Науровой формы, в программу на таких языках программирования, как C++, Java, C#, Python, Ruby. Широко применяется для разработки компиляторов, интерпретаторов и трансляторов, необходимых для разработки информационных систем в машиноприборостроении. Преимуществами ANTLR является свободное распространение, использование единой нотации, предоставление сообщений об ошибках и восстановление после них, наличие визуальных средств разработки, например, ANTLR Works для IDE NetBeans [2,3,4].

Рассмотрим методику работы с ANTLR на примере разработки синтаксического анализатора для фрагмента грамматики C-подобного языка программирования близкого к используемому в машиноприборостроении (далее «тестовая грамматики»). Фрагмент грамматики описывает определение функции, которая может включать в себя условные и циклические операторы, а также операторы сравнения, присвоения и простейшие математические операторы: сложение, вычитание, умножение и деление. Рассматриваемый фрагмент выглядит следующим образом:

1. <functionDeclaration> --> <functionName> 'BEGIN'
<functionBody> 'END' ;
2. <functionName> --> <qualifiedName> ;
3. <functionBody> --> <sequenceStatement>;

```

4.  <sequenceStatement> --> <statement> | <statement>
<sequenceStatement>;
5.  <statement> --> <variableDeclaration> | <assignment>
|                                     <whileStatement> |
|                                     <ifStatement> |
<expression> ;
6.  <variableDeclaration> --> 'VAR' <name> 'EQUALS'
<expression>;
7.  <assignment> --> <name> 'EQUALS' <expression>;
8.  <ifStatement> --> 'IF' ('(')? <expression> ('))'?
'BEGIN' <sequenceStatement> 'END'
| 'IF' ('(')? <expression> ('))'? 'BEGIN'
| <sequenceStatement> 'END'
| 'ELSE' 'BEGIN' <sequenceStatement> 'END';
9.  <whileStatement> --> 'WHILE' ('(')? <expression>
(''))'? 'BEGIN' <sequenceStatement>
'END';
10. <name> --> 'ID' ;
11. <expression> --> <factor> | <expression> '+' <factor>
| <expression> '-' <factor>;
12. <factor> --> <primary> | <factor> '*' <primary> |
<factor> '/' <primary>;
13. <primary> --> 'ID' | <value> | '(' <expression> ')'
| '(' <comparison> ')';
14. <comparison> --> <expression> 'EQU' <expression> |
<expression> 'NEQ' <expression>;
15. <variableReference> --> 'ID' ;
16. <value> --> '-'? 'NUMBER' | 'BOOL' | 'STRING' ;
17. <qualifiedName> --> 'ID' ( '.' 'ID' ) '*';

```

Одна из множества возможных строк, принадлежащих вышеприведенной грамматике, может иметь следующий вид:

```

ID BEGIN
  VAR ID EQUALS STRING
  IF ( ( ID NEQ NUM ) ) BEGIN
    VAR ID EQUALS STRING
    WHILE ( ID ) BEGIN
      VAR ID EQUALS NUM
      WHILE ( ID ) BEGIN
        VAR ID EQUALS NUM
      END
    END
  END
END
ELSE BEGIN
  VAR ID EQUALS NUM
END
END

```

Грамматика для ANTLR записывается по следующим правилам [1]: правило начинается с имени; имена для правил лексического анализатора обязаны начинаться с заглавной буквы; после имени идет символ ":", за которым следуют «альтернативы», которые разделяются символом "|" и должны заканчиваться символом ";" . Также, существуют и другие элементы языка [1]:

- (...) – подправило;
- (...) * - повторение подправила 0 или более раз;
- (...) + - Повторение подправила 1 или более раз;
- (...) ? - подправило, может отсутствовать;

- {...} - семантические действия (на языке, используемом в качестве выходного - напр., Java);
- [...] - параметры правила;
- | - оператор альтернативы;
- .. - оператор диапазона;
- ~ - отрицание;
- . - любой символ;
- = - присваивание;
- : - метка начала правила;
- ; - метка конца правила.

Учитывая правила записи грамматики для ANTLR, тестовая грамматика примет следующий вид:

```
functionDeclaration : functionName 'BEGIN' functionBody 'END'
;
functionName : qualifiedName ;
functionBody : sequenceStatement;
sequenceStatement: statement |statement sequenceStatement;
statement : variableDeclaration
           | assignment
           | whileStatement
           | ifStatement
           | expression ;
variableDeclaration : 'VAR' name 'EQUALS' expression;
assignment : name 'EQUALS' expression;
ifStatement : 'IF' ('(')? expression ('')'? 'BEGIN'
sequenceStatement
               'END'|'IF' ('(')? expression ('')'?
               'BEGIN'
               sequenceStatement 'END' 'ELSE' 'BEGIN'
sequenceStatement
               'END';
whileStatement : 'WHILE' ('(')? expression ('')'?
'BEGIN'
               sequenceStatement 'END';
name : 'ID' ;
expression : factor | expression '+' factor | expression '-'
factor;
factor: primary | factor '*' primary | factor '/' primary;
primary:'ID' | value | '(' expression ')' | '(' comparison
')';
comparison: expression 'EQU' expression | expression 'NEQ'
expression;
variableReference : 'ID' ;
value : '-'?'NUMBER'
       | 'BOOL'
       | 'STRING' ;
qualifiedName : 'ID' ('.' 'ID')'*';
```

Начиная с ANTLR версии 4 исходную грамматику можно записывать с леворекурсивными правилами, но должно соблюдаться отсутствие скрытой рекурсии.

Тестовую грамматику необходимо поместить в текстовый файл, для задания целевого языка программирования, а также для последующей генерации синтаксического анализатора на ее основе. Содержимое файла

выглядит следующим образом, представленным на **Рис.1**. Также важно то, что название файла должно в точности совпадать с названием грамматики, а формат его должен быть “.g4”. В данном случае, файл будет иметь название “TestANTLR.g4”.

В рабочую папку, в которой сохранен файл с грамматикой, необходимо скопировать jar-библиотеку ANTLR4, которую можно скачать с сайта ANTLR. Далее в рабочей папке необходимо создать файл с расширением “.bat” и открыть его в текстовом редакторе. Необходимо ввести 2 строки, служащие для генерации синтаксического анализатора. Содержимое файла представлено на **Рис2**.

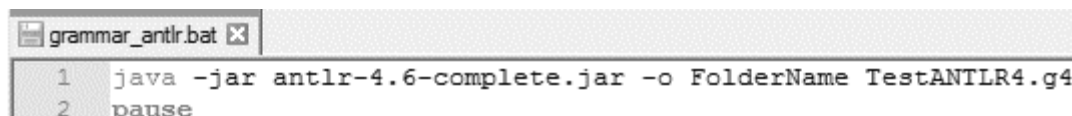
Первая строка-это команда для генерации необходимых для работы анализатора классов в соответствии с разработанной грамматикой. Важными в ней являются третий параметр, который должен в точности повторять название исполняемого jar-файла ANTLR, который находится в папке, пятый параметр FolderName-имя рабочей папки, в которую будут сложены все сгенерированные файлы и шестой по счету параметр – TestANTLR4.g4 – файл с разработанной грамматикой.

```

1 grammar TestANTLR;
2
3 options
4 {
5     language = Java;
6 }
7 //PARSER
8 functionDeclaration : functionName 'BEGIN' functionBody 'END' ;
9 functionName : qualifiedName ;
10 functionBody : sequenceStatement;
11
12 sequenceStatement: statement
13                 |statement sequenceStatement;
14 statement : variableDeclaration
15           | assignment
16           | whileStatement
17           | ifStatement
18           | expression ;
19
20 variableDeclaration : 'VAR' name 'EQUALS' expression;
21 assignment : name 'EQUALS' expression;
22 ifStatement : 'IF' '(' '?' expression ')' ? 'BEGIN' sequenceStatement 'END'
23            | 'IF' '(' '?' expression ')' ? 'BEGIN' sequenceStatement 'END'
24            | 'ELSE' 'BEGIN' sequenceStatement 'END';
25 whileStatement : 'WHILE' '(' '?' expression ')' ? 'BEGIN' sequenceStatement 'END';
26 name : 'ID' ;
27
28 expression : factor|expression '+' factor| expression '-' factor;
29 factor: primary | factor '*' primary | factor '/' primary;
30 primary: 'ID' | value | '(' expression ')' | '(' comparison ')';
31 comparison: expression 'EQU' expression | expression 'NEQ' expression;
32
33 variableReference : 'ID' ;
34 value : '-'?'NUMBER'
35       | 'BOOL'
36       | 'STRING' ;
37 qualifiedName : 'ID' ('.' 'ID') '*';
    
```

Рис.1 – Содержимое файла TestANTLR.g4

Вторая строка необходима для задержки консоли. Сохраняем bat-файл и запускаем его.



```

grammar_antlr.bat
1 java -jar antlr-4.6-complete.jar -o FolderName TestANTLR4.g4
2 pause
    
```

Рис.2 – Содержимое файла grammar_antlr.bat

В случае, если генерация прошла без ошибок, мы увидим, что в нашей рабочей папке появилась новая папка FolderName, название которой соответствует указанному в bat-файле.

 grammar_antlr.bat	17.01.2017 23:11	Пакетный файл ...	1 КБ
 TestANTLR4.g4	17.01.2017 23:05	Файл "G4"	1 КБ
 antlr-4.6-complete.jar	17.01.2017 21:21	Executable Jar File	1 586 КБ
 FolderName	17.01.2017 23:14	Папка с файлами	

Рис.3 – Содержимое рабочей папки

Открыв ее, можно увидеть множество классов.

 TestANTLR.tokens	02.06.2017 23:06	Файл "TOKENS"	1 КБ
 TestANTLRBaseListener.java	02.06.2017 23:06	Java source file	7 КБ
 TestANTLRLexer.java	02.06.2017 23:06	Java source file	6 КБ
 TestANTLRLexer.tokens	02.06.2017 23:06	Файл "TOKENS"	1 КБ
 TestANTLRListener.java	02.06.2017 23:06	Java source file	6 КБ
 TestANTLRParser.java	02.06.2017 23:06	Java source file	37 КБ

Рис.4 – Сгенерированные файлы

Они понадобятся далее в проекте, поэтому выделяем их и копируем в папку проекта Java.

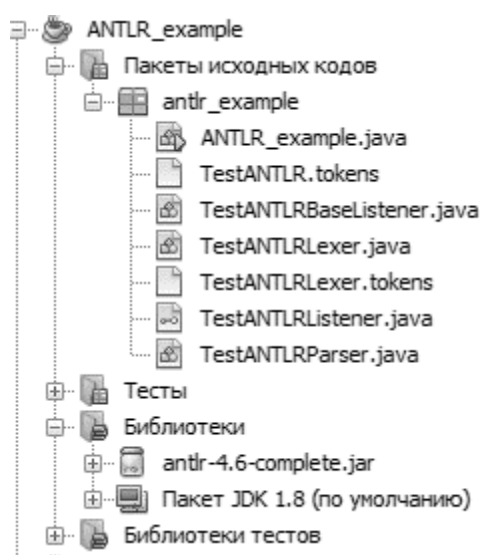


Рис.5 – Структура проекта

Наконец, для простейшей проверки работы полученного синтаксического анализатора попробуем проверить на соответствие грамматике тестовую строку и, в случае успеха, будет построено дерево синтаксического разбора. Для этого, в главный класс ANTLR_example.java вставим следующий код [5]:

```
import java.io.IOException;
import org.antlr.v4.runtime.*;
import org.antlr.v4.runtime.tree.*;
```

```

public class ANTLR_example {
    public static void main(String[] args) throws IOException
    {
        String input = "ID BEGIN WHILE ( ID ) BEGIN VAR ID
EQUALS NUM VAR ID EQUALS NUM END END";
        // создаем лексер(лексич анализатор, с входным потоком
        CharStream
            TestANTLRLexer lexer = new TestANTLRLexer(new
ANTLRInputStream(input));
        // буфер токенов лексера
        CommonTokenStream tokens = new
CommonTokenStream(lexer);
        // парсер(синтаксический анализатор)
        TestANTLRParser parser = new TestANTLRParser(tokens);
        //начало обхода дерева с начального правила
        ParseTree tree = parser.functionDeclaration(); //
begin parsing at init rule
        System.out.println(tree.toStringTree(parser)); //
print LISP-style tree
    }
}

```

Запускаем на выполнение программу и в случае, если входные данные соответствуют грамматике, то в терминал будет выведено дерево разбора в виде (корень вершина1 вершина2 ...). В рассматриваемом случае на вход анализатора подается строка:

```

ID BEGIN
    WHILE ( ID ) BEGIN
        VAR ID EQUALS NUM
        VAR ID EQUALS NUM
    END
END

```

Строка соответствует рассматриваемой грамматике, поэтому результатом выполнения будет вывод дерева разбора в консоль. В противном случае, сообщение об ошибке будет также выведено в консоль.

Библиографический список

1. Terence Parr. The Definitive ANTLR 4 Reference: Building Domain-Specific Languages. Pragmatic Bookshelf, 2013. – 328 p.
2. Фисун, С.Н. Сравнительный анализ языковых и программных средств для автоматизации разработки синтаксических анализаторов информационных систем в машиноприборостроении / С.Н. Фисун, С.Н. Дзюба // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения: материалы междунар. науч. - техн. конф. Севастополь, 5-9 сен. 2016 г./ Севастополь: СевГУ, 2016. - С.99
3. Малявко, А. А. Формальные языки и компиляторы: учебное пособие для вузов / А. А. Малявко. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 429с.

4. Соломатин, Д.И. Основы синтаксического разбора, построение синтаксических анализаторов: учебно-методическое пособие для вузов / Д.И. Соломатин, А.В.Копытин, А.И. Другалев. – Воронеж: Изд-во Воронежского ГУ, 2014. – 57 с.
5. Шилдт Г. Java 8. Полное руководство / Г. Шилдт. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 1376 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Terence Parr. The Definitive ANTLR 4 Reference: Building Domain-Specific Languages. Pragmatic Bookshelf, 2013. – 328 r.
2. Fisun, S.N. Sravnitel'nyy analiz yazikovykh i programmnykh sredstv dlya avtomatizatsii razrabotki sintaksicheskikh analizatorov informatsionnykh sistem v mashinopriporostroenii / S.N. Fisun, S.N. Dzyuba // Avtomatizatsiya i priporostroenie: problemih, resheniya: materialih mezhdunar. nauch. - tekhn. konf. Sevastopolj, 5-9 sen. 2016 g. / Sevastopolj: SevGU, 2016. S.99
3. Malyavko, A. A. Formal'niye yaziki i kompilyatorii: uchebnoye posobie dlya vuzov / A. A. Malyavko. — М.: Izdatel'stvo Yurayt, 2017. — 429s.
4. Solomatin, D.I. Osnovih sintaksicheskogo razbora, postroenie sintaksicheskikh analizatorov: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov / D.I. Solomatin, A.V.Kopiytin, A.I. Drugalev. – Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo GU, 2014. – 57 s.
5. Shildt G. Java 8. Polnoe rukovodstvo / G. Shildt. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2015. – 1376 s.

Фисун Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, fserg48@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет.

Дзюба Сергей Николаевич, магистрант первого курса, sergey.dzyuba777@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет.

TECHNIQUE OF USING THE SYSTEM OF AUTOMIZATION OF CONSTRUCTING ANTLR TRANSLATORS FOR THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS IN MACHINE-TOOL CONSTRUCTION

Fisun S. N., Dzyuba S. N.

The article is devoted to the method of using the ANTLR compilation automation system for the development of information systems in machine-tool construction. Using the example of a grammar fragment of a programming language similar to that used in the considered area, the technique of automatic construction of a descending parser is considered.

Key words parsing: ANTLR, Terence Parr, grammar LL (1), method LL (1).

Fisun Sergey Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, fserg48@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

Dzyuba Sergey Nikolaevich, graduate student of the first course, sergey.dzyuba777@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ»

УДК 681.5.09

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛИНИИ С ВОЗВРАТОМ ПРОДУКЦИИ НА ПОВТОРНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Балакин А.И.¹, Копп В.Я.², Балакина Н.А.³

Аннотация. Рассмотрена структура синхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, предложена ее имитационная модель. Приведена программа на языке GPSS и ее блок схема. Представлены результаты моделирования и проведен их анализ, показавший возможности увеличения производительности автоматизированной линии при использовании возврата продукции на повторное обслуживание.

Ключевые слова. Синхронная автоматизированная линия, повторное обслуживание, имитационная модель, производительность.

Автоматизированные линии с возвратом продукции на повторное обслуживание могут использоваться в тех случаях, когда технологический процесс требует повторной обработки изделия после контроля либо при обнаружении брака в отдельных точках. В последнем случае изделие направляется на определенные ячейки для исправления. Моделирование работы производственных систем позволяет решать основные задачи их проектирования, эксплуатации и исследования. Прогнозирование производительности и других технико-экономических показателей производственных систем на стадии их проектирования по заданным показателям надежности оборудования (технологического и вспомогательного), из которого они будут скомпонованы, является наиболее важной задачей. Структуры автоматизированных линий с различными связями приводятся [1]. Построение моделей автоматизированных линий с возвратом продукции на повторное обслуживание рассмотрено в [2-10]. Однако остается ряд неисследованных вопросов, связанных с функционированием автоматизированных линий при возврате продукции на различные ячейки для исправления брака. Одним из методов моделирования является имитационное моделирование [11].

Целью работы является анализ функционирования синхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание, на основе имитационного моделирования.

Рассмотрим синхронную автоматизированную линию (САЛ) с возвратом продукции на повторное обслуживание (ВППО), структурная схема которой изображена на Рис.1.

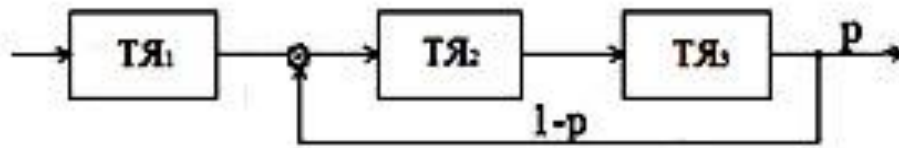


Рис.1 – Структурная схема САЛ с возвратом продукции на повторное обслуживание

Задача ставится следующим образом: по известным функциям распределения $F_1(t)$, $F_2(t)$ времени обслуживания продукции на технологических ячейках ТЯ1 и ТЯ2 необходимо определить производительность САЛ с ВППО. Известно, что вероятность брака на выходе третьей ячейки равна $(1-p)$, где p – вероятность получения на выходе этой технологической ячейки годной продукции. При моделировании указанной системы необходимо учитывать взаимные блокировки ячеек: при отказе любой из них другая прекращает работу.

Для определения производительности производственных систем, как было сказано ранее, будем использовать имитационное моделирование. При моделировании САЛ с ВППО предполагается следующее: времена обслуживания ТЯ распределены по экспоненциальному закону. Блок-диаграмма GPSS показана на Рис.2.

Текст программы, описывающий структурную схему САЛ с ВППО, представленную на Рис.1, приведен ниже.

```
*****
; GPSS World File - Модель синхронной линии. Единица времени 1 час
*****
*****
*           Model Segment 1
*****
t           EQU      0.075; время обслуживания
ngen       EQU      93      ; номер генератора

Prov1      BVARIABLE F$ASC1'AND'F$ASC2'AND'F$ASC3
Prov2      BVARIABLE F$ASC2
Prov3      BVARIABLE F$ASC3

GENERATE    ,,,100000
TEST E     BV$Prov1,0
SEIZE      ASC1                      ; занять ТЯ1
ADVANCE    (Exponential(ngen,0,t)) ; обслуживание заявки
TEST E     BV$Prov2,0,
RELEASE    ASC1                      ; освободить ТЯ1

Lab2       SEIZE      ASC2                      ; занять ТЯ2

Err2       ADVANCE    (Exponential(ngen,0,t)) ; обслуживание заявки
TEST E     BV$Prov3,0,
```

```

                RELEASE    ASC2                                ; освободить ТЯ2
Lab3            SEIZE      ASC3                                ; занять ТЯ3
Err3            ADVANCE    (Exponential(nген,0,t)) ; обслуживание заявки
                RELEASE    ASC3                                ; освободить ТЯ3
                TEST E      BV$Prov2,0,
                TRANSFER    .20,,Lab2
SAVEVALUE ALLPART+,1                                          ; счётчик заявок
SAVEVALUE PwLine,(100000/AC1)
TERMINATE 1                                                  ; выход с линии
start 100000

```

Каждой единице продукции, поступающей на вход САЛ с ВППО, соответствует транзакт. Источник единиц обслуживаемой продукции моделируется блоком GENERATE. Каждая ячейка моделируется таким объектом языка GPSS, как “устройство” (блок SIEZE и блок RELEASE), причем ячейки ТЯ_i в имитационной модели обозначены ASC_i. Задержка транзакта на время, равное времени обслуживания, имитируется блоками ADVANCE. В модели предполагается проверка возможности продвижения транзакта перед каждым входом в блоки SIEZE, RELEASE. Вход в блок SIEZE возможен, если *i*-е устройство свободно и в предыдущей ТЯ есть транзакт. Освобождение *i*-го устройства (RELEASE) возможно если следующая ТЯ не занята. Для организации повторного обслуживания в случае обнаружения брака используется блок TRANSFER, который позволяет передавать транзакт с определенной вероятностью в другой блок модели. Занятость технологических устройств проверяется при помощи блоков TEST.

Для оценки производительности САЛ с ВППО проводился полный двухфакторный машинный эксперимент [12]. В качестве факторов принимаются: математическое ожидание времени обслуживания ТЯ (x_1), вероятность получения годных изделий на выходе третьей ТЯ (x_2). На выходе модели определялась производительность САЛ с ВППО $y=f(x_1,x_2)$.

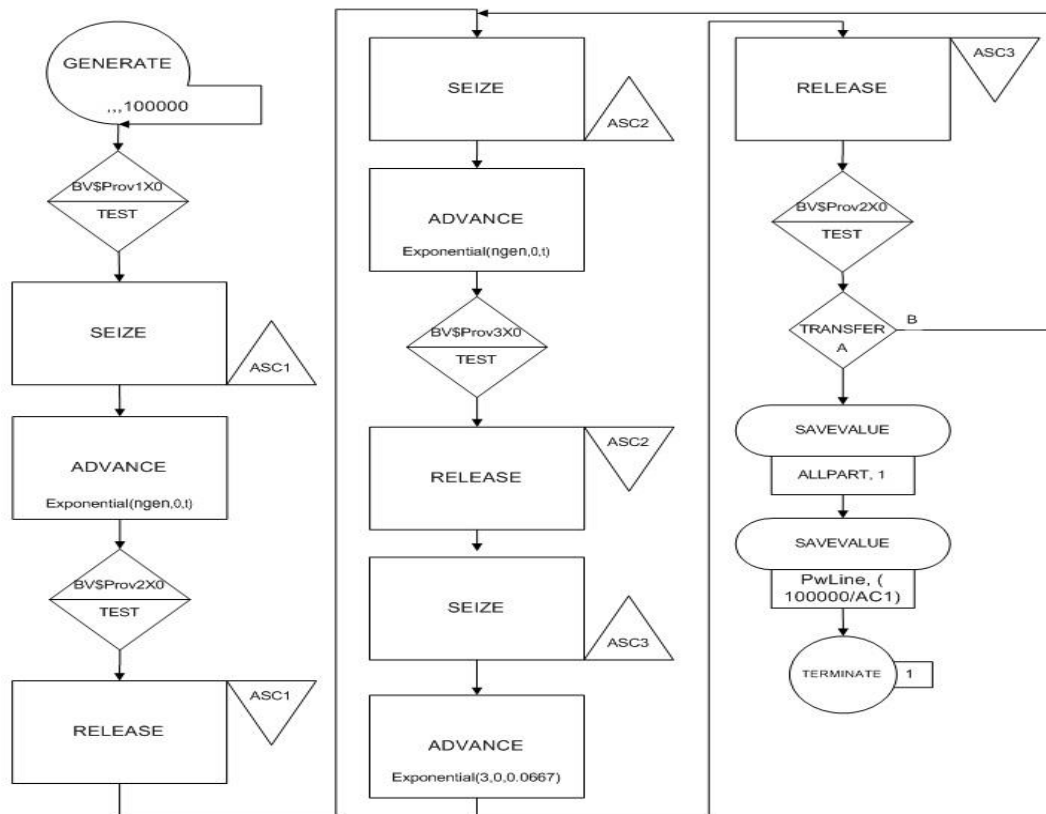


Рис.2 – Блок-схема сегмента, описывающего обслуживание продукции, проходящей через автоматизированную линию

Уровни варьирования факторов выбирались следующие:

$$\tilde{x}_1 = [3; 4,5] \text{ мин. } \tilde{x}_2 = [0,7; 0,9]$$

Каждый эксперимент повторялся $n=10$ раз (в GPSS было задействовано соответствующее количество генераторов случайных чисел), поэтому для каждой точки факторного пространства были получены 10 значений отклика y .

После проведения машинного эксперимента производилась оценка среднего значения функции отклика по методике, приведенной в [13].

Итоговые результаты оценки имитационных экспериментов сведены в **Таблицу 1**.

Результаты исследований, показывают, что использование возврата продукции на повторное обслуживание в автоматизированных линиях позволяет повысить количество годных изделий на выходе линии в зависимости от предполагаемого брака на 3,028 ... 6,91 %.

Таблица 1. – Результаты имитационных исследований САЛ с ВППО

№ точки факторного пространства	Производительность, шт/ч		%
	математическое ожидание по данным имитационного моделирования САЛ с ВППО	математическое ожидание по данным имитационного моделирования САЛ без ВППО	
1	6,409	5,995	6,91
2	9,614	9,201	4,489
3	6,914	6,711	3,028
4	7,051	6,745	4,537
5	10,593	10,117	4,705
6	7,821	7,550	3,589
7	7,026	6,7941	3,413

Библиографический список

1. Меткин Н. П. Технологическая подготовка гибких автоматизированных сборочно-монтажных производств в машиностроении /Н. П. Меткин, М. С. Лапин, В. И. Гольц – Л.: Машиностроение. 1986 – 192 с.
2. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных линий /В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. Монография. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006. – 240 с.
3. Копп В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием /В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский. – Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2000. – 284 с.
4. Копп В.Я. Использование итерационного подхода при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями /В.Я. Копп, А.И. Балакин // «Оптимизация производственных процессов» Сб.научн.тр Севастополь, 2004.-Вып.7. – С. 3–9.
5. Копп В.Я. Итерационный подход при построении математических моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями, включающими ячейки для исправления брака /В.Я. Копп, А.И. Балакин // Вестник СевГТУ, Сер. Автоматизация процессов и управление, №63, 2005, С. 21–28. 6.
6. Балакин А.И. Аналитическое и имитационное моделирование асинхронной автоматизированной линии с возвратом продукции на повторное обслуживание /А.И. Балакин, В.Я. Копп, Г.Г. Макухина// Технологические комплексы, Изд-во Луцкого национального технического университета. – Луцк, 2011. – Вып. №1(3). – С. 32–36.
7. Балакин А.И. Построение полумарковской модели автоматизированного участка с возвратом продукции /Копп В.Я.,

- Филипович О.В., Кукушкин А.М. //Системні технології. Изд-во Національної металургійної академії України. – Дніпропетровськ, 2009. – Вип. 5(64). – С. 101–111.
8. Копп В.Я. Итерационный подход при построении полумарковских моделей автоматизированного участка с обратной связью /В. Я. Копп, Ю. Е. Обжерин, А. И. Балакин // Вестник СевГТУ. - Севастополь: Изд-во СевГТУ, 2003. - Вып. 49: Автоматизация процессов и управление. - С. 142–147
9. Копп В.Я. Модель гибкой синхронной линии с рефлекторным управлением и обратными связями /В.Я. Копп, Л.Е. Карташов, А.И. Балакин // Оптимизация производственных процессов: Сб.науч.тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ. 2009. – Вып.11. – С. 141–145.
10. Копп В.Я. Построение марковских моделей асинхронных автоматизированных линий с обратными связями /В.Я. Копп, А.И. Балакин, О.В. Филипович, Н.В. Серова // Вестник Тольяттинского государственного университета. Сб.тр. Всероссийской научн.-техн. конф. с международным участием «Со-временные тенденции развития автомобилестроения в яроссии» Том 3, 26-28 мая 2004г., Тольятти, С. 166–170.
11. Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS: Пер. с англ. /Т.Дж. Шрайбер. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
12. Кринецкий И.И. Основы научных исследований: Учебное пособие для вузов. – Киев. – Одесса: Вища школа, Головное изд-во, 1981. – 208 с.
13. Митропольский А.К. Статистическое исчисление /А.К. Митропольский. – Ленинград, 1953. – т. 3. – 200 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Metkin N. P. Tekhnologicheskaya podgotovka gibkikh avtomatizirovannykh sborochno-montazhnykh proizvodstv v mashinostroyenii / N. P. Metkin, M. S. Lapin, V. I. Gol'ts - L.: Mashinostroyeniye. 1986 - 192 s.
2. Kopp V.YA. Modelirovaniye avtomatizirovannykh liniy /V.YA. Kopp, YU.Ye. Obzherin, A.I. Peschanskiy. Monografiya. - Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2006. - 240 s.
3. Kopp V.YA. Stokhasticheskiye modeli avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem s vremennym rezervirovaniyem /V.YA. Kopp, YU.Ye. Obzherin, A.I. Peschanskiy. - Sevastopol': Izd-vo SevGTU, 2000. - 284 s.
4. Kopp V.YA. Ispol'zovaniye iteratsionnogo podkhoda pri postroyenii matematicheskikh modeley asinkhronnykh avtomatizirovannykh liniy s obratnymi svyazyami /V.YA. Kopp, A.I. Balakin // «Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov» Sb.nauchn.tr Sevastopol', 2004.-Vyp.7. - S. 3-9.
5. Kopp V.YA. Iteratsionnyy podkhod pri postroyenii matematicheskikh modeley asinkhronnykh avtomatizirovannykh liniy s obratnymi svyazyami, vklyuchayushchimi yacheyki dlya ispravleniya braka /V.YA. Kopp, A.I.

- Balakin // Vestnik SevGTU, Ser. Avtomatizatsiya protsessov i upravleniye, №63, 2005, S. 21-28. 6.
6. Balakin A.I. Analiticheskoye i imitatsionnoye modelirovaniye asinkhronnoy avtomatizirovannoy linii s vozvratom produktsii na po-vtornoye obsluzhivaniye /A.I. Balakin, V.YA. Kopp, G.G. Makukhina // Tekhnologicheskiye kompleksey, Izd-vo Lutskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta. - Lutsk, 2011. - Vyp. №1 (3). - S. 32-36.
7. Balakin A.I. Postroyeniye polumarkovskoy modeli avtomatizirovannogo uchastka s vozvratom produktsii / Kopp V.YA., Filipovich O.V., Kukushkin A.M. // Sistemní tekhnologii. Izd-vo Natsional'noy meta-lurgiynoy akademii Ukraïni. - Dnipro-petrovs'k, 2009. - Vip. 5 (64). - S. 101-111.
8. Kopp V.YA. Iteratsionnyy podkhod pri postroyenii polumarkovskikh modeley avtomatizirovannogo uchastka s obratnoy svyaz'yu / V. YA. Kopp, YU. Ye. Obzherin A. I. Balakin // Vestnik SevGTU. - Sevasto-pol': Izd-vo SevGTU, 2003. - Vyp. 49: Avtomatizatsiya protsessov i upravleniya. - S. 142-147
9. Kopp V.YA. Model' gibkoy sinkhronnoy linii s reflektornym upravleniyem i obratnymi svyaz'yu /V.YA. Kopp, L.Ye. Kartashov, A.I. Balakin // Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov: Sb.nauch.tr. - Sevastopol': Izd-vo SevNTU. 2009. - Vyp.11. - S. 141-145.
10. Kopp V.YA. Postroyeniye markovskikh modeley asinkhronnykh avtomatizirovannykh liniy s obratnymi svyaz'yu /V.YA. Kopp, A.I. Balakin, O.V. Filipovich, N.V. Serova // Vestnik Tol'yattinskogo gosudarstva-stvennogo universiteta. Sb.tr. Vserossiyskoy nauchn.-tekhn. konf. s mezhdunarodnym uchastiyem «So-vremennyye tendentsii razvitiya avto-mobilestroyeniya v yarossii» Tom 3, 26-28 maya 2004g., Tol'yatti, S. 166-170.
11. Shrayber T.Dzh. Modelirovaniye na GPSS: Per. s angl. /T.Dzh. Shrayber. - M.: Mashinostroyeniye, 1980. - 592 s.
12. Krinetskiy I.I. Osnovy nauchnykh issledovaniy: Uchebnoye posobiye dlya vuzov. - Kiyev. - Odessa: Vishcha shkola, Golovnoye izd-vo, 1981. - 208 s.
13. Mitropol'skiy A.K. Statisticheskoye ischisleniye /A.K. Mitropol'skiy. - Leningrad, 1953. - t. 3. - 200 s.

Балакин Алексей Игоревич, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов» Севастопольский государственный университет, AIBalakin@sevsu.ru, 299053, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Копп Вадим Яковлевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов» Севастопольский государственный университет, v_kopp@mail.ru, 299053, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Балакина Наталья Анатольевна, ассистент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов» Севастопольский государственный университет, 040578@rambler.ru, 299053, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

AUTOMATED LINE ANALYSIS OF OPERATION WITH RETURN
OF PRODUCTION FOR RE-SERVICE BASED ON IMITATION
SIMULATION

Balakin A.I., Kopp V.Ya., Balakina N.A.

The structure of a synchronous automated line with the return of products for repeated maintenance is considered, and its simulation model is proposed. A GPSS program and its block diagram are presented. The simulation results are presented and their analysis was performed, which showed the possibilities of increasing the productivity of an automated line using the return of products for repeated maintenance.

Keyword: synchronous automated line, repeated maintenance, simulation model, productivity.

Balakin Alexey Igorevich, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, Ph.D., Docent (Associate Professor), Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes 299053, Sevastopol, Universytetskay st. 33.

Kopp Vadim Yakovlevich, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes 299053, Sevastopol, Universytetskay st. 33.

Balakina Natalia Anatolyevna, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, assistant, Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes 299053, Sevastopol, Universytetskay st. 33.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ

Заморёнова Д.В.¹

Аннотация. В статье приводится имитационная модель функционирования двухкомпонентной системы мониторинга окружающей среды, состоящей из устройства сбора данных и устройства обработки данных. Осуществляется верификация известной из литературы математической модели этой системы посредством сравнения результатов аналитического и имитационного моделирования, для чего приводятся результаты машинных экспериментов.

Ключевые слова. Мониторинг окружающей среды, имитационное моделирование, верификация модели, коэффициент использования.

В настоящее время все большее использование получают системы сбора и обработки данных, что в свою очередь выдвигает все большие требования к надежности функционирования таких систем. Основным этапом проектирования технических систем, к которым относятся и системы сбора данных, является моделирование процесса функционирования таких систем.

Мощным средством построения моделей является аппарат полумарковских процессов [1], однако при его использовании принимается ряд допущений к построению моделей, что влечет за собой необходимость верификации построенной аналитической модели.

В литературе [2] приводится аналитическая модель функционирования двухкомпонентной системы мониторинга окружающей среды (ДСМОС), содержащей устройство сбора информации и устройство обработки информации.

Устройство обработки информации функционирует постоянно, обслуживая информацию, поступающую либо с устройства сбора, либо решая аналогичные задачи, поступающие из других мест. Устройство сбора информации (1) в некоторые моменты времени блокируется устройством обработки информации (2), то есть оно, выполнив свою задачу по приёму информации, не может передать ее устройству на обработку, пока то не закончит обслуживание требуемой заявки по обслуживанию данных. Как только устройство обработки информации закончит обслуживание заявки, устройство сбора передает ему информацию и оба устройства снова начинают функционировать.

Допущение данной модели: предполагалось, что информация с устройства 2 на устройство 1 передается мгновенно. Время сбора группы гидрометеорологических данных с устройства передачи данных – случайная величина (СВ) α_1 с функцией распределения (ФР) $F_1(t)$. Время обработки данных на некотором технологическом устройстве – СВ α_2 с ФР $F_2(t)$. СВ α_1, α_2 предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), F_2(t)$ существуют плотности $f_1(t), f_2(t)$.

В статье были найдены функции распределения $\Phi_{11}(t)$ времени цикла сбора и передачи информации определяется выражением и $\Phi_{01}(t)$ времени простоя устройства сбора информации

$$\Phi_{11}(t) = \bar{F}_1(t) + \int_0^t \bar{F}_1(t-s) \bar{F}_2(s) h_1(s) ds,$$

$$\Phi_{01}(t) = \int_0^\infty f_2(y) V_1(y, t) dy,$$

$$\text{где } \bar{V}_1(y, t) = \bar{F}_1(y+t) + \int_0^y h_1(y-x) \bar{F}_1(t+x) dx, \quad \bar{V}_1(y, t) = 1 - V_1(y, t) -$$

ФР прямого остаточного времени процесса восстановления, порожденного α_1 .

Целью данной статьи является верификация аналитической модели системы сбора данных [2] посредством сравнения результатов аналитического и имитационного моделирования.

Имитационная модель – это алгоритмическое описание процесса функционирования системы на основе установленных статистических, аналитических и логических зависимостей, предназначенное для исследования реальных объектов путем численного эксперимента на компьютере.

ДСМОС относится к дискретным стохастическим системам с постоянной структурой, для моделирования которых широко используется язык GPSS [3, 4, 5, 6]. В языке GPSS предусмотрены различные виды объектов, используемых при моделировании дискретных систем: сообщения, устройства, многоканальные устройства, очереди и т.д. Программа на языке GPSS представляет собой последовательность блоков, задающих параметры объектов модели и действия, производимые над этими объектами.

ИМ ДСМОС состоит из 2-х сегментов: сегмент 1, описывающий процесс функционирования ДСМОС; сегмент 2, определяющий длительность процесса моделирования.

Устройство сбора информации обозначено как ust_sb.

Устройство обработки информации обозначено как `ust_obr`.

Сегмент 1 построен следующим образом. Каждой заявке на обслуживание или на сбор информации, поступающей на ДСМОС, соответствует один транзакт. Источник единиц обслуживаемой продукции моделируется блоком `GENERATE` для первой единицы обработки, а для заявки на сбор информации – моделируется блоком `SPLIT`, перед входом транзакта из устройства `ust_obr`.

Устройства ДСМОС моделируются объектом языка GPSS “устройство” (блок `SIEZE` моделирует занятие устройства транзактом, блок `RELEASE` – освобождение устройства занимавшим его транзактом). Если это устройство свободно, то происходит занятие его данным транзактом посредством блока `SEIZE`. Обработка в устройстве моделируется в блоке `ADVANCE`.

Логические условия проверяются с помощью блока `GATE`.

Сегмент 2 управляет длительностью процесса моделирования. Единственный транзакт, вырабатываемый в момент времени $T_{\text{дм}}$ (длительность моделирования), сбрасывает в ноль счетчик числа завершений, что вызывает выдачу статистики и прекращение моделирования.

Текст программы приведен на **Рис.1**. Время моделирования принимается 92 дня, т.е. 132480 минут, единица модельного времени – 1 мин.

Время обработки на всех устройствах распределено в соответствии с обобщенным законом Эрланга 2-го порядка.

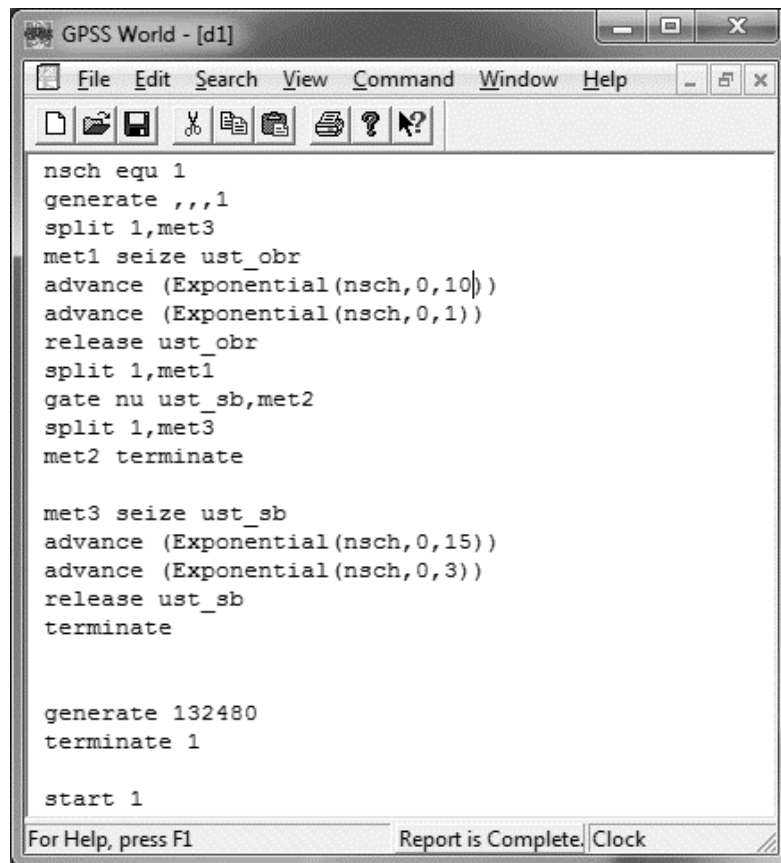


Рис.1 – Программа на языке GPSS

Необходимо определить коэффициент использования устройства сбора информации ($K_{исп}$), а также время полного цикла сбора и обработки информации, с учетом простоя устройства сбора ($T_{полн}$):

$$K_{исп} = \frac{M\alpha_1}{M\alpha_2 + M\theta_1}, \quad T_{полн} = M\theta + M\theta_1$$

Для трех наборов исходных данных было осуществлено по 20 экспериментов по имитационной модели (в GPSS было задействовано соответствующее количество генераторов случайных чисел) и получены коэффициенты использования устройства сбора, а также времена полного цикла сбора и обработки информации. Полученные результаты сравнивались с результатами аналитического моделирования. Сравнительные результаты имитационного и аналитического моделирования при $m\alpha_2 = 20с$, $m\alpha_1 = 200с$ представлены в **Таблице 1**, $m\alpha_2 = 40с$, $m\alpha_1 = 200с$ – **таблица 2**, $m\alpha_2 = 60с$, $m\alpha_1 = 120с$ – **Таблице 3**.

Таблица 1. – Результаты экспериментов при $m\alpha_2 = 20c$, $m\alpha_1 = 200c$

№	$K_{исп}$ (имит.)	Средний $K_{исп}$ (имит.)	$K_{исп}$ (аналит.)	$T_{полн}$ (имитац.)	Среднее $T_{полн}$ (имитац.)	$T_{полн}$ (аналит.)
1.	0,925	0,92485	0,92483	233,049	232,1948	232,5128
2.	0,925			234,374		
3.	0,925			231,641		
4.	0,924			232,349		
5.	0,925			232,461		
6.	0,925			233,387		
7.	0,925			233,057		
8.	0,925			232,312		
9.	0,924			230,415		
10.	0,925			231,589		
11.	0,924			232,03		
12.	0,925			233,509		
13.	0,924			230,278		
14.	0,927			230,955		
15.	0,925			232,589		
16.	0,924			231,551		
17.	0,925			233,359		
18.	0,925			231,435		
19.	0,925			232,101		
20.	0,925			231,455		

Относительная погрешность результатов моделирования по **Таблице 1** составила по времени простоя устройства сбора информации $\approx 0\%$, по времени полного цикла сбора и обработки информации: $0,14\%$.

Относительная погрешность результатов моделирования по **Таблице 2** составила по времени простоя устройства сбора информации $\approx 0\%$, по времени полного цикла сбора и обработки информации: $0,87\%$.

Относительная погрешность результатов моделирования по **Таблице 3** составила по времени простоя устройства сбора информации $\approx 0,01\%$, по времени полного цикла сбора и обработки информации: $4,4\%$.

Таблица 2.– Результаты экспериментов при $m\alpha_1 = 200c$, $m\alpha_2 = 40c$

№	$K_{исп}$ (имит.)	Средний $K_{исп}$ (имит.)	$K_{исп}$ (аналит.)	$T_{полн}$ (имит.)	Среднее $T_{полн}$ (имит.)	$T_{полн}$ (аналит.)
1.	0,858	0.86005	0.86	261,452	262.782 4	263.093
2.	0,861			259,647		
3.	0,863			264,687		
4.	0,858			267,049		
5.	0,859			260,378		
6.	0,86			266,553		
7.	0,857			258,657		
8.	0,857			260,843		
9.	0,863			262,009		
10.	0,861			262,541		
11.	0,859			262,465		
12.	0,863			267,511		
13.	0,861			265,314		
14.	0,857			256,769		
15.	0,862			266,382		
16.	0,859			264,635		
17.	0,861			260,593		
18.	0,859			260,36		
19.	0,858			261,037		
20.	0,865			266,766		

Полученные данные показывают хорошее совпадение результатов аналитического и имитационного моделирования в исследованной области значений параметров, подтверждая правильность аналитической модели ДСМОС.

Результаты моделирования показали, что при уменьшении времени обработки информации коэффициент использования устройства сбора информации увеличивается.

Исследования выполнены при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-48-920014.

Таблица 3. – Результаты экспериментов при $m\alpha_1 = 120с$, $m\alpha_2 = 60с$

№	$K_{исп}$ (ИМИТ.)	Средний $K_{исп}$ (ИМИТ.)	$K_{исп}$ (АНАЛИТ.)	$T_{полн}$ (ИМИТ.)	Среднее $T_{полн}$ (ИМИТ.)	$T_{полн}$ (АНАЛИТ.)
1.	0,705	0.70955	0.70968	206,325	208.6519	218.1818
2.	0,713			207,929		
3.	0,711			208,382		
4.	0,717			209,156		
5.	0,705			208,535		
6.	0,713			211,893		
7.	0,712			208,889		
8.	0,713			207,609		
9.	0,714			210,34		
10.	0,709			207,628		
11.	0,705			207,736		
12.	0,71			207,047		
13.	0,71			208,378		
14.	0,708			210,662		
15.	0,715			209,615		
16.	0,709			207,52		
17.	0,698			206,879		
18.	0,708			208,225		
19.	0,709			209,379		
20.	0,707			210,91		

Библиографический список

1. Королук В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – Киев : Наук. думка, 1976. – 181с.
2. Доронина Ю.В. Анализ модели функционирования системы сбора и обработки гидрометеорологических данных / Ю.В. Доронина, В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский // Оптимизация производственных процессов: сб.науч.тр. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. – Вып.13. – С. 30-35.
3. . Шрайбер Т.Дж. Моделирование на GPSS / Шрайбер Т.Дж.; [пер. с англ. В.И. Гарчера, И.Л. Шмуйловича]; под ред. М.А. Файнберг. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
4. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Кудрявцев Е.М. ДМК, Пресс 2004, 5-94074-219-X.
5. Томашевский В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS [Текст] / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. — 416 с.
6. Советов Б.Я. Моделирование систем: Курсовое проектирование: Учеб. пособие для вузов по спец. АСУ [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высш. шк., 1988. – 135 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Korolyuk V.S. Polumarkovskie processy i ih prilozheniya / V.S. Korolyuk, A.F. Turbin. – Kiev : Nauk. dumka, 1976. – 181s.
2. Doronina YU.V. Analiz modeli funkcionirovaniya sistemy sbora i obrabotki gidrometeorologicheskikh dannyh / YU.V. Doronina, V.YA. Kopp,

- YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij // Optimizaciya proizvodstvennyh processov: sb.nauch.tr. □ Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2011. Vyp.13. С. 30-35.
3. . SHrajber T.Dzh. Modelirovanie na GPSS / SHrajber T.Dzh.; [per. s angl. V.I. Garchera, I.L. SHmujlovicha]; pod red. M.A. Fajnberg. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 592 s.
4. GPSS World. Osnovy imitacionnogo modelirovaniya razlichnyh sistem / Kudryavcev E.M. DMK, Press 2004, 5-94074-219-H.
5. Tomashevskij V.N. Imitacionnoe modelirovanie v srede GPSS [Tekst] / V.N. Tomashevskij, E.G. ZHdanova. – M.: Bestseller, 2003. — 416 s.
6. Sovetov B.YA. Modelirovanie sistem: Kursovoe proektirovanie: Ucheb. posobie dlya vuzov po spec. ASU [Tekst] / B.YA. Sovetov, S.A. YAKovlev. – M.: Vyssh. shk., 1988. – 135 s.

Заморёнова Дарья Викторовна, к-т техн. наук, доц. кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», zamik@ukr.net, Россия, Севастополь.

IMITATION MODEL OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF AUTOMATED DATA COLLECTION SYSTEM

Zamoryonova D. V.

The article presents an imitation model for the functioning of a two-component environmental monitoring system consisting of a data acquisition device and a data processing device. The mathematical model of this system, known from the literature, is verified by comparing the results of analytical and simulation modeling, for which the results of computer experiments are given.

Keywords: environmental monitoring, simulation modeling, model verification, utilization factor.

Zamoryonova Daria Viktorovna, candidate of technical Sciences, associate professor, "Instrument systems and automation of technological processes" departments, zamik@ukr.net, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОЗИЦИОННО-БИНАРНОГО МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Нусратов О.Г.¹, Алмасов А.Ш.²

Аннотация. Для повышения достоверности позиционно-бинарного метода распознавания циклических сигналов предлагается подход, основанный на взвешенной по времени их оценке сравнения. В качестве весовой функции использованы действительные неотрицательные сигмовидная и Гауссовская функции, позволяющие в процессе распознавания дифференцировать анализируемые циклические сигналы по временным характеристикам расположения их позиционно-бинарных составляющих.

Ключевые слова. Циклический сигнал, бинарное покрытие, весовая функция.

Введение. Позиционно-бинарный (ПБ) метод распознавания циклических сигналов, описанный в [1-3], является достаточно простым и, вместе с тем, обладая высокой чувствительностью к изменениям циклического сигнала, вполне приемлем для решения ряда задач контроля, диагностики и управления. Здесь, в качестве информативных признаков используется длительность ПБ составляющих (ПБС) циклических сигналов, а оценка близости производится путём вычисления числовых параметров близости по результату попарного покрытия ПБС сигналов, формируемых на каждой позиции, в соответствии с выражением:

$$E = (\xi_{q(n-1)} + \eta_{q(n-1)}) \cdot q^{n-1} + (\xi_{q(n-2)} + \eta_{q(n-2)}) \cdot q^{n-2} + \dots + (\xi_{q0} + \eta_{q0}) \cdot q^0, \quad (1)$$

где $\xi = \sum p_+$ – суммарное значение длительностей ПБС бинарных покрытий распознаваемого и эталонного сигналов, образуемых за счёт переходов (0→1), а $\eta = \sum p_-$ – суммарное значение длительностей ПБС бинарных покрытий, образуемых за счёт переходов (1→0); n – количество позиций в ПБС-разложении. При этом принятие решения о близости сигналов производится в соответствии с относительными значениями числовых оценок близости S_w и порога распознавания.

Однако в некоторых случаях, в частности, при анализе сложных циклических сигналов применение этого метода не всегда гарантирует безошибочность распознавания. В первую очередь это связано с тем, что при вычислении ПБ-методом численных оценок близости не учитывается расположение ПБС циклических сигналов по временной оси t . Поэтому на протяжении последних лет нами были предприняты исследования с целью совершенствования ПБ-метода путём вовлечения в вычислительный

процесс дополнительного информативного признака – временного расположения ПБС. В частности, в [4] для улучшения оценки распознавания предлагается сравнивать нечёткие интерпретации ПБС распознаваемых и эталонных циклических сигналов на основе их точечных оценок. В качестве другой альтернативной меры сравнения была также использована мера подобия нечётких множеств для нечётких интерпретаций ПБС [5].

В [6] для повышения достоверности ПШИ-метода распознавания циклических сигналов нами использован механизм нечёткого вывода, позволяющего вовлечь в вычислительный процесс временные характеристики расположения ПБС ($0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$)-покрытий анализируемых циклических сигналов с эталонными. Причём, для установления меры близости был применён алгоритм точечной оценки нечёткого отношения, интерпретирующего позиционно-бинарное покрытие распознаваемого и эталонного сигналов. Однако, несмотря на полученные в [6] обнадеживающие результаты, следует признать, что используемые в вычислениях нечёткие импликативные правила и Гауссовские функции принадлежности нечётких множеств, описывающие входные характеристики, все же не были оптимизированы на основе имеющейся выборки эталонных циклических сигналов.

Последняя попытка повышения достоверности ПШИ-метода была предпринята в [7], где была выдвинута идея использования радиально-базисной функциональной нейронной сети, способной в силу своего логического базиса существенно дифференцировать анализируемые циклические сигналы по временным характеристикам расположения их ПБС.

В результате, проводимые исследования с подвигли авторов обратиться к рассмотрению более тривиального подхода для решения задачи повышения достоверности ПБС-метода распознавания циклических сигналов, основанного на численном взвешивании ПБС ($0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$)-покрытий путём применения весовых функций.

Постановка задачи. На Рис.1 и Рис.2 соответственно представлены эталонная e и распознаваемые r_i ($i=1 \div 3$) ваттметрограммы за цикл работы глубинно-насосной установки нефтяной скважины, характеризующие её технические состояния. Там же представлены ПБС этих сигналов, формируемых на позициях $q_5 \div q_0$ при $\Delta t=50$ и амплитуде 60.

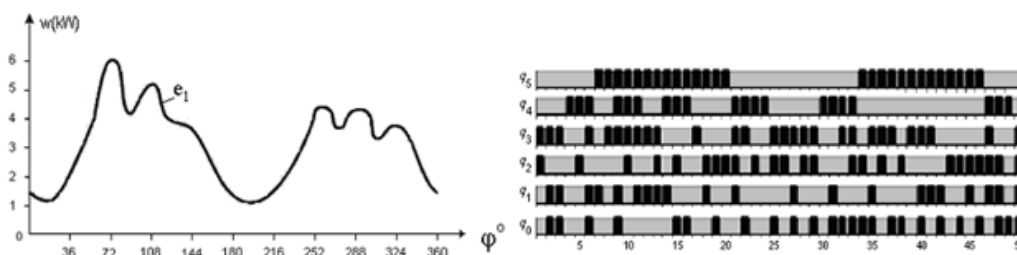


Рис.1 – Эталонная ваттметрограмма и её ПБС

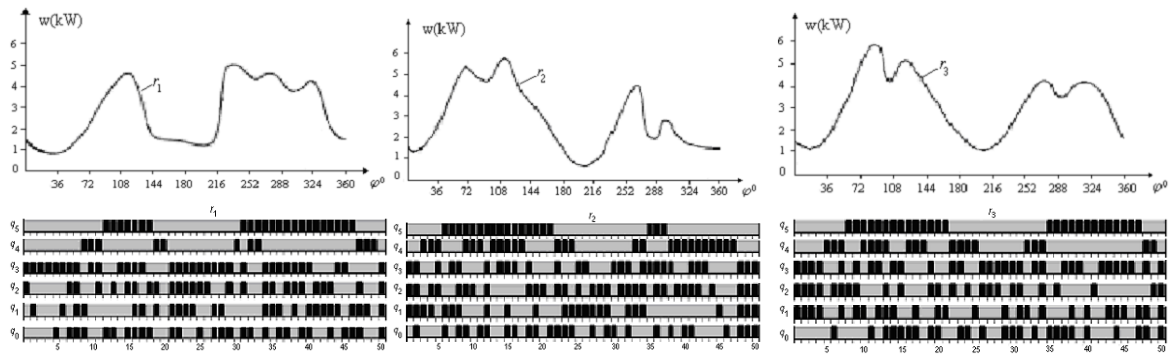


Рис.2 – Распознаваемые ваттметрограммы и их ПБС

С учётом переходов $0 \rightarrow 1$ (p_+) и $1 \rightarrow 0$ (p_-) на **Рис.3** представлены результирующие последовательности покрытий ПБС сравниваемых пар сигналов (e, r_j) ($j=1 \div 3$) по каждой позиции q_k ($k=0 \div 5$) ПБС разложения.

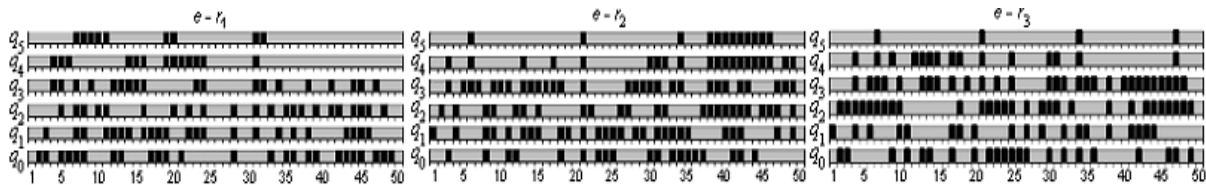


Рис.3 – Бинарные покрытия ПБС попарно сравниваемых сигналов

В дополнение к ПБС-методу распознавания циклических сигналов необходимо найти механизм, способный учитывать временные расположения ПБС ($0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$)-покрытий распознаваемых циклических сигналов r_j ($j=1 \div 3$) с эталонным сигналом e и, тем самым, делающий оценки близости сигналов в определённом смысле уникальными.

Взвешивание ПБС ($0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$)-покрытий на временном диапазоне: весовая функция. Известно, что *весовая функция* используется при суммировании, интегрировании или усреднении с целью придания некоторым элементам большего веса в результирующем значении по сравнению с другими элементами. В частности, дискретная весовая функция $w: A \rightarrow \mathbb{R}^+$ – положительная функция, определённая на дискретном множестве значений A , которое обычно является конечным и/или счётным. Весовая функция $w(a)=1$ соответствует *невзвешенной* ситуации, когда все элементы множества имеют равные веса. Например, если функция $f: A \rightarrow \mathbb{R}$ определена на вещественной оси, то невзвешенная сумма f на A определяется как $\sum_{a \in A} f(a)$, т.е. как и в случае суммирования (1) в рамках применения ПБС-метода. В то же время взвешенная $w: A \rightarrow \mathbb{R}^+$ сумма определяется как $\sum_{a \in A} w(a) f(a)$.

Одним из наиболее распространённых приложений взвешенных сумм являются численное интегрирование и цифровая фильтрация. Так, например, если B является конечным подмножеством множества A , то в классическом понимании мощность множества $|B|$ может быть заменена на

так называемую *взвешенную мощность* $\sum_{a \in B} w(a)$. Если же A – конечное непустое множество, то аналог среднего арифметического $\frac{1}{|A|} \sum_{a \in A} f(a)$ можно ввести в виде взвешенного среднего арифметического $\frac{\sum_{a \in A} f(a)w(a)}{\sum_{a \in A} w(a)}$.

В частности, в задачах многокритериального выбора оптимальных альтернатив для перехода от множества частных значений критериев качества к единому универсальному интегральному критерию (например, стоимостному) применяется взвешенное суммирование. Так, например, если диапазоны значений частных показателей качества различаются на несколько порядков, то перед нахождением численного значения интегрального критерия K частные показатели качества q_k нормируются, т.е. диапазон изменения $[\min q_k, \max q_k]$ каждого из них отображается в отрезок $[0; 1]$ следующим образом: $q'_k = \frac{q_k - \min q_k}{\max q_k - \min q_k}$. При этом сам

интегральный критерий рассчитывается как $K = \sum_{k=1}^n q_k w_k$, в результате чего достигается одинаковое влияние частных критериев на результат при сопоставимых значениях весовых коэффициентов $w_1, w_2, \dots, w_n$.

В математической статистике взвешенное среднее часто используется для компенсации, так называемой, *предвзятости*. Для истинного значения f , измеренного как f_i несколько раз независимо друг от друга с дисперсиями σ_i^2 , наилучшее приближение получается путём усреднения всех результатов измерений с весами $w_i = 1/\sigma_i^2$: результирующая дисперсия оказывается меньше каждого независимого измерения $\sigma^2 = 1/(\sum w_i)$. В частности, в *методе максимального подобия* разности взвешиваются значениями подобными w_i .

Исходя из этих соображений для учёта временной характеристики ПБС ($0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$)-покрытий в равенство (1) в качестве дополнительного множителя введём действительную неотрицательную весовую функцию $w(t)$, призванную дифференцировать каждую ПБС из любой позиции бинарного покрытия. Другими словами, равенство оценки близости циклических сигналов представим в виде взвешенной суммы:

$$E_w = \sum_{k=0}^{n-1} w(t) (\xi_{q(k-1)} + \eta_{q(k-1)}) q^k. \quad (2)$$

В качестве весов $w(t)$ можно использовать различные гладкие кривые, описываемые действительными неотрицательными функциями. В результате проведённых многочисленных экспериментов в конечном итоге выбор пал на сигмовидную и Гауссовскую весовые функции.

Применительно к рассматриваемому диапазону времени сигмовидную весовую функцию (**Рис.4**) зададим в следующем виде:

$$w(t) = \frac{1}{a + be^{-(t-t_0)}} + w_0, \quad (3)$$

где параметры $t_0=25$, $w_0=0.925$, $a=20$, $b=1$ – параметры, установленные эвристическим путём.

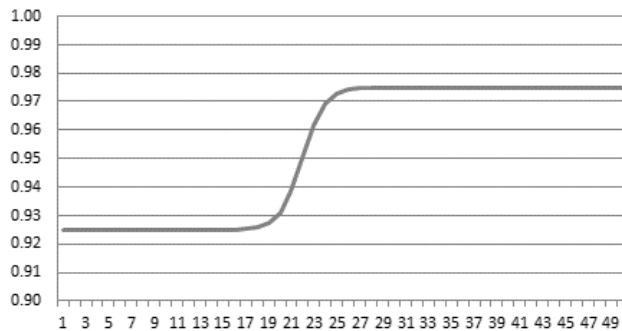


Рис.4 – Сигмовидная функция

Для демонстрации предлагаемого подхода выберем бинарную строку ПБС, например, на q_5 -ой позиции покрытия (e, r_1) (**Рис.2**). Учитываемое в (1) число бинарных $0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0$ -переходов здесь равно 9, причём согласно ПБС-методу каждый из этих 9-ти переходов обладает единичным весом.

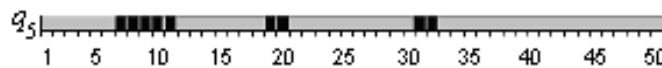


Рис.5 – ПБС бинарного покрытия (e, r_1) по q_5 -ой позиции

В предлагаемой формуле (2) весовые коэффициенты ПБС будут уже отличительными, т.е. дифференцироваться соответствующими значениями сигмовидной весовой функции (3). В частности, для каждого $(0 \rightarrow 1/1 \rightarrow 0)$ -перехода соответственно имеем:

- 7-ой дискретный шаг – весовой коэффициент 0.925;
- 8-ой дискретный шаг – весовой коэффициент 0.925;
- 9-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.925;
- 10-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.925;
- 11-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.925001;
- 19-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.927362;
- 20-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.930938;
- 31-ый дискретный шаг – весовой коэффициент 0.974994;
- 32-ой дискретный шаг – весовой коэффициент 0.974998.

Если согласно (1) результирующим значением по данной позиции было 9 (число, собственно, взвешенных единиц переходов), то с учётом сигмоидального взвешивания результирующим значением будет число:

$$8.433292=1 \times 0.925+1 \times 0.925+1 \times 0.925+1 \times 0.925+1 \times 0.925001+1 \times 0.927362+ \\ +1 \times 0.930938++1 \times 0.974994+1 \times 0.9749984.$$

Теперь, в качестве весовой функции $w(t)$ в (2) зададим Гауссовскую функцию (**Рис.6**) вида:

$$w(t) = ae^{-\frac{(t-t_0)^2}{\sigma^2}} + w_0, \quad (4)$$

где $t_0=25$, $w_0=0.9$, $a=0.1$, $\sigma=25$ – параметры, установленные экспериментальным путём.

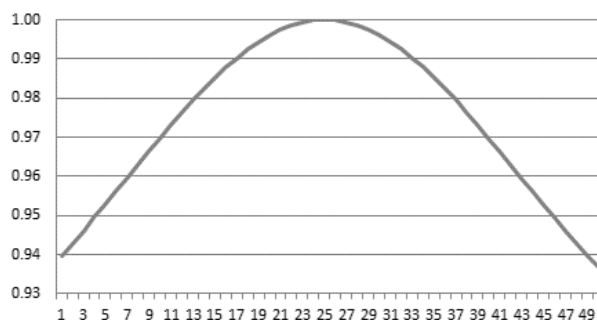


Рис. 6 – Гауссовская функция

Таким образом, применяя подход (2), можно получить оценки близости попарно сравниваемых циклических сигналов (e, r_j) ($j=1 \div 3$), но уже в другом масштабе. Полученные оценки упорядочены в **Таблице 1**.

Таблица 1. – Сравнение численных оценок бинарных покрытий

Сравниваемая пара циклических сигналов	Позиционный вес	Оценка близости без учёта временных характеристик ПБС		Оценка близости с учётом временных характеристик ПБС			
				Сигмовидная весовая функция		Гауссовская весовая функция	
		Число $0 \rightarrow 1 / 1 \rightarrow 0$ -переходов	Позиционно взвешенное значение ($\times 2^k$)	Взвешенное число переходов	Позиционно взвешенное значение ($\times 2^k$)	Взвешенное число переходов	Позиционно взвешенное значение ($\times 2^k$)
(e, r_1)	q_5	9	288	8.4333	269.8654	8.8091	281.8915
	q_4	13	208	12.2023	195.2377	12.7938	204.7012
	q_3	19	152	18.0557	144.4457	18.5108	148.0864
	q_2	22	88	21.0749	84.2996	21.4343	85.7372

	q_1	23	46	21.8341	43.6682	22.4999	44.9998
	q_0	25	25	23.7919	23.7919	24.2167	24.2167
Σ			$E=807$		$E_{ws}=761$		$E_{wg}=789$
(e, r_2)	q_5	12	384	11.6134	371.6294	11.6078	371.4479
	q_4	20	320	19.2637	308.2195	19.3892	310.2266
	q_3	29	232	27.5893	220.7144	28.2733	226.1862
	q_2	24	96	22.9872	91.9486	23.3202	93.2808
	q_1	27	54	25.7688	51.5376	26.4533	52.9066
	q_0	19	19	18.2174	18.2174	18.6487	18.6487
Σ			$E=1105$		$E_{ws}=1062$		$E_{wg}=1072$
(e, r_3)	q_5	4	128	3.8134	122.029	3.89096	124.5108
	q_4	15	240	14.1373	226.1968	14.70329	235.2526
	q_3	29	232	27.7253	221.8022	28.24695	225.9756
	q_2	29	116	27.69199	110.768	28.16046	112.6418
	q_1	19	38	18.1294	36.2588	18.55065	37.1013
	q_0	22	22	21.0081	21.00813	21.53063	21.53063
Σ			$E=776$		$E_{ws}=738$		$E_{wg}=757$

Ближайшим к эталону считается сигнал, покрытие с которым оценивается наименьшим числом. Во всех рассмотренных случаях, то есть при применении ПБС-метода и двух его взвешенных сигмовидной и Гауссовской функциями модификаций, это сигнал r_3 .

Заключение. Очевидно, что на примере рассмотренных выше трёх циклических сигналов утверждать о повышении достоверности распознавания за счёт модификации ПБС-метода весовыми функциями было бы не корректно. Необходимо экспериментальное подтверждение на базе десятков и сотен циклических сигналов. Тем не менее, приведённые в таблице 1 результаты тестирования дают основания судить о существенном повышении достоверности распознавания циклических сигналов на основе взвешенного суммирования, устанавливающего оценку близости сигналов.

Библиографический список

1. Алиев, Т.А., Нусратов, О.Г. Позиционно-широотно-импульсный метод диагностики циклических процессов / Теория и системы управления. Изв. РАН. – 1998. – №1. – С. 133-138.
2. Алиев, Т.А., Нусратов, О.Г. Алгоритмы анализа циклических сигналов // Автоматика и вычислительная техника. – 1998. – №2. – С. 68-74.
3. Нусратов, О.Г. Позиционно-широотно-импульсный алгоритм распознавания циклических сигналов / Автоматика и вычислительная техника. – 2006. – №1. – С. 12-17.
4. Нусратов, О.Г., Рзаев, Р.Р., Спёвак, С.А. Применение аппарата нечётких множеств для повышения достоверности позиционно-бинарного метода идентификации циклических сигналов / Информатика и проблемы

управления. Изв. НАНА. – 2009. – Т. 29. – №3. – С. 76-81.

5. Nusratov, O.G., Almasov, A.Sh., Mamedova, A.M. Positional-binary recognition of cyclic signals by fuzzy analyses of their informative attributes / Procedia Computer Science – 2017. – Vol. 120. – Pp. 454-460.

6. Nusratov, O.G., Rzaev, R.R. Positional-Binary Recognition of Cyclic Signals by Fuzzy Timing Analysis of Information Indicators. The 3rd International Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”. – 2010. – Vol. 1, Pp. 215-218.

7. Aliev T.A., Nusratov O.G., Rzaev R.R. Increase the Validity of Positional-Binary Recognition of Cyclic Signals with Application of Radial-Basis Functional Neural Network. 5-th International Conference on Application of Information and Communication Technologies. – 2011. Pp. 701-703.

Bibliograficheskiy spisok

1. Aliev, T.A., Nusratov, O.G. Pozitsionno-shirotno-impulsnyiy metod diagnostiki tsiklicheskih protsessov / Teoriya i sistemyi upravleniya. Izv. RAN. – 1998. – #1. – S. 133-138.

2. Aliev, T.A., Nusratov, O.G. Algoritmyi analiza tsiklicheskih signa-lov // Avtomatika i vyichislitelnaya tehnika. – 1998. – #2. – S. 68-74.

3. Nusratov, O.G. Pozitsionno-shirotno-impulsnyiy algoritm raspo-znavaniya tsiklicheskih signalov / Avtomatika i vyichislitelnaya teh-nika. – 2006. – #1. – S. 12-17.

4. Nusratov, O.G., Rzaev, R.R., Spevak, S.A. Primenenie apparata nechYot-kih mnozhestv dlya powyisheniya dostovernosti pozitsionno-binarnogo metoda identifikatsii tsiklicheskih signalov / Informatika i pro-blemyi upravleniya. Izv. NANA. – 2009. – Т. 29. – #3. – S. 76-81.

5. Nusratov, O.G., Almasov, A.Sh., Mamedova, A.M. Positional-binary recognition of cyclic signals by fuzzy analyses of their informative attrib-utes / Procedia Computer Science – 2017. – Vol. 120. – Pp. 454-460.

6. Nusratov, O.G., Rzaev, R.R. Positional-Binary Recognition of Cyclic Signals by Fuzzy Timing Analysis of Information Indicators. The 3rd In-ternational Conference “Problems of Cybernetics and Informatics”. – 2010. – Vol. 1, Pp. 215-218.

7. Aliev T.A., Nusratov O.G., Rzaev R.R. Increase the Validity of Positional-Binary Recognition of Cyclic Signals with Application of Ra-dial-Basis Functional Neural Network. 5-th International Conference on Application of Information and Communication Technologies. – 2011. Pp. 701-703.

Нусратов Октай Гудрат оглы, д-р техн. наук, проф., зам. директора по науке, oktay.nusratov@mail.ru, Азербайджан, Баку, Институт систем управления НАН Азербайджана

Алмасов Аскер Шамсаддин оглы, докторант, askalmasov@gmail.com, Азербайджан, Баку, Институт систем управления НАН Азербайджана

ON THE ISSUE OF INCREASING THE VALIDITY OF THE POSITION-BINARY METHOD FOR RECOGNIZING OF CYCLIC SIGNALS

O. G. Nusratov, A. Sh. Almasov

To increase the validity of the position-binary method of cyclic signals recognition a trivial approach is proposed on the base of a time-weighted comparison estimate. Real non-negative sigmoid and Gauss functions are used as the weight function, which in the recognition process differentiates the analyzed cyclic signals from the temporal characteristics of their position-binary components.

Key words: Cyclic signal, binary covering, weight function.

Nusratov Oktay Gudrat, doctor of technical sciences, professor, deputy director, oktay.nusratov@mail.ru, Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.

Almasov Asgar Shamsaddin, candidate for a degree, askalmasov@gmail.com, Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.

СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

УДК 519.712.3

ВЫЯВЛЕНИЕ АНОМАЛИЙ В СЕТЕВЫХ ТРАФИКАХ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЪЁМОВ IP-ПАКЕТОВ

Гасанов В.И.¹

***Аннотация.** Рассматриваются нечёткие методы прогнозирования сетевого трафика с целью обнаружения и оценки возможных аномальных IP-пакетов. В контексте системы управления сетевым трафиком предложены несколько нечётких моделей, позволяющие экстраполировать сетевой трафик на краткосрочный период времени и, тем самым, выявлять его аномальные объёмы.*

***Ключевые слова.** Информационная безопасность, сетевой трафик, аномалия, нечёткое множество, нечёткое отношение*

Введение. На практике обеспечение информационной безопасности в корпоративных сетях происходит в условиях воздействий, индуцированных случайными или преднамеренными действиями со стороны легитимных пользователей, неверной (или неисправной) работы приложений, действиями злоумышленников и т.д. Некоторые из этих факторов воздействия систематизированы в существующих стандартах, а некоторые, и их большинство, являются заранее неизвестными, то есть аномалиями, способными существенно снизить эффективность работы сети. Поэтому оперативная оценка эффективности проводимых в рамках корпоративной сети (КС) защитных мероприятий должна учитывать не только объективные обстоятельства, но и наличие в объёме сетевого трафика (входящем, исходящем и внутреннем) разного рода аномалий.

Нечёткая когнитивная модель для комплексной оценки информационной безопасности (ИБ), общее описание которой дано нами в [1], может быть использована при разработке системы поддержки принятия решений в области сетевого управления трафиком в КС [2, 3]. Это позволяет своевременно выявлять аномалии, находить их источники и принимать соответствующие меры (например, подключать дополнительные каналы передачи данных, фильтровать аномальный трафик и пр.), обеспечивающих надёжное функционирование КС. Другими словами, разработка методов обнаружения аномалий и последующего сетевого управления трафиком на

базе нечёткой когнитивной карты ИБ имеет критически важное значение для надёжной передачи и обмена данными в КС.

Существуют разные подходы к обнаружению аномалий в сетевом трафике, которые в основном основаны на прогнозировании динамики изменений объёмов сетевого трафика. Например, наряду с производными от байтов (КБ, МБ и пр.), объём трафика измеряется и в IP-пакетах. Путём так называемого «перехвата» входящего и исходящего трафика осуществляется поиск заголовков всех IP-пакетов, из которых путём реструктуризации извлекаются все необходимые данные: собственно, сам объём IP-пакета, IP-адрес источника, IP-адрес его назначения, дата и время получения IP-пакета. Полученная таким образом информация о текущем трафике заносится и хранится в базе данных сетевой статистики. Далее, на основе анализа накопленных за определённый период (цикл) данных осуществляется моделирование ряда упорядоченных данных объёмов сетевого трафика. Полученная модель (прогноз) сравнивается с реальным рядом упорядоченных данных объёмов сетевого трафика. Наличие аномалии обнаруживается при их существенном расхождении и, как следствие, в этом случае принимается решение относительно применения соответствующего управляющего воздействия.

Цель настоящего исследования – предложить модель для прогнозирования динамики объёмов сетевого трафика, основанного на интеллектуальном анализе ряда упорядоченных данных, описывающих изменения объёма трафика по времени.

Постановка задачи: В настоящее время для прогнозирования динамических рядов изменения объёмов сетевого трафика применяются различные методы, в том числе использующие фрактальные свойства самого сетевого трафика [2]. Большинство из них работают с так называемыми «чистыми» данными объёмов сетевого трафика, то есть с данными, представленными в виде обычных чисел. Однако в силу отсутствия точных средств измерения объёмов трафика и наличия в трафике случайных колебаний будем рассматривать эти данные как слабо структурированные, т.е. такими, о которых известна только их принадлежность к определённому типу. Более того, циклический анализ сетевого трафика очень зависит от однородности данных, на что оказывают воздействия резкие изменения в сети, вызванные подключением большого числа хостов или изменением в расписании.

Исходя из этого, будем считать, что более адекватными представлениями об объёмах сетевого трафика X все-же являются интервалы вида $[X_{\min}, X_{\max}]$, или, что лучше, утверждения типа «объём X близок 12 КБ», то есть термы лингвистической переменной «*объём сетевого трафика*», описываемых нечёткими множествами. Поэтому объектом нашего исследования будет динамический ряд: $\{X(t)\}$ ($t=t_1, t_2, \dots, t_n$), в котором $X(t_k)$ ($k=1 \div n$) является слабо структурированным значением объёма

сетевого трафика на момент времени t_k , или, в нашем представлении, нечётким множеством, характеризуемым кортежем:

$$\{X_j^{t_k} / \mu(X_j^{t_k})\}, \mu(X_j^{t_k}) \rightarrow [0, 1]; j = 1 \div J \quad (2)$$

Опираясь на данную методику выявления аномалий необходимо построить нечёткую модель для прогнозирования динамического ряда изменений объёмов сетевого трафика, которая, отражая внутренние закономерности, отвечала бы требованиям к решению данной задачи. В качестве примера выберем представленный на **Рис.1** динамический ряд изменения объёмов сетевого трафика с минимальным временным шагом между отсчётами данных в $\Delta t = 1$ мин. Данный ряд отражает состав и количество данных, на основании которых будет производиться прогнозирование сетевого трафика.

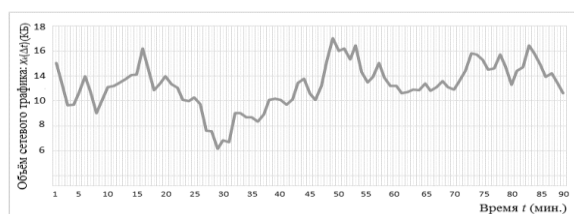


Рис.1 – Динамический ряд изменения объёма сетевого трафика

Прогнозирование объёмов сетевого трафика на основе его нечёткого моделирования. Проблеме прогнозирования динамических рядов слабо структурированных данных посвящены многочисленные публикации [4-10]. В большинстве из них нечёткое моделирование таких рядов предусматривает последовательное выполнение следующей пошаговой процедуры: 1) определение универсума в виде интервального покрытия диапазона данных динамического ряда; 2) фаззификация данных; 3) выявление внутренних нечётких связей (отношений) и их локализация по группам; 4) нахождение нечётких выходов (прогнозов) и их дефаззификация.

Для реализации данной процедуры, в начале необходимо сформировать имеющиеся в наличии данные в виде ряда значений, описывающих изменение объёма трафика во времени. Для этого проведём дискретизацию объёма трафика по следующему принципу.

Представленный на **Рис.1** график отображает изменение объёма сетевого трафика X от времени t и охватывает статистику по трафику, собранную в данном случае за период $T = 90$ мин с минимальным временным шагом между отсчётами данных $\Delta t = 1$ мин. В общем случае интервал дискретизации находится путём разбиения общего периода времени T на целое число n равных интервалов: $\Delta t = T/n$. Далее для каждого интервала Δt складываются объёмы сетевых IP-пакетов, попавших в данный интервал времени и, тем самым, получается ряд упорядоченных данных $X_k(\Delta t)$,

описывающий изменения объёма сетевого трафика по времени с частотой дискретизации Δt в виде: $X_k(\Delta t) = \sum_{i=1}^s V_{\text{packet}}$, где s – число сетевых пакетов, попавших в интервал Δt , $k=1 \div n$ – порядковый номер интервала Δt . Применительно к статистике, охватывающую кривую сетевого трафика на Рис.1, получен ряд упорядоченных данных $X_k(\Delta t)$, который сведён в Таблицу 1.

Теперь можно приступить к реализации пошаговой процедуры для построения нечёткой модели динамического ряда $\{X_k(\Delta t)\}_{k=1}^{90}$.

Таблица 1. – Динамический ряд объёмов IP-пакетов сетевого трафика

Δt_k	Объём IP-пакета (КБ)	Δt_k	Объём IP-пакета (КБ)	Δt_k	Объём IP-пакета (КБ)	Δt_k	Объём IP-пакета (КБ)
1	15.024	24	11.988	47	13.186	70	12.902
2	13.514	25	12.284	48	15.211	71	13.606
3	11.637	26	11.761	49	17.030	72	14.401
4	11.691	27	9.620	50	16.012	73	15.803
5	12.651	28	9.595	51	16.202	74	15.704
6	13.973	29	8.169	52	15.320	75	15.297
7	12.777	30	8.837	53	16.450	76	14.497
8	11.005	31	8.712	54	14.298	77	14.598
9	12.137	32	11.012	55	13.495	78	15.701
10	13.096	33	11.044	56	13.920	79	14.773
11	13.183	34	10.701	57	15.045	80	13.313
12	13.441	35	10.685	58	13.862	81	14.403
13	13.748	36	10.332	59	13.188	82	14.708
14	14.091	37	10.911	60	13.183	83	16.432
15	14.123	38	12.111	61	12.611	84	15.825
16	16.186	39	12.183	62	12.734	85	14.911
17	14.633	40	12.085	63	12.937	86	13.951
18	12.848	41	11.684	64	12.870	87	14.197
19	13.379	42	12.158	65	13.406	88	13.421
20	13.987	43	13.455	66	12.794	89	12.619
21	13.336	44	13.787	67	13.100	90	11.736
22	13.071	45	12.570	68	13.600		
23	12.113	46	12.096	69	13.096		

Шаг 1: *определение универсума и его разбиение на равные интервалы.* Один из способов нахождения покрытия диапазона данных динамического ряда описан в [8], согласно которому универсум U определяется в виде $[D_{\min}-D_1; D_{\max}+D_2]$, где $D_{\min}$ и $D_{\max}$ – соответственно минимальное и

максимальные значения данных ряда $X_k(\Delta t)$, а D_1 и D_2 – положительные числа, выбираемые, как правило, самим пользователем.

В нашем случае $D_{\min}=8.169\text{КБ}$ и $D_{\max}=17.031\text{КБ}$. Выбирая $D_1=0.169$ и $D_2=0.069$, получим универсум $U=[8.0; 17.1]$, который разобьём на следующие семь равных интервалов: $u_1=[8.0; 9.3]$, $u_2=[9.3; 10.6]$, $u_3=[10.6; 11.9]$, $u_4=[11.9; 13.2]$, $u_5=[13.2; 14.5]$, $u_6=[14.5; 15.8]$, $u_7=[15.8; 17.1]$.

Шаг 2: *фаззификация данных*. Предположим, что $A_1, A_2, \dots, A_k$ нечёткие множества (критерии оценки), описывающие термы лингвистической переменной «Объём сетевого трафика». Тогда на U они могут быть заданы в общем виде как:

$$A_1 = \mu_{11}/u_1 + \mu_{12}/u_2 + \dots + \mu_{1m}/u_m;$$

$$A_2 = \mu_{21}/u_1 + \mu_{22}/u_2 + \dots + \mu_{2m}/u_m;$$

...

$$A_k = \mu_{k1}/u_1 + \mu_{k2}/u_2 + \dots + \mu_{km}/u_m,$$

где $\mu_{ij} \in [0; 1]$ ($i=1 \div p$; $j=1 \div m$) означают степени принадлежности чётких интервалов u_j к нечёткому множеству A_i . Здесь, самое главное, необходимо правильно подобрать параметры функций принадлежности, восстанавливающие нечёткие множества для описания возможных термов лингвистической переменной «Объём сетевого трафика».

Для рассматриваемого случая в качестве значений лингвистической переменной «Объём сетевого трафика» выбраны следующие термы:

НИЗКИЙ: $A_1 = 1/u_1 + 0.5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$;

НЕВЫСОКИЙ: $A_2 = 0.5/u_1 + 1/u_2 + 0.5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$;

ВЫСОКИЙ: $A_3 = 0/u_1 + 0.5/u_2 + 1/u_3 + 0.5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$;

БОЛЕЕ ЧЕМ ВЫСОКИЙ: $A_4 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0.5/u_3 + 1/u_4 + 0.5/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7$;

СУЩЕСТВЕННО ВЫСОКИЙ: $A_5 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0.5/u_4 + 1/u_5 + 0.5/u_6 + 0/u_7$;

ОЧЕНЬ ВЫСОКИЙ: $A_6 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0.5/u_5 + 1/u_6 + 0.5/u_7$;

СЛИШКОМ ВЫСОКИЙ: $A_7 = 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0.5/u_6 + 1/u_7$.

Нечёткие входные характеристики искомой модели, полученные по результатам фаззификации данных $X_k(\Delta t)$ (см. таблицу 1), сведены в **Таблицу 2**. Здесь доминирующим фактором является максимальная степень принадлежности к нечёткому множеству интервала u_k ($k=1 \div 7$), соответствующего текущему предикату – чёткой данной.

Таблица 2. – Входные характеристики нечёткой модели ряда $X_k(\Delta t)$

№	$X_k(\Delta t)$	Интервал	Нечёткий аналог	№	$X_k(\Delta t)$	Интервал	Нечёткий аналог
1	15.024	u_6	A_6	46	12.096	u_4	A_4
2	13.514	u_5	A_5	47	13.186	u_4	A_4
3	11.637	u_3	A_3	48	15.211	u_6	A_6
4	11.691	u_3	A_3	49	17.030	u_7	A_7

5	12.651	u_4	A_4	50	16.012	u_7	A_7
6	13.973	u_5	A_5	51	16.202	u_7	A_7
7	12.777	u_4	A_4	52	15.320	u_6	A_6
8	11.005	u_3	A_3	53	16.450	u_7	A_7
9	12.137	u_4	A_4	54	14.298	u_5	A_5
10	13.096	u_4	A_4	55	13.495	u_5	A_5
11	13.183	u_4	A_4	56	13.920	u_5	A_5
12	13.441	u_5	A_5	57	15.045	u_6	A_6
13	13.748	u_5	A_5	58	13.862	u_5	A_5
14	14.091	u_5	A_5	59	13.188	u_4	A_4
15	14.123	u_5	A_5	60	13.183	u_4	A_4
16	16.186	u_7	A_7	61	12.611	u_4	A_4
17	14.633	u_6	A_6	62	12.734	u_4	A_4
18	12.848	u_4	A_4	63	12.937	u_4	A_4
19	13.379	u_5	A_5	64	12.870	u_4	A_4
20	13.987	u_5	A_5	65	13.406	u_5	A_5
21	13.336	u_5	A_5	66	12.794	u_4	A_4
22	13.071	u_4	A_4	67	13.100	u_4	A_4
23	12.113	u_4	A_4	68	13.600	u_5	A_5
24	11.988	u_4	A_4	69	13.096	u_4	A_4
25	12.284	u_4	A_4	70	12.902	u_4	A_4
26	11.761	u_3	A_3	71	13.606	u_5	A_5
27	9.620	u_2	A_2	72	14.401	u_5	A_5
28	9.595	u_2	A_2	73	15.803	u_7	A_7
29	8.169	u_1	A_1	74	15.704	u_6	A_6
30	8.837	u_1	A_1	75	15.297	u_6	A_6
31	8.712	u_1	A_1	76	14.497	u_5	A_5
32	11.012	u_3	A_3	77	14.598	u_6	A_6
33	11.044	u_3	A_3	78	15.701	u_6	A_6
34	10.701	u_3	A_3	79	14.773	u_6	A_6
35	10.685	u_3	A_3	80	13.313	u_5	A_5
36	10.332	u_2	A_2	81	14.403	u_5	A_5
37	10.911	u_3	A_3	82	14.708	u_6	A_6
38	12.111	u_4	A_4	83	16.432	u_7	A_7
39	12.183	u_4	A_4	84	15.825	u_7	A_7
40	12.085	u_4	A_4	85	14.911	u_6	A_6
41	11.684	u_3	A_3	86	13.951	u_5	A_5
42	12.158	u_4	A_4	87	14.197	u_5	A_5
43	13.455	u_5	A_5	88	13.421	u_5	A_5
44	13.787	u_5	A_5	89	12.619	u_4	A_4
45	12.570	u_4	A_4	90	11.736	u_3	A_3

Шаг 3: выявление внутренних нечётких отношений и их локализация по группам. В **Таблице 3** представлены нечёткие связи (1-го порядка) между установленными в **Таблице 2** нечёткими описаниями данных динамического ряда $X_k(\Delta t)$.

Таблица 3. – Внутренние нечёткие связи 1-го порядка

Нечёткие связи 1-го порядка							
$A_1 \rightarrow A_1$	$A_2 \rightarrow A_1$	$A_3 \rightarrow A_4$	$A_4 \rightarrow A_3$	$A_5 \rightarrow A_3$	$A_5 \rightarrow A_7$	$A_6 \rightarrow A_4$	$A_7 \rightarrow A_6$
$A_1 \rightarrow A_3$	$A_2 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_2$	$A_4 \rightarrow A_4$	$A_5 \rightarrow A_4$	$A_5 \rightarrow A_6$	$A_6 \rightarrow A_7$	$A_7 \rightarrow A_7$
$A_2 \rightarrow A_2$	$A_3 \rightarrow A_3$	$A_4 \rightarrow A_5$	$A_4 \rightarrow A_6$	$A_5 \rightarrow A_5$	$A_6 \rightarrow A_5$	$A_6 \rightarrow A_6$	$A_7 \rightarrow A_5$

Представленные в **Таблице 3** нечёткие отношения сгруппируем по следующему принципу: если нечёткое множество A_1 связано, например,

последовательно с A_1 и с A_3 , то относительно этого множества формируется локальная группа 1-го порядка: $A_1 \rightarrow A_1, A_3$. Сформированные подобным образом группы нечётких отношений 1-го порядка представлены в **Таблице 4**.

Таблица 4. – Группы нечётких связей 1-го порядка

Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
$A_1 \rightarrow A_1, A_3$	$A_2 \rightarrow A_1, A_2, A_3$	$A_3 \rightarrow A_2, A_3, A_4$	$A_4 \rightarrow A_3, A_4, A_5, A_6$
Группа 5	Группа 6	Группа 7	
$A_5 \rightarrow A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$	$A_6 \rightarrow A_4, A_5, A_6, A_7$	$A_7 \rightarrow A_5, A_6, A_7$	

Связи 2-го порядка между данными, описанными с помощью нечётких критериев оценки, представлены в **Таблице 5**.

Шаг 4: *определение нечётких прогнозов и их дефаззификация*. Для определения нечётких прогнозов и их дефаззификации широко используются две модели: 1) модель С.Чена [6], основанная на применении простых арифметических операций; 2) модель К. Сонга и Б. Чиссома [4].

Согласно модели С. Чена, если на текущем шаге Δt_k данная $X_k(\Delta t)$ описана в виде нечёткого множества A_j , которое в составе всего ряда образует только одну единственную связь, скажем, отношение: $A_j \rightarrow A_{i,}$, тогда прогнозом на следующий $(k+1)$ -ый шаг будет нечёткое множество $A_{i,}$. В противном случае, т.е. когда имеет место группа отношений, например, $A_j \rightarrow A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{ip}$, именно эта связка в комплексе и будет нечётким прогнозом на $(k+1)$ -ый шаг.

Таблица 5. – Группы нечётких связей 2-го порядка

Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
$A_1, A_1 \rightarrow A_1, A_3$	$A_1, A_3 \rightarrow A_3$	$A_2, A_1 \rightarrow A_1$	$A_2, A_2 \rightarrow A_1$
Группа 5	Группа 6	Группа 7	Группа 8
$A_2, A_3 \rightarrow A_4$	$A_3, A_2 \rightarrow A_2, A_3$	$A_3, A_3 \rightarrow A_2, A_3, A_4$	$A_3, A_4 \rightarrow A_4, A_5$
Группа 9	Группа 10	Группа 11	Группа 12
$A_4, A_3 \rightarrow A_2, A_4$	$A_4, A_4 \rightarrow A_3, A_4, A_5, A_6$	$A_4, A_5 \rightarrow A_4, A_5$	$A_4, A_6 \rightarrow A_7$
Группа 13	Группа 14	Группа 15	Группа 16
$A_5, A_3 \rightarrow A_3$	$A_5, A_4 \rightarrow A_3, A_4$	$A_5, A_5 \rightarrow A_4, A_5, A_6, A_7$	$A_5, A_6 \rightarrow A_6$
Группа 17	Группа 18	Группа 19	Группа 20
$A_5, A_7 \rightarrow A_6$	$A_6, A_4 \rightarrow A_5$	$A_6, A_5 \rightarrow A_3, A_5, A_6$	$A_6, A_6 \rightarrow A_5, A_6$
Группа 21	Группа 22	Группа 23	Группа 24
$A_6, A_7 \rightarrow A_5, A_7$	$A_7, A_5 \rightarrow A_4$	$A_7, A_6 \rightarrow A_4, A_5, A_6, A_7$	$A_7, A_7 \rightarrow A_6, A_7$

Подход Сонга-Чиссома предполагает нахождение прогноза из рекуррентного соотношения $A_k = A_{k-1} \circ R$, где « $\circ$ » обозначает max-min оператор; R является инвариантным по времени нечётким отношением вида

$$R = \bigcup_{l=1}^n R_l, \text{ где } R_l = A_s^T \times A_q \text{ определяется для всех внутренних нечётких}$$

отношений $A_s \rightarrow A_q$, а « $\cup$ » обозначает оператор объединения.

Для нахождения искоемых «чётких» прогнозов пользуются следующими тривиальными правилами дефаззификации [6]. Предположим, что нечётким аналогом данной $X_{k-1}(\Delta t)$ на $(k-1)$ -ый интервал является множество A_i . Тогда:

1. если существует однозначная связь в локализованной по A_i группе, например, $A_i \rightarrow A_j$, где A_j с наибольшей степенью принадлежности включает интервал u_j (верхнее основание соответствующей трапеции), то прогнозируемым значением будет являться середина основания u_k ;
2. если A_i не связано отношением, т.е. $A_i \rightarrow \emptyset$ и A_i с наибольшей степенью принадлежности включает основание u_i соответствующей трапеции, тогда прогнозируемым значением будет являться середина отрезка u_i ;
3. если же существует многозначная связь в локализованной по A_i группе, например, $A_i \rightarrow A_1, A_2, \dots, A_n$, где $A_1, A_2, \dots, A_n$ с наибольшими степенями принадлежности включают соответствующие основания трапеций: $u_1, u_2, \dots, u_n$, то прогнозируемое значение в этом случае вычисляется как: $x_i = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / n$, где $m_1, m_2, \dots, m_n$ являются серединами соответственно $u_1, u_2, \dots, u_n$.

После применения этих правил для динамического ряда $\{X_k(\Delta t)\}_{k=1}^{90}$ были получены нечёткие модели Чена и модели Сонга-Чиссома, соответственно, 1-го и 2-го порядков (Рис.2 и Рис.3). В дополнение к данным моделям на Рис.4 размещены результаты моделирования динамического ряда $\{X_k(\Delta t)\}_{k=1}^{90}$, полученные с применением алгоритма Поулсена [8] при наличии анализа внутренних связей 1-го и 2-го порядков (Рис.4), а на Рис.5 – его модификации в части дефаззификации нечётких выходов, который был описан в [10].

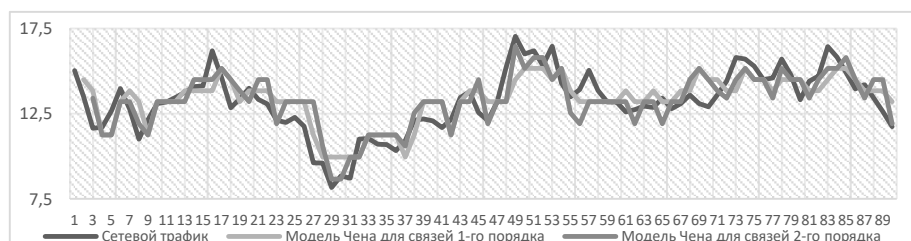


Рис.2 – Модели Чена 1-го и 2-го порядков для сетевого трафика

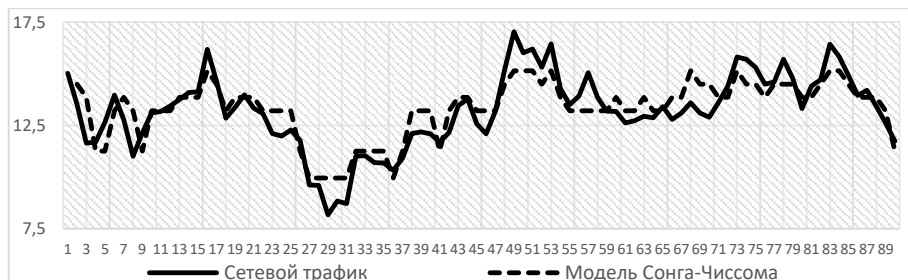


Рис.3 – Модель Сонга-Чиссома для сетевого трафика

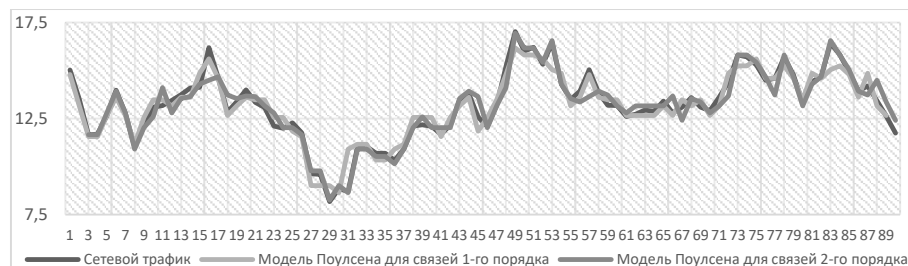


Рис.4 – Модели Пулсена 1-го и 2-го порядков для сетевого трафика



Рис.5 – Модифицированные модели Пулсена для сетевого трафика

Выявление аномалий в сетевом трафике. Как отмечалось выше, для определения объёма сетевого трафика в корпоративных сетях связи применяется информация, извлекаемая из состава IP-пакетов. В этом случае выявление возможных аномалий происходит путём сравнения текущего объёма IP-пакета с его прогнозным значением, т.е., иными словами, для текущего момента времени t сравниваются две величины: фактический объём IP-пакета $V(t)$ и его прогноз $F(t)$. Если разница между ними будет не меньше заранее установленной критического значения $\Delta V_{\text{крит}}$, т.е. если выполняется условие: $\Delta V = |V(t) - F(t)| \geq \Delta V_{\text{крит}}$, то в этом случае возможно имеет место аномалия, вызванная случайными или преднамеренными действиями со стороны легитимных пользователей, неверной работой *web*-приложений, действиями злоумышленников и т.д.

Среди представленных выше прогностических моделей динамического ряда сетевого трафика наиболее адекватной является модифицированная модель Пулсена 2-го порядка, способная экстраполировать динамический ряд сетевого трафика за пределы наблюдения как минимум на краткосрочный период. На Рис.6,

интерпретирующем прогнозирование динамики изменения объёмов IP-пакетов посредством данной модели, показаны возможные аномалии в сетевом трафике.



Рис.6 – Аномалии в сетевом трафике

В случае выявления аномалий в сетевом трафике результаты поиска переправляются в блок поиска источников аномалий. Установление источников аномалий происходит на основе имеющейся в наличии информации об IP-пакетах сетевого трафика, протекающего в корпоративной сети связи. После этого, собственно, оцениваются объёмы аномалий.

Помимо величины аномалии, при оценке применяется информация об источниках аномально высокого объёма трафика, а также сведения, полученные от ответственного за принятие решений и экспертов. В результате вся приобретённая информация об аномалии обобщается и передаётся для дальнейшего рассмотрения со стороны ответственного за принятие решений. Оценка величины аномалии происходит на основе типичной для экспертных систем продукционной базы правил. Но это уже является предметом возможно следующих исследований.

Выводы. Основанные на идее нечёткого анализа изменения объёмов IP-пакетов и на наличии волатильности у сетевого трафика, предложенные нечёткие модели призваны решать задачу прогнозирования изменения объёма сетевого трафика. Это далеко не полный список нечётких моделей. Их можно строить и для внутренних связей с более высоким порядком. В итоге, среди них следует выбрать наиболее адекватную, чтобы полученные на её основе прогнозы могли бы сравниваться с реальными данными, поступающими с сетевого устройства. В случае их значительного расхождения делается вывод об обнаружении аномалии и принимается решение о необходимости применения управляющих воздействий.

Благодарность. Выражаю признательность своему научному руководителю, главному научному сотруднику Института систем управления Национальной Академии Наук Азербайджана, доктору

технических наук, профессору Рзаеву Рамину Рза оглы за ценные советы при планировании настоящего исследования и рекомендации по оформлению статьи.

Библиографический список

1. Алиев, Э.Т., Гасанов, В.И., Джамалов, З.Р., Худадова, А.К. Нечёткая когнитивная модель для комплексной оценки информационной безопасности // Известия НАН Азербайджана. Серия: физико-технических и математических наук. – 2015. – Т. 35. – №6. – С. 72–85.
2. Ажмухамедов, И.М., Марьенков, А.Н. Повышение безопасности компьютерных систем и сетей на основе анализа сетевого трафика // Инфокоммуникационные технологии. – 2010. – Т. 8, №3. – С. 106-108.
3. Ажмухамедов, И.М., Марьенков, А.Н. Обеспечение информационной безопасности компьютерных сетей на основе анализа сетевого трафика // Вестник АГТУ. Серия: «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2011. – №1. – С.137–141.
4. Song, Q., Chissom, B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 269–277.
5. Kumar, N., Ahuja, S., Kumar, V., Kumar, A. Fuzzy time series forecasting of wheat production // International Journal on Computer Science and Engineering. – 2010. – Vol. 2. – №3. – P. 635–640.
6. Chen, S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems: an International Journal. – 2002. – №33. – P. 1–16.
7. Cheng, C.H., Chang, J.R., Yen, C.A. Entropy-based and trapezoid fuzzification fuzzy time series approaches for forecasting IT project cost // Technological Forecasting & Social Change. – 2006. – №73. – P. 524–542.
8. Poulsen J.R. Fuzzy Time Series Forecasting – Developing a new forecasting model based on high order fuzzy time series. – AAUE: CIS 4, 2009. – 67 p.
9. Рзаев Р.Р. Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений. – Verlag: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, 2013. – 130 с.
10. Рзаев, Р.Р. и др. Моделирование временных рядов на основе нечёткого анализа данных // Нечёткие системы и мягкие вычисления. – 2014. – Т. 9. – №1. – С. 39–86/

Bibliograficheskiy spisok

1. Aliev, ET, Hasanov, VI, Dzhamalov, ZR, Khudadova, AK Fuzzy cognitive model for a comprehensive assessment of information security // Izvestiya NAN Azerbaijan. Series: physical and technical and mathematical sciences. - 2015. - T. 35. - № 6. - P. 72-85.

2. Azhmukhamedov, IM, Marienkov, A.N. Increase of security of computer systems and networks on the basis of network traffic analysis // Infocommunication technologies. - 2010. - Т. 8, №3. - P. 106-108.
3. Azhmukhamedov, IM, Marienkov, A.N. Providing information security of computer networks on the basis of network traffic analysis // Vestnik ASTU. Series: "Management, Computer Science and Informatics". - 2011. - №1. - P.137-141.
4. Song, Q., Chissom, B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems. - 1993. - №54. - P. 269-277.
5. Kumar, N., Ahuja, S., Kumar, V., Kumar, A. Fuzzy time series forecasting of wheat production. International Journal of Computer Science and Engineering. - 2010. - Vol. 2. - №3. P. 635-640.
6. Chen, S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series. Cybernetics and Systems: an International Journal. - 2002. - № 33. - P. 1-16.
7. Cheng, C.H., Chang, J.R., Yen, C.A. Entropy-based and trapezoid fuzzy fuzzy time series for forecasting IT project cost // Technological Forecasting & Social Change. - 2006. - №73. - P. 524-542.
8. Poulsen, J. R. Fuzzy Time Series Forecasting - Developing a new forecasting model based on high order fuzzy time series. - AAUE: CIS 4, 2009. - 67 p.
9. Rzaev R.R. Intelligent data analysis in decision support systems. - Verlag: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co, 2013. - 130 p.
10. Rzaev, R.R. and others. Modeling time series based on fuzzy data analysis // Fuzzy systems and soft computations. - 2014. - Т. 9. - № 1. - P. 39-86 /

Гасанов Васиф Илькан оглы, докторант, vasifgenceli@gmail.com, Азербайджан, Баку, Институт систем управления НАН Азербайджана

ANOMALY-DETECTION IN NETWORK TRAFFIC ON THE BASE OF FUZZY MODELING OF DYNAMIC SERIES OF CHANGES IN THE VOLUME OF IP-PACKETS

Hasanov V. I.

To detect and evaluate possible anomalous the fuzzy methods for predicting network traffic IP packets are considered. In the context of the network traffic management system, several fuzzy models are proposed that allow to extrapolate network traffic for a short-term and, thus, to detect its anomalous volumes.

Key words: information security, network traffic, anomaly, fuzzy set, fuzzy relation.

Gasnov Vasif Ilkan, candidate for a degree, vasifgenceli@gmail.com, Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.

ВЗВЕШЕННАЯ ОЦЕНКА СТРАНОВОГО РИСКА С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЁТКОГО МЕТОДА МАКСИМИННОЙ СВЁРТКИ

Бабаева С.Т.¹

***Аннотация.** Рассматриваются два подхода к оценке уровней странового риска, основанные на методе взвешенных коэффициентов оценочных признаков и нечётком методе максиминной свёртки. На основе экспертных заключений на предмет влияния факторов на уровень странового риска посредством этих методов получены итоговые оценки уровней странового риска для произвольного набора альтернатив и проведён их сравнительный анализ.*

***Ключевые слова.** страновой риск, коэффициент конкордации, экспертная оценка, нечёткое множество, функция принадлежности.*

Введение. Наряду с форсмажорными ситуациями страновые риски, несут в себе опасности политического, правового и социально-экономического характеров. Поэтому для гарантированной защиты от подобного рода угроз необходимо учитывать экономико-политическую ситуацию в общей совокупности (особенно, на развивающихся рынках), что, собственно, и предопределило введение в обращение понятия «страновой риск». Страновой риск (СР) – это многофакторная категория, которая характеризуется комбинированной системой финансово-экономических, социально-политических и правовых факторов, коими отличается рынок любой страны [1]. С помощью количественных оценок СР осуществляется ранжирование стран по степени СР, который включает в себя следующие этапы: 1) отбор финансово-экономических, социально-политических и правовых переменных СР; 2) идентификация весов выбранных переменных СР, исходя из их относительного влияния на уровень СР; 3) экспертная оценка факторов СР с применением экспертной шкалы; 4) определение взвешенного индекса, отражающего уровень СР. В настоящее время ранжированием стран по уровню СР занимаются многочисленные мировые рейтинговые агентства и международные институты, такие как: Euromoney, Institutional Investor, Mood's Investor Service, Европейский Банк Реконструкции и Развития (ЕБРР), Мировой банк (МБ) и др. При этом существующие подходы обуславливаются качественными и/или количественными, экономическими, комбинированными и структурно-качественными методами оценки СР.

Постановка задачи. Известная в мире аудиторская компания Pricewaterhouse Coopers при составлении рейтингов инвестиционной

привлекательности государств использует ограниченный набор переменных факторов, которые сформулируем и обозначим в следующем виде: x_1 – уровень коррупции; x_2 – соответствие законодательства; x_3 – уровень развития экономики; x_4 – политика государства по учёту и контролю; x_5 – государственное регулирование [1]. Принимая этот список за основу, для агрегации СР необходимо провести предварительный экспертный анализ путём проведения сравнительной качественной оценки фактора риска (методом простого ранжирования с учётом предпочтений экспертов) и количественной оценки весов этих факторов (методом задания нормированных значений весовых коэффициентов). Далее, определив степень согласованности экспертных оценок относительно приоритетности x_i ($i=1\div5$), их обобщённые веса, необходимо компилировать суммарный индекс в пределах от 0% до 100%.

Полагая переменные факторы x_i ($i=1\div5$) качественными характеристиками, оказывающими относительные влияния на уровень СР, в дополнение к сказанному необходимо провести многокритериальную оценку альтернатив (гипотетических стран) относительно уровней СР нечётким методом максиминной свёртки.

Ранжирование переменных СР в порядках предпочтений экспертов. Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти профильных специалистов определены экспертные оценки степеней важности факторов СР x_i ($i=1\div5$). Каждому эксперту предлагалось расположить переменную x_i по принципу: наиболее важную переменную обозначить цифрой «1», следующую менее важную – цифрой «2» и далее по убыванию степени важности. Полученные таким образом ранговые оценки сведены в **Таблицу 1**.

Таблица 1. – Ранжирование факторов в порядках предпочтений экспертов

Эксперты п/п	Оцениваемые факторы СР и их ранговая оценка (r_{ij})				
	Уровень коррупции	Соответствие законодательства	Уровень развития экономики	Политика учёта и контроля	Государственное регулирование
	Обозначение и индексация факторов СР x_i ($i=1\div5$)				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
01	1	2	4	3	5
02	1	3	2	4	5
03	2	1	5	4	3
04	1	2	4	5	3
05	2	1	3	4	5
06	1	2	4	3	5
07	2	1	4	3	5
08	1	2	4	5	3
09	1	3	2	4	5
10	1	3	2	5	4
11	1	3	4	2	5

12	1	2	3	5	4
13	2	1	4	3	5
14	3	1	2	4	5
15	1	2	5	4	3
$\sum r_{ij}$	21	29	52	55	65

Для определения степени согласованности экспертных заключений применяется коэффициент конкордации Кендалла, демонстрирующий множественную ранговую корреляцию экспертных мнений. Согласно [2, 3] этот коэффициент вычисляется по формуле:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} \quad (3)$$

где m – число экспертов; n – число переменных СР, а S – отклонение экспертных заключений от среднего значения ранжирования переменных СР, которое вычисляется, например, по формуле [3]:

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [r_{ij} - m(n+1)/2]^2 \quad (2)$$

где $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 5\}$ – ранг i -го ФК, установленный j -ым экспертом. В рассматриваемом случае (см. табл. 1) значение коэффициента конкордации Кендалла при величине $S=1450$, вычисленной на основании (2) и данных из табл. 1, будет $W = \frac{12 \cdot 1450}{15^2(5^3 - 5)} = 0.6444 > 0.6$. Последнее свидетельствует о

достаточно *сильной* согласованности экспертных заключений относительно степеней важности x_i .

Идентификация весовых коэффициентов переменных СР. Теперь предположим, что на предварительном этапе независимого анкетирования каждому эксперту также было поручено установить значения нормированных оценок переменных СР. Результаты этого анкетирования сведены в **Таблицу 2**.

Таблица 2. – Значения экспертных нормированных оценок факторов СР

№№ п/п	Нормированные значения (α_{ij})				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
01	0.300	0.250	0.150	0.225	0.075
02	0.350	0.175	0.200	0.150	0.125
03	0.225	0.250	0.150	0.175	0.200
04	0.275	0.250	0.175	0.100	0.200
05	0.250	0.275	0.200	0.175	0.100
06	0.300	0.250	0.150	0.200	0.100
07	0.200	0.375	0.150	0.175	0.100
08	0.325	0.300	0.150	0.025	0.200
09	0.275	0.175	0.200	0.100	0.250
10	0.300	0.200	0.250	0.100	0.150

11	0.300	0.175	0.150	0.250	0.125
12	0.300	0.250	0.200	0.100	0.150
13	0.225	0.250	0.175	0.200	0.150
14	0.200	0.300	0.250	0.150	0.100
15	0.300	0.250	0.125	0.150	0.175
$\sum \alpha_{ij}$	4.125	3.725	2.675	2.275	2.200

Отправляясь от данных, представленных в **Таблице 2**, проведём предварительные расчёты для последующей идентификации весов переменных СР. Для этого определим групповые оценки переменных СР и числовые характеристики (степени) компетентности каждого из 15-ти экспертов. Чтобы вычислить среднюю величину α_i по i -ой группе нормированных оценок переменных СР, воспользуемся взвешенными степенями компетентности экспертов разностным уравнением вида [4]:

$$\alpha_i(t+1) = \sum_{j=1}^m w_j(t) \alpha_{ij} \quad (3)$$

где $w_j(t)$ – весовой коэффициент, характеризующий степень компетентности j -го эксперта ($j=1 \div m$) на момент времени t . В этом случае процесс нахождения групповых оценок нормированных значений носит итерационный характер, который завершается после выполнения условия [4]:

$$\max_i \{|\alpha_i(t+1) - \alpha_i(t)|\} \leq \varepsilon \quad (4)$$

где ε – допустимая точность расчётов, которая устанавливается заблаговременно. В данном случае пусть это будет $\varepsilon=0,0001$.

Пусть на начальном этапе $t=0$ эксперты обладают одинаковыми степенями компетентности. Тогда, полагая для общего случая величину $w_j(0)=1/m$ начальным значением степени компетентности j -го эксперта, среднее значение по i -ой группе нормированных оценок факторов СР в 1-ом приближении получим из частного равенства:

$$\alpha_i(1) = \sum_{j=1}^m w_j(0) \alpha_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \quad (5)$$

В соответствии с (5) усреднёнными оценками факторов СР по группам в 1-ом приближении будут следующие соответствующие числа: $\{\alpha_1(1); \alpha_2(1); \alpha_3(1); \alpha_4(1); \alpha_5(1)\} = \{0.27500; 0.24833; 0.17833; 0.15167; 0.14667\}$. При этом не трудно заметить, что требование (4) для 1-го приближения не выполняется. Поэтому, чтобы перейти на следующий этап вычислим

нормирующий коэффициент как: $\eta(1) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(1) \alpha_{ij} = 3.2042$ [4]. Тогда

согласно следующим равенствам [4]:

$$\begin{cases} w_j(1) = \frac{1}{\eta(1)} \sum_{i=1}^5 \alpha_i(1) \cdot \alpha_{ij} \quad (j = \overline{1, 14}), \\ w_{15}(1) = 1 - \sum_{j=1}^{14} w_j(1), \quad \sum_{j=1}^{15} w_j(1) = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где $w_{15}(1)$ – показатель компетентности 15-го эксперта, вычислим показатели компетентности экспертов в 1-ом приближении: $\{w_1(1); w_2(1); w_3(1); w_4(1); w_5(1); w_6(1); w_7(1); w_8(1); w_9(1); w_{10}(1); w_{11}(1); w_{12}(1); w_{13}(1); w_{14}(1); w_{15}(1)\} = \{0,0676; 0,0676; 0,0645; 0,0666; 0,0668; 0,0675; 0,0674; 0,0698; 0,0645; 0,0668; 0,0652; 0,0679; 0,0648; 0,0660; 0,0672\}$.

Теперь приступим к вычислению средней групповой оценки факторов СР во 2-ом приближении по формуле (3), а точнее по её частному

выражению: $\alpha_i(2) = \sum_{j=1}^{15} w_j(1) \alpha_{ij}$. В этом случае средними оценками

факторов СР по группам $i=1 \div 5$ во 2-ом приближении будут числа: $\{\alpha_1(2); \alpha_2(2); \alpha_3(2); \alpha_4(2); \alpha_5(2)\} = \{0.27547; 0.24876; 0.17821; 0.15116; 0.14640\}$. Проверяя полученные значения на выполнение условия (4) и убедившись, что оно вновь не выполняется: $\max\{|\alpha_i(2) - \alpha_i(1)|\} = \max\{|0.2755 - 0.2750|; |0.2488 - 0.2483|; |0.1782 - 0.1783|; |0.1512 - 0.1517|; |0.1464 - 0.1467|\} = 0.0005 > \varepsilon$,

вычислим нормирующий коэффициент как: $\eta(2) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(2) \alpha_{ij} = 3.2056$.

Тогда показателями компетентности экспертов на втором приближении $w_j(2)$ ($j=1 \div 15$) будут: $\{w_1(2); w_2(2); w_3(2); w_4(2); w_5(2); w_6(2); w_7(2); w_8(2); w_9(2); w_{10}(2); w_{11}(2); w_{12}(2); w_{13}(2); w_{14}(2); w_{15}(2)\} = \{0.0676; 0.0676; 0.0645; 0.0666; 0.0668; 0.0675; 0.0674; 0.0699; 0.0645; 0.0668; 0.0652; 0.0679; 0.0647; 0.0660; 0.0672\}$.

Средние групповые оценки факторов СР в 3-ем приближении получим из следующего частного выражения формулы (3), а именно как:

$\alpha_i(3) = \sum_{j=1}^{15} w_j(2) \alpha_{ij}$. В этом случае средними оценками переменных СР по

группам $i=1 \div 5$ в 3-ем приближении будут следующие числа: $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3)\} = \{0.27547; 0.24876; 0.17821; 0.15115; 0.14640\}$. При этом точность групповых оценок x_i ($i=1 \div 5$) в 3-ем приближении уже удовлетворяет условию (4), то есть $\max\{|\alpha_i(3) - \alpha_i(2)|\} = \max\{|0.27547 - 0.27547|; |0.24876 - 0.24876|; |0.17821 - 0.17821|; |0.15115 - 0.15116|; |0.1464 -$

$0.1464| \} = 0.00001 < \varepsilon$, что является основанием для прекращения вычислений. Тогда $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3)\}$ являются итоговыми весами x_i ($i=1 \div 5$).

Определение взвешенного уровня СР. Метод экспертных оценок предполагает обсуждение факторов, влияющих на уровень СР, группой специально привлечённых для этого специалистов. Каждому из них предоставляется перечень возможных рисков на основе переменных x_i ($i=1 \div 5$) и предлагается в индивидуальном порядке дать независимую оценку вероятности их наступления в процентном выражении на основе следующей пятибалльной системе оценивания: 5 – несущественный риск; 4 – рисковая ситуация вероятнее всего не наступит; 3 – о возможности риска невозможно сказать ничего определённого; 2 – рисковая ситуация вероятнее всего наступит; 1 – рисковая ситуация наступит наверняка. Далее экспертные оценки подвергаются анализу на предмет их согласованности (или противоречивости) по правилу: максимально допустимая разница между двумя экспертными заключениями по любому виду риска относительно x_i ($i=1 \div 5$) не должна превышать 3. Это правило позволяет фильтровать недопустимые отклонения в экспертных оценках вероятности наступления риска по каждому фактору СР. Выведение суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах от 0 до 100, можно осуществить посредством следующего критерия оценки [4]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^5 \alpha_i e_i}{\max_i \sum_{i=1}^5 \alpha_i e_i} \times 100 \quad (7)$$

где α_i – весовой коэффициент значимости i -го фактора СР, e_i – экспертная оценка вероятности наступления риска по i -му фактору СР по пятибалльной системе оценивания. Минимальный индекс означает максимальный риск, и наоборот, а уровень СР устанавливается, исходя из градации итоговых взвешенных оценок.

Теперь представим, что экспертному сообществу предлагается по пятибалльной системе протестировать 10 альтернативных стран: a_k ($k=1 \div 10$) на предмет оценки степени влияния финансово-экономических, социально-политических и государственно-правовых факторов в этих странах на уровень их СР. Так, на основе консолидированных (усреднённых) экспертных заключений и применения к ним критерия итоговой оценки (7), для этих стран получены оценки уровней СР, которые сведены в **Таблицу 3**.

Таблица 3. – Итоговые оценки уровней СР для альтернативных стран

Альтернатива (страна)	Весовые коэффициенты x_i ($i=1\div 5$)					Соотношение итоговой оценки
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	
a_1	4.5	4.75	4.5	4.75	4.25	91.27
a_2	4.85	4.50	4.55	2.75	3.75	84.62
a_3	3.75	4.00	3.25	3.85	3.25	73.30
a_4	4.25	3.45	2.85	2.75	1.85	64.47
a_5	4.00	2.55	3.00	2.25	1.85	57.64
a_6	3.55	2.85	2.00	1.25	0.85	47.13
a_7	2.25	1.75	1.25	1.85	1.50	35.54
a_8	2.25	1.85	1.25	0.75	0.25	29.06
a_9	5.00	4.75	4.85	4.85	4.75	97.04
a_{10}	3.25	2.85	3.75	4.25	3.50	68.55

Ранжирование альтернатив по уровням СР с применением нечёткого метода максиминной свёртки. Обработку экспертных оценок по пятибалльной системе, представленных в **Таблице 3** относительно факторов СР для альтернативных стран a_k ($k=1\div 10$), осуществим с применением математического аппарата теории нечётких множеств в три этапа.

Этап 1. Построение функции принадлежности (процедура фаззификации), соответствующей оценочному понятию «НЕСУЩЕСТВУЮЩИЙ РИСК». В рассматриваемом случае данный терм отразим в виде нечёткого подмножества конечной совокупности оцениваемых альтернатив (в нашем случае стран) $\{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$ в следующем виде: $A_i = \{\mu_{A_i}(a_1)/a_1; \dots; \mu_{A_i}(a_{10})/a_{10}\}$, где $\mu_{A_i}(a_t)$ ($t=1\div 10$) – значение функции принадлежности, восстанавливающей нечёткое множество A_i , т.е. определяющее отношение страны a_t к критерию оценки A_i =НЕСУЩЕСТВУЮЩИЙ РИСК. В качестве функции принадлежности выбрана Гауссовская функция вида: $\mu_{A_i}(a_t) = \exp\{-[e_i(a_t)-5]^2/\sigma_i^2\}$, где $e_i(a_t)$ – консолидированная оценка экспертов стране a_t ($t=1\div 10$), данная по пятибалльной шкале на предмет соответствия риску по i -му фактору как несуществующему; σ_i^2 – плотность расположения ближайших элементов, которая выбрана единой для всех случаев процесса фаззификации как равной 4.

Этап 2. Определение конкретных значений функции принадлежности $\mu_{A_i}(a_t)$ ($t=1\div 10$) по критериям A_i . В этом случае, полагая x_i ($i=1\div 5$) лингвистическими переменными, один из их термов, а именно: «НЕСУЩЕСТВУЮЩИЙ РИСК» представим в виде нечёткого подмножества A_i дискретного универсума $U=\{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$ следующим образом:

- $A_1 = \{0.9394/a_1; 0.9944/a_2; 0.6766/a_3; 0.8688/a_4; 0.7788/a_5; 0.5912/a_6; 0.1510/a_7; 0.1510/a_8; 1/a_9; 0.4650/a_{10}\};$
- $A_2 = \{0.9845/a_1; 0.9394/a_2; 0.7788/a_3; 0.5485/a_4; 0.2230/a_5; 0.3149/a_6; 0.0713/a_7; 0.0837/a_8; 0.9845/a_9; 0.3149/a_{10}\};$

- $A_3 = \{0.9394/a_1; 0.9506/a_2; 0.4650/a_3; 0.3149/a_4; 0.3679/a_5; 0.1054/a_6; 0.0297/a_7; 0.0297/a_8; 0.9944/a_9; 0.6766/a_{10}\};$
- $A_4 = \{0.9845/a_1; 0.2821/a_2; 0.7185/a_3; 0.2821/a_4; 0.1510/a_5; 0.0297/a_6; 0.0837/a_7; 0.0109/a_8; 0.9944/a_9; 0.8688/a_{10}\};$
- $A_5 = \{0.8688/a_1; 0.6766/a_2; 0.4650/a_3; 0.0837/a_4; 0.0837/a_5; 0.0135/a_6; 0.0468/a_7; 0.0036/a_8; 0.9845/a_9; 0.5698/a_{10}\}.$

Этап 3. В целях выявления лучшей альтернативы осуществление свёртки имеющейся в наличии информации. Множество оптимальных альтернатив A определяется путём пересечения нечётких множеств, содержащих оценки альтернатив по критерию несуществующий риск. В этом случае правило выбора наилучшей альтернативы имеет вид:

$$A = A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap A_4 \cap A_5. \quad (8)$$

Оптимальной считается альтернатива с максимальным значением функции принадлежности к нечёткому множеству A . Согласно [5] операция пересечения нечётких множеств соответствует выбору минимального значения для альтернативы a_t ($t=1 \div 10$):

$$\mu_A(a_t) = \min_i \{\mu_{A_i}(a_t)\}. \quad (9)$$

В рассматриваемом случае множество оптимальных альтернатив согласно (8) и (9) формируется следующим образом:

$A = \{\min\{0.9394; 0.9845; 0.9394; 0.9845; 0.8688\}, \min\{0.9944; 0.9394; 0.9506; 0.2821; 0.6766\}, \min\{0.6766; 0.7788; 0.4650; 0.7185; 0.4650\}, \min\{0.8688; 0.5485; 0.3149; 0.2821; 0.0837\}, \min\{0.7788; 0.2230; 0.3679; 0.1510; 0.0837\}, \min\{0.5912; 0.3149; 0.1054; 0.0297; 0.0135\}, \min\{0.1510; 0.0713; 0.0297; 0.0837; 0.0468\}, \min\{0.1510; 0.0837; 0.0297; 0.0109; 0.0036\}, \min\{1.0000; 0.9845; 0.9944; 0.9944; 0.9845\}, \min\{0.4650; 0.3149; 0.6766; 0.8688; 0.5698\}\}.$

Результирующий вектор приоритетов альтернатив имеет следующий вид:

$$\max_t \mu_A(a_t) = \max\{0.8688; 0.2821; 0.4650; 0.0837; 0.0837; 0.0135; 0.0297; 0.0036; 0.9845; 0.3149\}. \quad (10)$$

Таким образом, с точки зрения уровня СР наилучшей альтернативой является страна a_9 , которой соответствует значение 0.9845. Далее по убыванию: $a_1 \rightarrow 0.8688$, $a_3 \rightarrow 0.4650$, $a_{10} \rightarrow 0.3149$, $a_2 \rightarrow 0.2821$, $a_4 \rightarrow 0.0837$, $a_5 \rightarrow 0.0837$, $a_7 \rightarrow 0.0297$, $a_6 \rightarrow 0.0135$, $a_8 \rightarrow 0.0036$.

Заключение. В рамках первого подхода на базе согласованных экспертных заключений относительно приоритетности факторов СР установлены обобщённые значения весов x_i ($i=1 \div 5$), что стало основанием для обоснованного формирования итоговых оценок уровней СР по установленному критерию сравнения в масштабе отрезка $[0; 100]$. Нечёткий метод максиминной свёртки, который составляет суть второго подхода,

решает поставленную задачу используя другой способ агрегации экспертных оценок переменных факторов СР. Сравнение полученных обоими методами результатов оценки уровней СР рассмотренных гипотетических альтернатив (стран) a_t ($t=1\div 10$) представлен в **Таблице 4**, откуда видно, что порядки итоговых оценок уровней СР не везде совпадают, особенно, при сравнении уровней СР по наименованиям.

Благодарность. Выражаю благодарность своему научному руководителю, главному научному сотруднику Института систем управления Национальной Академии Наук Азербайджана, доктору технических наук, профессору Рзаеву Рамину Рза оглы за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании настоящей статьи.

Таблица 4. – Сравнительный анализ результатов оценки уровней СР

Альтернатива (п/п)	Метод взвешенных оценок		Метод максиминной свёртки	
	Итоговая оценка	Порядок	Итоговая оценка	Порядок
a_1	91.27	2	0.8688	2
a_2	84.62	3	0.2821	5
a_3	73.30	4	0.4650	3
a_4	64.47	6	0.0837	6
a_5	57.64	7	0.0837	7
a_6	47.13	8	0.0135	9
a_7	35.54	9	0.0297	8
a_8	29.06	10	0.0036	10
a_9	97.04	1	0.9845	1
a_{10}	68.55	5	0.3149	4

Библиографический список

1. PwC Global Risk podcast series. [Электронный ресурс]. Доступен на: <https://www.pwc.com/gx/en/services/advisory/consulting/risk/coso-erm-framework/podcasts.html> (accessed 13 January 2017)
2. Lin, A.S. A Note on the concordance correlation coefficient // Biometrics. – 2012. – V. 56. – Pp. 324–325.
3. Lin A.S. Hedayat, and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement. – New York: Springer, 2012. – 173 p.
4. Тельнов, Г.В. Подход к формированию итоговой оценки уровня освоения материала учебной дисциплины при промежуточной аттестации обучаемых на основе взвешенных коэффициентов оцениваемых признаков // Научный журнал «Вестник АГУ». – 2015. Вып. 1 (154). – С. 119–127.
5. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.

6. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
7. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – pp. 87–88.

Bibliograficheskiy spisok

1. PwC Global Risk podcast series. [Electronic resource]. Available at: <https://www.pwc.com/gx/en/services/ advisory / consulting / risk / coso-erm-framework / podcasts.html> (accessed 13 January 2017)
2. Lin, A.S. A Note on the concordance correlation coefficient // Biometrics. - 2012. - V. 56. - Pp. 324-325.
3. Lin A.S. Hedayat, and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement. - New York: Springer, 2012. - 173 p.
4. Telnov, G.V. Approach to the formation of the final assessment of the level of mastering the material of the academic discipline in the intermediate certification of trainees on the basis of weighted coefficients of the traits being evaluated // Scientific Journal "Vestnik ASU". - 2015. Issue. 1 (154). - C. 119-127.
5. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. - 1965. - V. 8. - No. 3. - Pp. 199-249.
6. Rzaev R.R. Analytical support for decision-making in organizational systems. - Saarbruchen (Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. - 306 p.
7. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. - Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1970. - pp. 87-88.

*Бабаева Севиндж Тофик кызы, докторант,
babayevasevinj@yahoo.com, Азербайджан, Баку, Институт систем
управления НАН Азербайджана*

COUNTRY RISK ASSESSMENT USING EXPERT ASSESSMENTS OF EXTERNAL FACTORS OF IMPACT

Babayeva S. T.

Weighted attribute estimates and fuzzy method of maximin convolution based two approaches to evaluation the levels of country risk are considered. To obtain the final estimates of the country risk levels for an arbitrary set of alternatives these approaches are used on the base of expert conclusions regarding factors of country risk. The study is completed by comparative analysis of finale estimates of country risks.

Key words: country risk, concordance coefficient, expert estimate, fuzzy set; membership function.

Babayeva Sevinj Tofiq, candidate for a degree, scientific researcher, babayevasevinj@yahoo.com, Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.

УЧЁТ СТЕПЕНИ УСТАРЕВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Доронина Ю.В.¹

Аннотация. Исследование и прогнозирование эффективности технической или информационной системы связаны с формированием модели ее функционирования. Модель должна учитывать результат деятельности системы и средств на реализацию этой деятельности. В отличие от традиционного взгляда на эффективность в статье рассматривается модель с учетом устаревания системы в рамках анализа ее жизненного цикла, что позволило уточнить прогноз характеристик системы.

Ключевые слова. техническая система, устаревание, жизненный цикл, функциональный цикл, пиковая нагрузка, динамические критерии, анализ эффективности.

Анализ эффективности как технических, так и информационных систем (ТС и ИС) в большинстве случаев производится без учета их изменчивости вследствие изменения характеристик жизненного цикла (ЖЦ) этих систем [1-3]. К таким характеристикам относится, в том числе, степень или скорость устаревания, выраженная коэффициентом снижения эффективности, вне зависимости от параметров рабочего процесса (процесса функционирования).

Эффективность ТС, в отличие от ИС, в большинстве случаев связывают с производительностью машин и автоматизированных линий, которая представляет собой количество годной продукции, выдаваемой в единицу времени [1]. Способы определения различных показателей производительности (цикловой (или теоретической) производительности, технической производительности, фактической производительности) приведены в работах [4,5].

Традиционный подход к анализу эффективности ТС в рамках решения задачи прогнозирования объема продукции, выпущенной за заданный период, основывается на определении параметров функционирования производственной системы (ПС) в течение заданного времени:

$$y(t) = \begin{cases} x(t), & \text{при } a(t) \geq x(t); \\ a(t), & \text{при } a(t) < x(t), \end{cases} \quad (1)$$

где – $x(t)$, $a(t)$, $y(t)$ количество заготовок на входе, производительность ПС и количество готовых изделий на выходе соответственно[6].

В (1) время t связывается обычно с производственным (рабочим, технологическим) циклом, и не относится к жизненному циклу ТС. Это означает, что ряд характеристик системы, которые могут значительно

¹ Севастопольский государственный университет

меняться в процессе ее эксплуатации, могут быть использованы при моделировании безотносительно к промежутку времени, на котором происходит моделирование.

Цель статьи: предложить модель прогнозирования эффективности на основе учета влияния степени устаревания системы в процессе ее функционирования.

На **Рис.1** показана модель изменчивости эффективности ТС (или ИС) с учетом устаревания и циклических нагрузок.

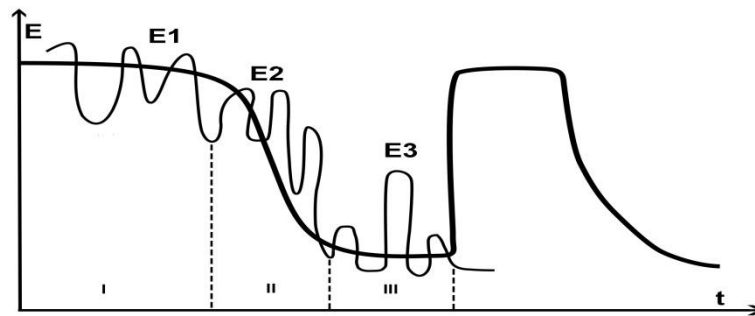


Рис.1 – Модель эффективности технической системы с учетом устаревания и циклических нагрузок

На участке I (**Рис.1**) эффективность ТС (E_1) высокая, но может внезапно снизиться вследствие того, что упадет эффективность отдельной подсистемы. Например, сбой в программном обеспечении приведет к увеличению доступа времени к базе данных (БД), что приведет к снижению показателя эффективности в целом. Однако понижение эффективности будет временным, и находиться в пределах среднего значения эффективности. После устранения сбоя, показатель эффективности восстановится, и будет находиться на прежнем уровне, так как старение системы еще не произошло. На участке II (интенсивное старение) эффективность ТС (E_2) находится на среднем уровне, но может снизиться вследствие пиковой нагрузки. С учетом старения системы эффективность ТС E_3 на участке III падает и остается на данном уровне до момента модернизации (или реинжиниринга) системы. Однако, по ряду обстоятельств, например в связи с принятием на работу высококвалифицированного сотрудника или внедрения более производительного элемента системы, затраты времени на выполняемую работу существенно снизятся и тем самым эффективность ТС может повыситься еще до модернизации системы. Таким образом, циклическая изменчивость производительности, обусловленная особенностями функционирования ТС, связана также и с изменчивостью устаревания её компонентов или всей системы в целом.

Считается, что измеренные эффективности двух идентичных ТС в одинаковых условиях не должны различаться более, чем на погрешность измерений. Здесь следует обратить внимание на определение идентичности

систем. В общем смысле идентичность может быть определена через понятие системы, как совокупности: структуры компонентов, связей между ними, принципа организации и интегративной составляющей. Таким образом, система $s'(R', B', O')$ идентична системе $s''(R'', B'', O'')$, если $R' \sim R'', B' \sim B'', O' \sim O''$, где $R', R'', B', B'', O', O''$ – структура, связи и способ организации системы s' и s'' соответственно [6]. Модель функционирования системы в [6] представлена в общем виде как

$$A(X_T, Y_T, T) = 0, \quad (2)$$

где X_T, Y_T, T – вектор входных воздействий, вектор результата и период времени функционирования системы для получения этого результата соответственно, $T = t_i t_j$.

Для s' и s'' смещение параметров относительно T является решающим и инициирует фактор различий, связанных с наложением процесса устаревания: $s'(R', B', O', t_i t_j) \rightarrow s''(R', B', O', t_k t_l)$ при $t_i < t_k$ и $t_j < t_l$. На рис.2 схематически показано различие, возникающее в идентичных системах при смещении (сдвига) их параметров относительно интервала $T = t_i t_j$ в связи с реализацией процесса устаревания системы. Безусловно, вид процесса устаревания, степень изменения кривой (**Рис.2**), влияют на поправку значения эффективности ТС. Средние значения эффективности ТС за периоды $t_i t_j$ и $t_k t_l$ равны соответственно $\bar{E}_{s'_{t_i t_j}}$ и $\bar{E}_{s'_{t_k t_l}}$. Кроме того, следует учитывать интенсивность изменения эффективности ТС. Так, для слабо устаревающей ТС после начала морального устаревания (в период, равный одному рабочему циклу системы) изменение показателя ее эффективности не превышает 5-10%. Интенсивно устаревающей будет считаться та система, если после начала морального устаревания (в период равный одному рабочему циклу системы) изменение показателя ее эффективности превышает 20% (**Рис.3**). В случае необходимости анализа системы высокой готовности целесообразно использовать для аппроксимации функции устаревания квадратичную и кубическую функции: $y = x^2$, $y = x^3$ [7].

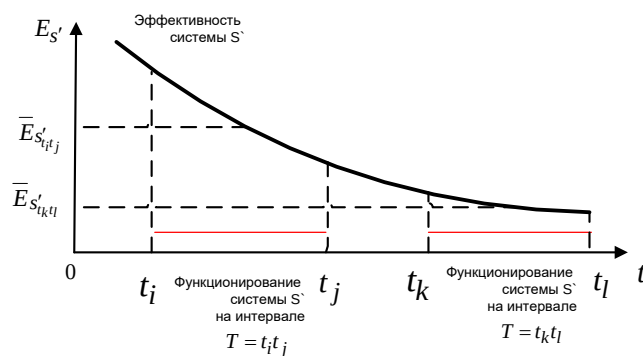


Рис.2– Схема сдвига параметров технической системы с учетом процесса устаревания

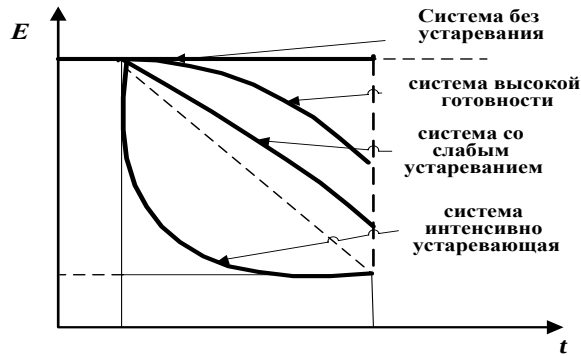


Рис.3 – Иллюстрация типов устаревания систем

Если представить (2) как предложено в [6] для интервала $t_0 t_1 = t_0 t_1 \cup t t_1$, где t_0, t_1 — начальная и конечная точки отсчета времени и $z(t_1) = H(t_0 t_1, z(t_0), X_{t_0 t_1})$ — уравнение состояния системы в момент времени t_1 , H — оператор перехода, $X_{t_0 t_1}$ — входной процесс, то уравнение выхода системы записывается подстановкой:

$$y(t_1) = G(t_0 t_1, z(t_0), X_{t_0 t_1}) = G(t t_1, H(t_0 t_1, z(t_0), X_{t_0 t_1}), X_{t t_1}). \quad (3)$$

Для уточнения (3) целесообразно ввести коэффициенты устаревания системы в описание траектории Z_T в связи с тем, что ожидаемый результат $y(t_1)$ может быть не достигнут из-за изменения характеристик системы. Это может быть достигнуто учетом процессов устаревания ТС:

$$y^*(t_1) = G(t_0 t_1, z(t_0), X_{t_0 t_1}, S_{t_0 t_1}^T) = G(t t_1, H(t_0 t_1, z(t_0), X_{t_0 t_1}, S_{t_0 t_1}^T), X_{t t_1}, S_{t t_1}^T),$$

где $S_{t_0 t_1}^T$ — процесс устаревания ТС на всем участке T ; $S_{t_0 t}^T$ и $S_{t t_1}^T$ — процессы устаревания ТС на фрагментах $t_0 t$ и $t t_1$ соответственно.

Таким образом, на основании знания типа устаревания ТС (слабое, интенсивное, замедленное: в случае необходимости высокой готовности системы), а также на основании предположения вида закона устаревания (вида распределения случайной величины), можно получить уточненное значение эффективности ТС или ИС.

В Таблице 1 приведены результаты моделирования и прогнозирования эффективности ТС на различных временных интервалах в следующих предположениях: закон устаревания — экспоненциальный, коэффициент интенсивности устаревания 0.5; время начала устаревания — 2.5 мес.; коэффициент с усиленным совершенствованием 0.3.

Таблица 2. – Результаты прогнозирования эффективности ТС

№ опыта	t		$T = t_i t_j$	$T = t_k t_l$	Интенсивность устаревания, k	Эффективность, $E_s'(t)$
1	t_i	3.60	1.40	-	0.50	2.25
	t_j	5.00				0.75
	t_k	4.20	-	2.32	0.50	3.00
	t_l	6.52				1.50
2	t_i	3.60	1.40	-	0.30	3.00
	t_j	5.00				1.50
	t_k	4.20	-	2.32	0.50	3.00
	t_l	6.52				1.50

При изменении коэффициента устаревания (коэффициента интенсивности совершенствования) во втором опыте изменились значения $E_s'(t)$ на концах отрезка времени $T = t_i t_j$, хотя среднее значение эффективности ТС не изменилось. С точки зрения начала реинжиниринга (интенсивного единовременного подъема эффективности): при ограничении на показатель эффективности системы 1.5 – время требуемого начала реинжиниринга изменилось с 5 мес. до 6.52 мес.; при ограничении в 3 единицы – с 3.6 мес. до 4.2 мес.

Дальнейшие исследования связаны с получением композиции процессов на произвольных участках траекторий состояний ТС, что позволит уточнить прогноз результатов функционирования ТС и ИС.

Библиографический список

1. Копп В.Я. Моделирование переналаживаемых автоматизированных производственных систем / В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, А.И. Песчанский, Чуб О.П. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. – 232 с.
2. Аверьянов О.И. Перспективы и концепция создания автоматизированных заводов / О.И. Аверьянов, Б.И. Черпаков, В.Н. Ефимов // Станки и инструмент. — 1991. — №3. — С.2–4.
3. Мясников В.А. Модели планирования и управления производством / В.А. Мясников, М.Б. Игнатъев, Е.И. Перовская. – М.: Машиностроение, 1982. – 92 с.
4. Автоматические линии в машиностроении: Справочник / Л.И. Волчкевич, В.В. Губанов, А.И. Дашенко. – Т.1. Этапы проектирования и расчет; Под ред. Л.И. Волчкевича – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
5. Шаумян Г.А. Комплексная автоматизация производственных процессов / Г.А. Шаумян. – М.: Машиностроение, 1973. – 640 с.
6. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 199 с.

7. Доронина Ю.В., Карпова Т.С. Анализ процесса устаревания информационной системы / Ю.В. Доронина, Т.С. Карпова // Изд-во СевНТУ: Автоматизация процессов и управление. – 2014. – Вып. 154. – С. 129-133.

Bibliograficheskiy spisok

1. Kopp V.YA. Modelirovanie perenalazhivaemyh avtomatizirovannyh proizvodstvennyh sistem / V.YA. Kopp, YU.E. Obzherin, A.I. Peschanskij, CHub O.P. – Sevastopol': Izd-vo SevNTU, 2007. – 232 s.
2. Aver'yanov O.I. Perspektivy i koncepciya sozdaniya avtomatizirovannyh zavodov / O.I. Aver'yanov, B.I. Cherpakov, V.N. Efimov // Stanki i instrument. — 1991. — №3. — S.2–4.
3. Myasnikov V.A. Modeli planirovaniya i upravleniya proizvodstvom / V.A. Myasnikov, M.B. Ignat'ev, E.I. Perovskaya. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 92 s.
4. Avtomaticheskie linii v mashinostroenii: Spravochnik / L.I. Volchkevich, V.V. Gubanov, A.I. Dashchenko. – T.1. EHtapy proektirovaniya i raschet; Pod red. L.I. Volchkevicha – M.: Mashinostroenie, 1984. – 312 s.
5. SHaumyan G.A. Kompleksnaya avtomatizaciya proizvodstvennyh processov / G.A. SHaumyan. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 640 s.
6. Nikolaev V.I., Bruk V.M. Sistemotekhnika: metody i prilozheniya. – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1985. – 199 s.
7. Doronina YU.V., Karpova T.S. Analiz processa ustarevaniya informacionnoj sistemy / YU.V. Doronina, T.S. Karpova // Izd-vo SevNTU: Avtomatizaciya processov i upravlenie. – 2014. – Vyp. 154. – S. 129-133.

Доронина Юлия Валентиновна, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры, juvado@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

TAKING INTO ACCOUNT THE DEGREE OF OBSOLESCENCE OF TECHNICAL SYSTEMS IN THE ANALYSIS OF ITS EFFECTIVENESS

Doronina Yu. V.

Research and forecasting of the effectiveness of a technical or information system are related to the formation of a model of its functioning. The model should take into account the results of the system's activities and the means to implement those activities. In contrast to the traditional view of efficiency, the article considers the model taking into account the system aging in the framework of the analysis of its life cycle, which allowed to clarify the forecast of the system characteristics.

Keyword: technical system, aging, life cycle, functional cycle, peak load, dynamic criteria, efficiency analysis.

Doronina Yulia Valentinovna, doctor of technical sciences, assistant professor of department "Information Systems", juvado@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ, ДИАГНОСТИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»

УДК 004.942: 681.518.3

ЦИФРОВОЙ ИНВЕРСНЫЙ ФИЛЬТР В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Карлусов В.Ю.¹, Рассказов С.В.²

Аннотация. В статье рассматривается подход к построению инверсного цифрового фильтра, который восстанавливает исходный сигнал из сигнала, искажённого при прохождении линейной системы. Процедура построения предусматривает использования информации о модели статистической структуры обрабатываемого сигнала и модели искажающего устройства. Подход иллюстрируется на примере моделей сигналов с различными статистическими свойствами и искажающего устройства типа апериодическое звено 1-го порядка, которое реально описывает RC-цепочку, широко применяемую в измерительных системах различного рода. Получены в аналитическом виде выражения для расчётов коэффициентов, приводятся схемы моделирования и результаты.

Ключевые слова. Цифровой нерекурсивный фильтр, синтез цифровых фильтров, случайный сигнал (процесс)

Постановка задачи. Цифровая фильтрация, по аналогии с теорией автоматического управления, способна решать как прямые, так и обратные задачи в соответствии с принципами симметрии [1, 2]. Обратное (инверсное) преобразование сигнала имеет целью его восстановление или компенсацию искажений, вносимых датчиком, устройствами измерительного тракта, каналом передачи данных или возмущающими факторами. Согласно [3, 4], задача инверсной фильтрации, используемой для восстановления входного сигнала $x(t)$ по измеряемому выходному $y(t)$, состоит в отыскании характеристики

$$\tilde{h}_{inv}(\omega) = \tilde{h}^{-1}(\omega), \quad (1)$$

где $\tilde{h}(\omega)$ – описывает частотную характеристику линейной системы, вносящей искажения в сигнал. Частотная характеристика инверсного фильтра $\tilde{h}_{inv}(j\omega)$ служит, в дальнейшем, основанием для построения цифрового фильтра.

Метод решения. В [5] предложен подход, заключающийся в том, что коэффициенты инверсного фильтра могут быть рассчитаны без учёта (1), путём решения системы линейных уравнений вида

$$RA_0 = W, \quad (2)$$

в которой элементы матрицы R и вектора W рассчитываются с помощью модели обрабатываемого случайного сигнала и характеристики $\tilde{h}(\omega)$. Вектор оптимальных коэффициентов A_0 определяется в ходе решения (2).

Предполагается, что случайный сигнал $x(t)$ является стационарным и эргодическим, описывается автокорреляционной функцией $B_x(\tau)$ или её спектральным аналогом – плотностью спектра мощности $S(\omega)$, а процедура его преобразования искажающей линейной системой в сигнал $y(t)$ описывается интегралом свёртки

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau, \quad (3)$$

где $h(\tau)$ – аппаратная функция системы. Восстановление отсчётов сигнала $\{x(t)\}$ по отсчётам сигнала $\{y(t)\}$ осуществляется с применением процедуры нерекурсивной цифровой фильтрации (НЦФ)

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k y[t - (k-m)T_0]. \quad (4)$$

В (4) обозначено: $\{a_k\}$ – коэффициенты фильтра, подлежащие расчёту, N – их число, T_0 – шаг дискретизации процесса, m – число отсчётов запаздывания цифрового фильтра по отношению к текущему моменту времени t .

Количественно результат расчётов по формуле (2) может быть оценен по критерию минимума среднеквадратической ошибки

$$\varepsilon_{\min}^2 = \sigma_x^2 - A_o^T W, \quad (5)$$

где σ_x^2 – дисперсия исходного процесса $x(t)$. Для сравнения со случаем, когда коэффициенты цифрового фильтра $\{a_k\}$ определены иным способом, применима формула

$$\varepsilon^2 = \sigma_x^2 - 2A^T W + A^T R A. \quad (6)$$

Выражение (2) является дискретным аналогом известного решения интегрального уравнения Винера – Хопфа.

Его компоненты в рамках поставленной задачи трактуются следующим образом. Матрица R формируется с использованием автокорреляционной функции обрабатываемого процесса $y(t)$ (на выходе искажающей системы). Её элементы могут быть вычислены путём интегральных преобразований. Преобразования можно, по желанию, производить как во временной, так и частотной областях.

$$B_y(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} B_x(\tau + \tau_1 - \tau_2) h(\tau_1) h(\tau_2) d\tau_1 d\tau_2 = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) |\tilde{h}(\omega)|^2 e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (7)$$

Вектор W формируется из отсчётов взаимной корреляционной функции $B_{xy}(\tau)$ случайных сигналов $x(t)$ и $y(t)$, которая вычисляется следующим образом

$$B_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} B_x(\tau - \tau_1) h(\tau_1) d\tau_1 = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \tilde{h}^*(\omega) e^{-j\omega\tau} d\omega, \quad (8)$$

где $\tilde{h}^*(\omega)$ – частотная характеристика, комплексно-сопряжённая $\tilde{h}(\omega)$.

Таким образом, решение системы (2), с компонентами, определяемыми (7) и (8), решает задачу расчёта коэффициентов фильтра при задании автокорреляционной функции искаженного процесса,

частотной характеристики искажающего устройства, числа коэффициентов НЦФ и шага дискретизации T_0 .

Таким образом, предлагаемый подход позволяет построить фильтр Винерова типа, который обеспечивает оптимальную в среднеквадратическом смысле, погрешность восстановления случайного сигнала.

Ограниченность построения винеровских фильтров состоит в необходимости задавать взаимную корреляционную функцию процессов на входе и выходе такого фильтра. Однако, если известна линейная модель преобразования, то выражение для расчета этой функции можно вывести аналитически, или, в крайнем случае использовать выражение для численного интегрирования.

Целью настоящих исследований является изучение предлагаемого подхода путём математического и имитационного моделирования.

Вывод расчётных выражений для моделирования

Пусть устройство, вносящее искажения, описывается как апериодическое звено первого порядка во временной и частотной областях

$$h(\tau) = \frac{C}{\tau_f} e^{-\frac{\tau}{\tau_f}}, \quad \tau \geq 0, \quad (9)$$

$$\tilde{h}(\omega) = \frac{C}{1 + j\omega\tau_f},$$

где C – коэффициент усиления или ослабления сигнала при прохождении системы, τ_f – постоянная времени искажающего фильтра. Пусть на его вход поступает случайный процесс, которому соответствуют корреляционная функция и плотность спектра мощности вида

$$B_x(\tau) = \sigma^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_x}},$$

$$S(\omega) = \frac{\sigma^2}{\pi} \cdot \frac{\tau_x}{1 + (\omega\tau_x)^2}, \quad (10)$$

где σ^2 – мощность исходного процесса $x(t)$, τ_x – его характерный временной масштаб. Реализации такого процесса обладают хаотичностью. Вычислим компоненты системы (2) для этого частного случая.

Подставим (9) и (10) в (7). Получим, после ряда преобразований, корреляционную функцию процесса (3) на выходе искажающего фильтра, описываемого (9):

$$B_y(\tau) = C^2 \sigma^2 \begin{cases} \frac{1}{\tau_f^2 - \tau_x^2} \left[\tau_f \tau_x e^{-\frac{|\tau|}{\tau_f}} - \tau_x^2 e^{-\frac{|\tau|}{\tau_x}} \right], & \tau_f \neq \tau_x, \\ \left[\frac{1}{2} - \frac{|\tau|}{\tau_f} \right] e^{-\frac{|\tau|}{\tau_f}}, & \tau_f = \tau_x. \end{cases} \quad (11)$$

Введя безразмерные обозначения

$$\omega_c = \frac{1}{\tau_f}; \quad \beta = \omega_c T_0 = \frac{T_0}{\tau_f}; \quad \gamma = \omega_c \tau_x = \frac{\tau_x}{\tau_f}, \quad (12)$$

преобразуем (11) к окончательному выражению для расчётов

$$\frac{r[n, k]}{C^2 \sigma^2} = \begin{cases} \frac{\gamma - \gamma^2}{1 - \gamma^2} e^{-|n-k| \frac{\beta}{\gamma}}, & \gamma \neq 1, \\ \left[\frac{1}{2} - |n-k| \frac{\beta}{\gamma} \right] e^{-|n-k| \frac{\beta}{\gamma}}, & \gamma = 1, \end{cases} \quad n = \overline{0, N-1}, \quad k = \overline{0, N-1}. \quad (13)$$

Аналогично выведем выражение для расчёта взаимной корреляционной функции сигналов $x(t)$ и $y(t)$. С этой целью подставим в (8) определения (9) и (10). После ряда преобразований получим запись

$$B_{xy}(\tau) = C \sigma^2 \begin{cases} \tau_x \left[\frac{1}{\tau_\phi - \tau_x} \left(e^{-\frac{|\tau|}{\tau_\phi}} + e^{-\frac{|\tau|}{\tau_x}} \right) - \frac{1}{\tau_\phi + \tau_x} e^{-\frac{|\tau|}{\tau_\phi}} \right], & \tau_\phi \neq \tau_x, \\ \left[\frac{|\tau|}{\tau_\phi} + \frac{1}{2} \right] e^{-\frac{|\tau|}{\tau_\phi}}, & \tau_\phi = \tau_x, \end{cases}$$

которая, с учётом (12), преобразуется к виду, удобному для расчётов

$$\frac{w[n]}{C \sigma^2} = \begin{cases} \frac{\gamma}{1 - \gamma} \left(e^{-|m-n| \beta} + e^{-\frac{|m-n| \beta}{\gamma}} \right) - \frac{\gamma}{1 + \gamma} e^{-|m-n| \beta}, & \gamma \neq 1, \\ \left[|m-n| \beta + \frac{1}{2} \right] e^{-|m-n| \beta}, & \gamma = 1, \end{cases} \quad n = \overline{0, N-1}. \quad (14)$$

Теперь допустим, что случайный сигнал на входе искажающего фильтра обладает более гладкими, по сравнению с процессом (10), реализациями, и описывается следующим образом

$$B_x(\tau) = \sigma^2 e^{-\frac{\pi}{4} (\omega \tau_x)^2}, \quad (15)$$

$$S_x(\omega) = \frac{\sigma^2 \tau_x}{\pi} e^{-\frac{1}{\pi} (\omega \tau_x)^2}.$$

В результате подстановки (15) в (7) и (8) получим формулы

$$B_y(\tau) = \frac{C^2 \sigma^2 \tau_x}{\tau_f} e^{\frac{1}{\pi} \left(\frac{\tau_x}{\tau_f} \right)^2} \left[2 \operatorname{ch} \left(\frac{|\tau|}{\tau_f} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{\tau_x}{\tau_f \sqrt{\pi}} - \frac{|\tau|}{2 \tau_x} \sqrt{\pi} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{\tau_x}{\tau_f \sqrt{\pi}} + \frac{|\tau|}{2 \tau_x} \sqrt{\pi} \right) \right],$$

$$B_{xy}(\tau) = \frac{C\sigma^2\tau_x}{\tau_f} e^{-\pi\left(\frac{\tau}{2\tau_x}\right)^2} e^{-\frac{1}{4\pi} \frac{[\pi\tau_f|\tau|-2\tau_x^2]^2}{\tau_f^2\tau_x^2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{2\tau_x^2 - \pi|\tau|\tau_f}{2\sqrt{\pi}\tau_f\tau_x}\right).$$

На их основании, используя (12), выведем выражения для расчётов

$$\frac{r[n,k]}{C^2\sigma^2} = \gamma e^{\frac{\gamma}{\pi}} \left[2\operatorname{ch}(|n-k|\beta) - \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\pi}} - \frac{|n-k|\beta}{2\gamma}\sqrt{\pi}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{\gamma}{\sqrt{\pi}} + \frac{|n-k|\beta}{2\gamma}\sqrt{\pi}\right) \right],$$

$$\frac{w[n]}{C\sigma^2} = \gamma e^{-\pi\left(\frac{n\beta}{2\gamma}\right)^2} e^{-\frac{1}{4\pi} \frac{[\pi\beta-2\gamma^2]^2}{\gamma^2}} \operatorname{erfc}\left(\frac{2\gamma^2 + \pi\beta}{2\gamma\sqrt{\pi}}\right), n = \overline{0, N-1}, k = \overline{0, N-1}.$$

Сигналы, описываемые (10) и (15) относятся к «пограничным» моделям случайных процессов. Считается, что их реализации отличаются степенью хаотичностью. Процесс (10) (экспоненциальная корреляционная функция) при малых, стремящихся к нулю значениях τ_x , вырождается в некоррелированную последовательность. Напротив, процесс (15) (колоколообразная корреляционная функция) гладок, бесконечное число раз дифференцируем, с сильными, медленно убывающими статистическими связями. Гипотетически, реальные случайные процессы укладываются в этот диапазон, поэтому практически достаточно исследовать эти крайние случаи поведения случайных сигналов.

Для каждой модели случайного сигнала был проведён вычислительный эксперимент, результаты которого будут представлены на рисунках ниже и обсуждаться.

Вычислительные модели и эксперименты

Вычисления были организованы следующим образом. Сначала для моделей (10) и (13) проводилось решение системы (2). При этом параметры σ^2 и коэффициент усиления C были положены равными единице, значение m – равным нулю, так как характеристика (9) существует лишь при положительных значениях τ . Расчёты проводились для определения минимального значения (5) и соответствующего относительного оптимального шага дискретизации. Например, если выбрать значение параметра $\gamma = 0,8$ для обоих сигналов, а $N = 17$, то изменяя параметр β получим зависимости соответствующих минимальных среднеквадратических отклонений процесса $x(t)$ до искажения и восстановленного процесса. Кривые зависимостей показаны на **Рис.1**. Из приведённой иллюстрации видно, что случайному сигналу (10)

соответствуют значения $\frac{\beta}{\gamma} = \frac{T_0}{\tau_X} = 0,239$, $\frac{\varepsilon_{\min}^2}{\sigma^2} = 0,015$; а сигналу (15) –

$$\frac{T_0}{\tau_X} = 0,147, \frac{\varepsilon_{\min}^2}{\sigma^2} = 0,0496.$$

После определения оптимального относительного шага временной дискретизации, было осуществлено имитационное моделирование, схема которого показана на **Рис.2**.

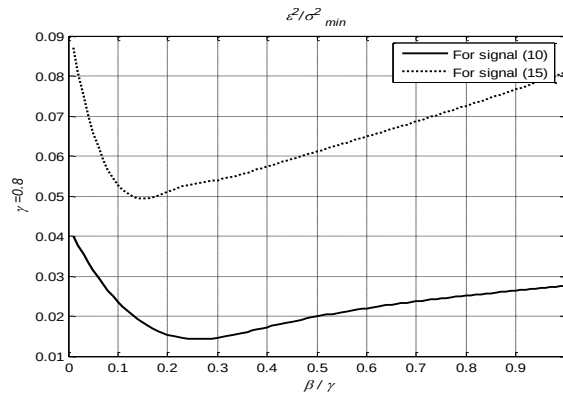


Рис.1 – Выбор оптимального шага дискретизации

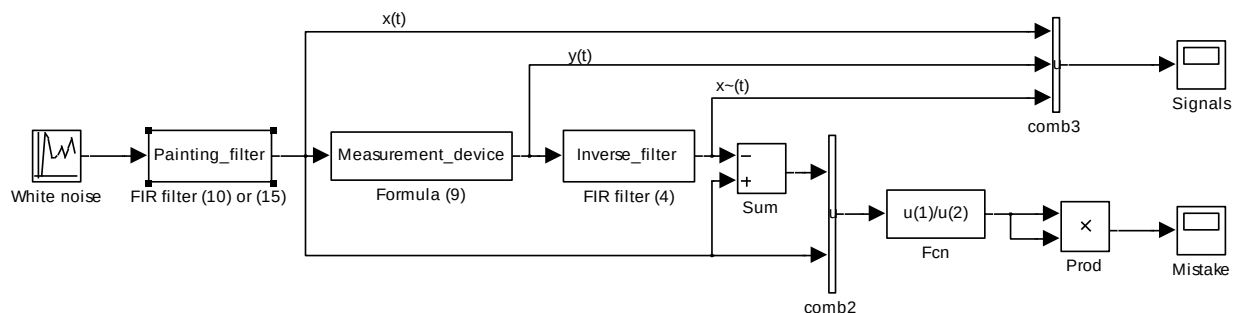


Рис.2 – Схема организации вычислительного эксперимента

В схеме используется окрашивающий фильтр (Painting Filter), коэффициенты которого представляют набор отсчетов $B_x\left(\frac{n\beta}{\gamma}\right), n = \overline{0, N-1}$.

На вход окрашивающего фильтра поступают псевдослучайные числа, равномерно распределённые на интервале (0, 1). В результате формируются числовые последовательности, обладающие статистическими свойствами сигналов (10) или (15). Сигнал с выхода окрашивающего фильтра, поступает на вход цифрового фильтра, моделирующего (9), после чего отсчёты $y(t)$ подвергались восстановлению по алгоритму (4). Погрешность восстановления вычислялась в каждой точке по формуле

$$\varepsilon^2 = \left[\frac{x(r\beta/\gamma) - \tilde{x}(r\beta/\gamma)}{x(r\beta/\gamma)} \right]^2, \quad r = 0, 1, 2, \dots, \quad (16)$$

хотя корректные результаты она даёт, начиная со значения $r = N + 1$, когда в НЦФ закончится переходный процесс.

Результаты работы инверсного фильтра для различных случайных сигналов показаны на рисунках 3 и 4, а диаграмма погрешностей работы – на **Рис.5**. Представлены выборки значений сигналов, соответствующие установившемуся режиму работы, при $r > 17$.

Из приведённых иллюстраций следует, что синтезированный фильтр успешно справляется с поставленной задачей.

Выводы. 1. Для линейной модели искажающего устройства представляется возможным рассчитать цифровой фильтр, оптимальный в винеровском смысле.

2. Минимальная погрешность восстановления (6) достигается путём подбора числа коэффициентов и шага дискретизации.

3. Текущая погрешность (16) имеет такой же порядок малости, что и теоретически рассчитанная погрешность (6)

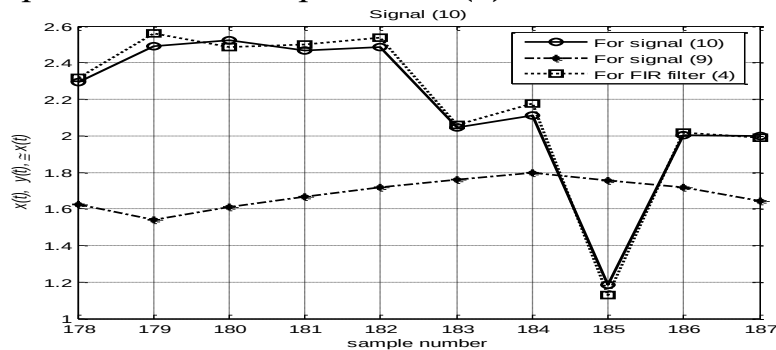


Рис.3 – Инверсный фильтр сигнала, описываемого (10)

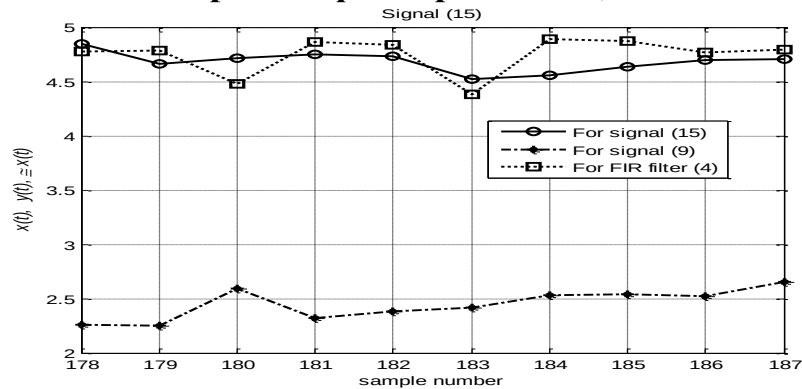


Рис.4 – Инверсный фильтр сигнала, описываемого (15)

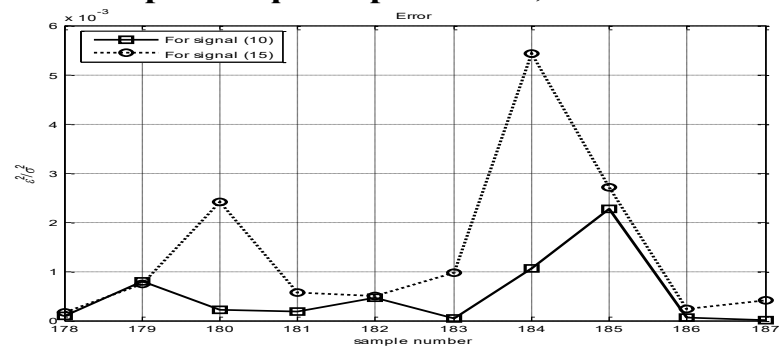


Рис.5 – Фактические погрешности восстановления процессов

Библиографический список

1. Крутько, П.Д. Симметрия в автоматических системах и алгоритмах управления / П.Д. Крутько, Е.Н. Попов // Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. – 1979. – № 1. – С. 161 – 167.
2. Петров, О.А. Построение алгоритмов управления как обратная задача динамики / О.А. Петров, П.Д. Крутько, Е.Н. Попов // ДАН СССР, 1979. т. 247, № 5. – С. 1078 – 1080.

3. Каппелини, В. Цифровые фильтры и их применение / В. Каппелини, А. Дж. Константинидис, П. Эмилиани. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.
4. Введение в цифровую фильтрацию / Под. ред. Р. Богнера и А. Дж. Константинидиса. – М.: Мир, 1976. – 216 с.
5. Карлусов В.Ю. Цифровой фильтр многолучевого канала / В.Ю. Карлусов // Новая наука: теоретический и практический взгляд: Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции (14 мая 2016 г, г. Нижний Новгород). / в 2 ч. Ч.2 - Стерлитамак: АМИ, 2016. – С. 179 – 187.

Bibliograficheskiy spisok

1. Krutko P.D. Simmetriya v avtomaticheskikh sistemah i algoritmah upravleniya / P.D. Krutko, E.N. Popov // Izv. AN SSSR. Tehn. Kibernetika. – 1979. – # 1. – S. 161 – 167.
2. Petrov O.A. Postroenie algoritmov upravleniya kak obratnaya zadacha dinamiki / O.A. Petrov, P.D. Krutko, E.N. Popov // DAN SSSR, 1979. t. 247, # 5. – S. 1078 – 1080.
3. Kappellini V. Tsifrovyye filtry i ih primeneniye / V. Kappellini, A. Dzh. Konstantinidis, P. Emilian. – М.: Energoatomizdat, 1983. – 360 s.
4. Vvedeniye v tsifrovuyu filtratsiyu / Pod. red. R. Bognera i A. Dzh. Konstantinidisa. – М.: Mir, 1976. – 216 s.
5. Karlusov V.Yu. Tsifrovoy filtr mnogoluchevogo kanala / V.Yu. Karlusov // Novaya nauka: teoreticheskiy i prakticheskiy vzglyad: Mezhdunarodnoye nauchnoye periodicheskoye izdaniye po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (14 maya 2016 g, g. Nizhniy Novgorod). / v 2 ch. Ch.2 - Sterlitamak: AMI, 2016. – S. 179 – 187.

Карлусов Вадим Юрьевич канд. техн. наук, доц., kvyyu_2015@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет, кафедра Информационных систем,

Рассказов Сергей Вениаминович, канд. физ.-мат. наук, доц., rasskazovs2015@rambler.ru, Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет, кафедра Социологии управления и планирования.

INVERSE DIGITAL FILTER IN THE MEASUREMENT SYSTEM

V. Yu. Karlusov, S. V. Rasskazov

In the article, going is examined near the construction of inverse digital filter, that restores an initial signal from the signal distorted at passing of the linear system. Procedure of construction envisages the uses of information about the model of statistical structure of the processed signal and model of distorting device. Approach is illustrated on the example of models of signals with different statistical properties and distorting devices type aperiodic link of 1th order, that

really describes RC-chainlet widely applied in the measuring systems of different family. Got in the analytical type of expression for the calculations of coefficients, charts over of design and results are brought.

Key words: Finite Impulse Response filter (FIR filter), The filter synthesis, Random signal (process).

Karlusov Vadim Yur'evich – candidate of technical sciences, associate professor, kvyu_2015@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University (33, University St., Sevastopol, 299053), Department of Informational System

Rasskazov Sergey Veniaminovich, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, rasskazovs2015@rambler.ru, Russia, Saint Petersburg, Saint Petersburg State University(7 – 9, University embankment, Saint Petersburg, 199034), Department Sociology of management and planning

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Михеев А.В.¹, Албагачиев А.Ю.¹, Керопян А.М.².

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований по разработанному методу регистрации быстротекущих тепловых процессов при сверлении. Экспериментальные данные обработаны с использованием регрессионного моделирования. Предложена математическая модель теплообразования.

Ключевые слова. Эксперимент, сверление, тепловой процесс, регрессионное моделирование, теплообразование.

Известно, что температура генерируемая при обработке является причиной низкой стойкости сверл. Актуальность проблемы исследования температуры при сверлении очевидна.

С целью исследования зависимости распределения и динамики изменения температур при сверлении от подачи и скорости вращения впервые разработан метод сверления горячих спаев хромель-копелевых термопар. Диаметр сверл ($D=0,5\text{мм}$) выбирался меньше диаметра рабочей области термопары ($D=3\text{мм}$) для того, чтобы продолжать получать данные после того как термопара будет просверлена, в отличии от метода с перерезаемой термопары. Измерение распределения температур по глубине отверстия производилось двумя склеенными термопарами, просверливаемыми последовательно. Толщина каждой термопары составляла 0,5мм. Слой клея обеспечивал электрическую изоляцию термопар (Рис.1).

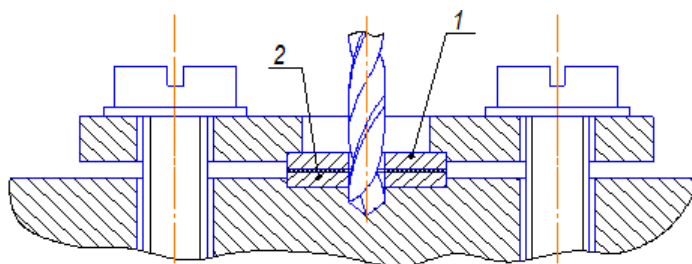


Рис.1- Схема сверления головок термопар 1 и 2

Регистрация и запись сигналов с термопар осуществлялась при помощи системы сбора данных состоящей из двух идентичных инструментальных усилителей, согласующего устройства SCB-68 и 16 разрядного аналого-цифрового преобразователя NI PCI-6221, подключённого к персональному компьютеру (Рис.2).

Примечание:

1. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова (ИМАШ) РАН
2. Национальный Исследовательский Технологический Университет (НИТУ) «МИСиС»

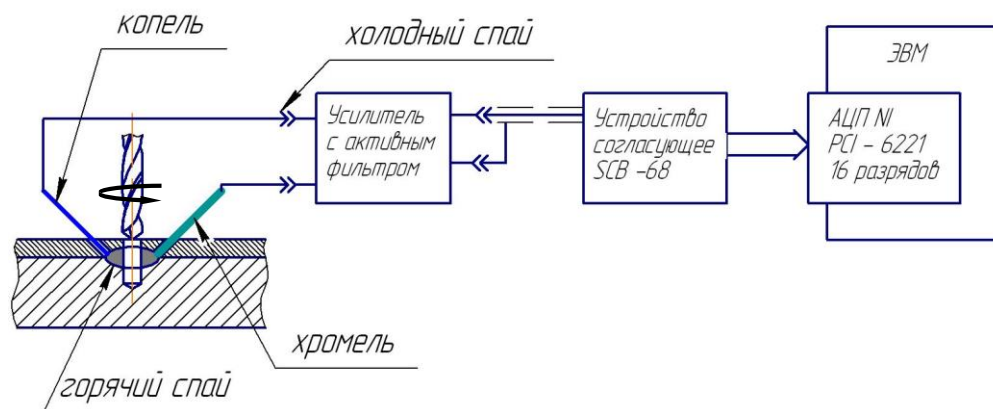


Рис. 2- Система сбора данных

Обработка (компенсация статических погрешностей и программная фильтрация) и анализ полученных данных производился с применением программного обеспечения Lab VIEW 8.5.

Динамическая и статическая калибровка измерительной системы произведена по двум точкам: кипение воды $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Рис.3а) и кристаллизация олова $239\text{ }^{\circ}\text{C}$, (Рис.3б). В результате чего определены коэффициент перевода напряжений в температуру и тепловая инерционность термопары.

а)

б)

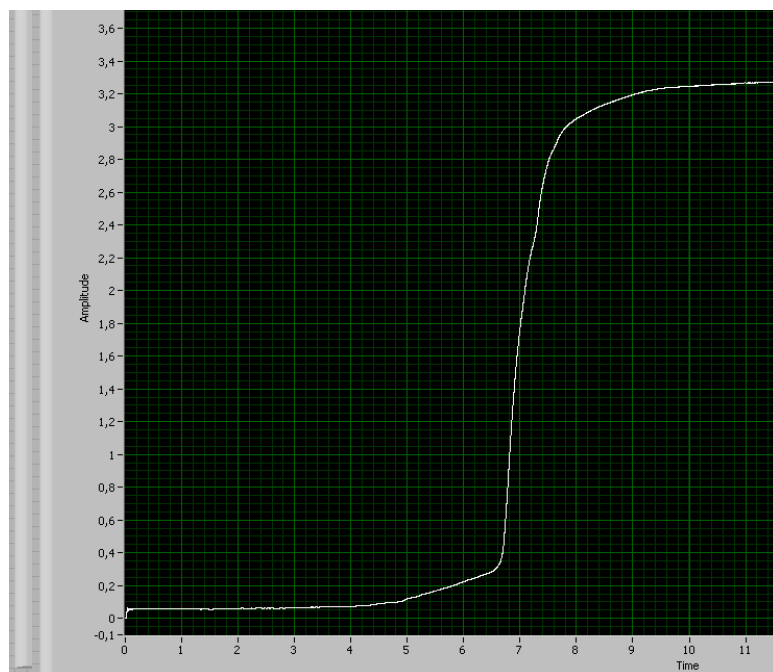


Рис.3 - Калибровка измерительной системы, а - 100°C , б - 239°C (вертикальная ось – напряжение на выходе усилителя в В; горизонтальная ось – время в с.).

По результатам калибровки определена чувствительность $0,015\text{ В}/^{\circ}\text{C}$, инерционность $0,005\text{ с}/^{\circ}\text{C}$.

Сверление осуществляли на настольном фрезерном станке с ЧПУ Kosy-2.

Для составления модели температурного режима был составлен ортогональный центральный композиционный план второго порядка, который предусматривает проведение девяти опытов при трёх уровнях каждого фактора (Таблица 1).

Таблица 1. - Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни			Интервалы варьирования
	+1	0	-1	
X_{1H} – частота вращения n , об/мин	10000	7500	5000	5000
X_{2H} – подача s , мм/сек.	0,3	0,1	0,1	0,2

Измеряемые величины: Y_1 – максимальная температура θ , °С; Y_2 – время нарастания температуры $t_{\max}$, с.

При расчёте коэффициентов уравнения регрессии применялись кодированные значения факторов, которые связаны с натуральными выражениями формулой:

$$X = \frac{X_H - X_{cp}}{\Delta X} \quad (1)$$

Где: X_{cp} – среднее значение фактора X ;

ΔX – интервал варьирования фактора X .

Матрица планирования и результаты опытов представлены в **Таблица 2.**

Таблица 2 - Кодирование и результаты опытов

№	X_0	X_1	X_2	$X_1 \times X_2$	$X_1^2 - 2/3$	$X_2^2 - 2/3$	Y_1	Y_2
1	+1	+1	+1	+1	+1/3	+1/3	166	2,25
2	+1	-1	+1	-1	+1/3	+1/3	172,6	2,25
3	+1	+1	-1	-1	+1/3	+1/3	226	3,4
4	+1	-1	-1	+1	+1/3	+1/3	146	4,5
5	+1	+1	0	0	+1/3	-2/3	240	3,25
6	+1	-1	0	0	+1/3	-2/3	112,6	2
7	+1	0	+1	0	-2/3	+1/3	169	2,25
8	+1	0	-1	0	-2/3	+1/3	186	4
9	+1	0	0	0	-2/3	-2/3	176,4	2,6

Графики изменения температуры для различных режимов резания приведены на **Рис.4, 5**

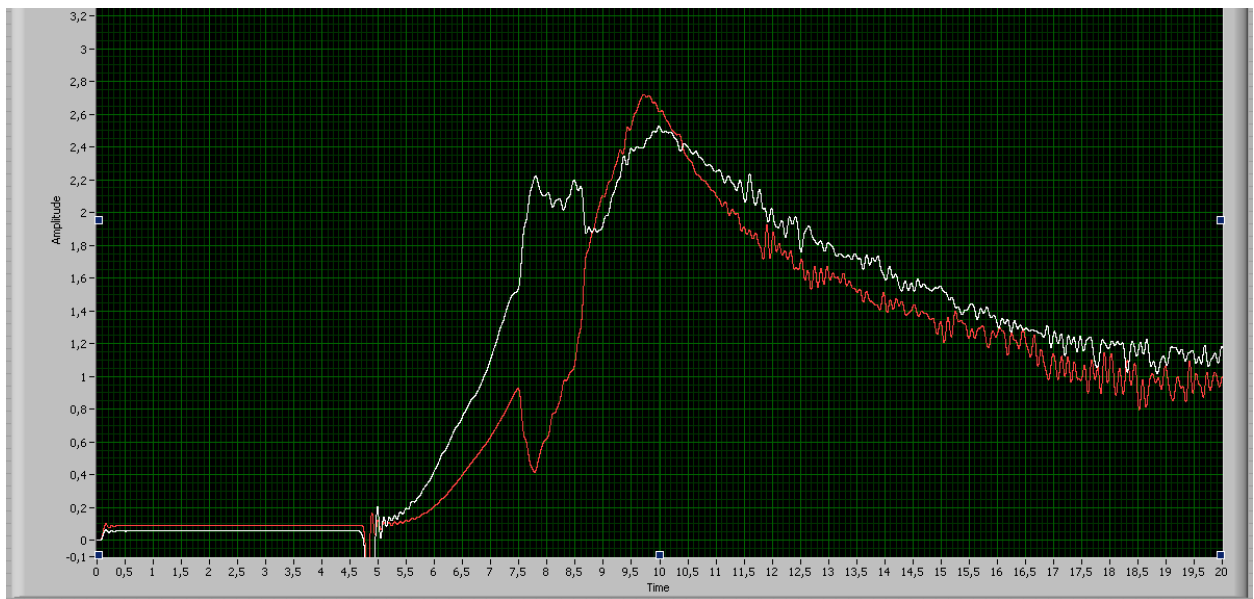


Рис.4. – Осциллограмма сверления при $n = 10000$ об/мин, $s = 0,1$ мм/с. Белый график – термопара 1, красный – термопара 2

На **Рис.4** показано, что при резком возрастании температуры термопары 1 (на отметке времени 7,5), вызванном переходом от врезания к сверлению полным диаметром сверла, происходит уменьшение интенсивности нагрева второй термопары вследствие увеличения доли тепла, уносимого стружкой. На отметке времени 8,6 происходит завершение сверления первой термопары и переход ко второй, где и достигается максимум температуры.

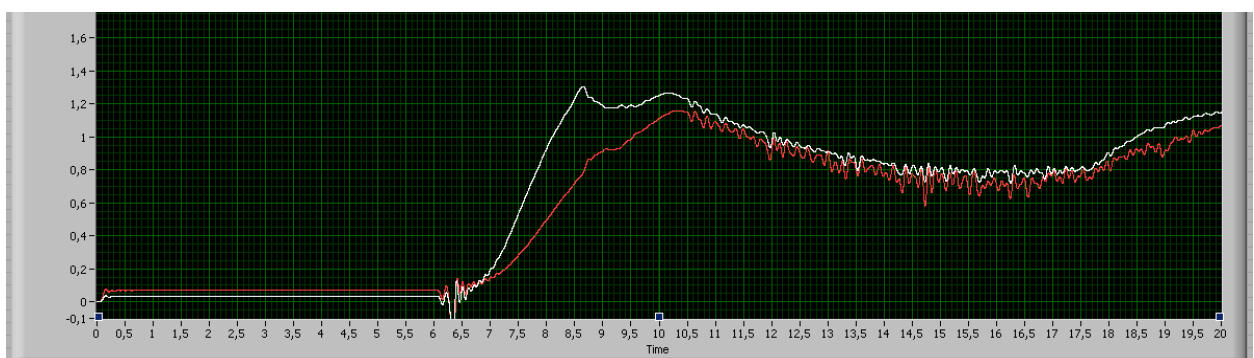


Рис 5 – Осциллограмма сверления при $n = 5000$ об/мин, $s = 0,2$ мм/с. Белая линия – термопара 1, красная линия – термопара 2

Из данных графика на **Рис.5** можно заключить, что при низкой частоте вращения и высокой подаче основное тепловыделение происходит в слоях, близких к поверхности из-за того, что тепло от второй термопары успевает отводиться через нижнюю плоскость к держателю.

Коэффициенты уравнения регрессии (кроме b_0) определялись по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^N x_{ij} y_j}{\sum_{j=1}^N x_{ij}^2}, \quad (2)$$

где: i – номер столбца матрицы; j – номер опыта; x_{ij} – элемент соответствующего столбца матрицы, y_i – значение выходного параметра в i опыте.

Коэффициент b_0 определяется по формуле:

$$b_0 = b'_0 - \beta \sum_{i=1}^N b_{ii}, \quad (3)$$

где: b'_0 – значение, полученное по формуле 2; β – коэффициент числа степеней свободы (для плана второго порядка функции двух переменных $\beta=2/3$); b_{ii} – коэффициенты, найденные для переменных, возведённых в квадрат.

Найденные по формулам 2 и 3 коэффициенты приведены в **Таблица 3**.

Таблица 3.

Выходные параметры	Коэффициенты уравнений регрессии						
	b'_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_0
Y_1	177,18	33,47	-8,4	-21,65	0.022	0.422	176,8
Y_2	2.944	0.025	-0.858	-0.6	-0.008	0.492	2.62

Полученные уравнения регрессии:

$$Y_1 = 88.2 + 16.733X_1 - 4.2X_2 - 10.825X_1 \cdot X_2 + 0.03X_1^2 + 0.633X_2^2$$

$$Y_2 = 2.62 + 0.025X_1 - 0.858X_2 - 0.6X_1 \cdot X_2 - 0.008X_1^2 + 0.492X_2^2$$

При переходе обратно к натуральным значениям факторов получили уравнения модели тепловыделения при сверлении:

$$\theta = 51.764 + 0.0055n + 53.857S - 0.11n \cdot S + 15.825S^2$$

$$t_{\max} = 3.09 + 0.012n - 4.71S - 0.0006n \cdot S + 12.3S^2$$

Коэффициенты при n^2 в обоих уравнениях менее 10^{-8} .

Адекватность полученных моделей оценивается с помощью критерия Фишера (сравнения расчетного и табличного значений):

$$F_P = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_{табл.}, \quad (4)$$

где: S_{ad}^2 – дисперсия адекватности; S_y^2 – дисперсия параметра оптимизации.

Для определения дисперсии параметров оптимизации дополнительно к 9 основным были проведены 4 дополнительных опыта по сверлению одной термопары с режимами резания $n = 10000$ об/мин, $s = 0,1$ мм/с. По результатам дополнительных измерений вычислены дисперсии воспроизводимости: $S_{y1}^2 = 192.3$ и $S_{y2}^2 = 0.0756$.

Дисперсия адекватности вычисляется по выражению:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum (y - y_j)^2}{f_2}, \quad (5)$$

где: f_2 – Число степеней свободы модели ($f_2 = 4$).

Вычисленные дисперсии адекватности: $S_{ad1}^2 = 685$; $S_{ad2}^2 = 6.62$.

Расчётные критерии Фишера: $F_{p1} = \frac{685}{192.3} = 3.57$; $F_{p2} = \frac{6.621}{1.036} = 6.39$ меньше табличного значения для уровня значимости $\alpha = 0.05$: $F_{табл} = 9.1$, следовательно, оба уравнения модели адекватны.

Таким образом, разработан автоматизированный метод экспериментального исследования температуры и регрессионная модель для ее расчетного определения, которые могут быть использованы при подборе оптимальных режимов мелкоразмерного сверления жаропрочных сплавов (с 80 процентным содержанием никеля как у хромеля и копеля)

Список литературы

1. А.Н. Резников "Теплофизика процессов механической обработки" – М.: Машиностроение, 1981.-279с.
2. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание материалов. -М.: Высшая школа, 1985.-304 с.
3. Даниелян А.М. Теплота и износ инструмента при резании металлов. –М.: Машгиз, 1954.-276 с.
4. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологического процесса. - М.: Машиностроение, 1981.-
5. Виноградов В.Н.,. Изнашивание при ударе/ В.Н. Виноградов, Г.М Сорокин., А.Ю. Албагачиев.- М.: Машиностроение, 1982.-193с.
6. Родин П.Р. Металлорежущие инструменты. –Киев : Высшая школа, 1974.-400 с.
7. Балыков А.В., Алмазное сверление отверстий. – М.: Наука и технологии, 2003.-98с

Bibliograficheskiy spisok

1. A.N. Reznikov "Teplofizika processov mekhanicheskoy obrabotki" – М.: Mashinostroyeniye, 1981.-279s.
2. Granovskij G.I., Granovskij V.G. Rezanie materialov. -М.: Vysshaya shkola, 1985. – 304 s.
3. Danielyan A.M. Teplota i iznos instrumenta pri rezanii metallov. М.: Mashgiz, 1954. – 276 s.

4. Spiridonov A.A. Planirovanie ehksperimenta pri issledovanii tekhnologicheskogo processa. - M.: Mashinostroenie, 1981.-
5. Vinogradov V.N., Iznashivanie pri udare/ V.N. Vinogradov, G.M Sorokin., A.YU. Albagachiev.- M.: Mashinostroenie, 1982.-193s.
6. Rodin P.R. Metallorezhushchie instrumenty. –Kiev : Vysshaya shkola, 1974.-400 s.
7. Balykov A.V., Almaznoe sverlenie otverstij. – M.: Nauka i tekhnologii, 2003.-98с

Михеев Александр Владимирович, научный сотрудник, Россия, город Москва, ИМАШ РАН

Албагачиев Али Юсупович, д-р техн. наук, проф. зав отделом, Россия, город Москва, ИМАШ РАН

Керопян Амбарцум Мкртичевич, д-р техн. наук, проф. кафедры ИТО Россия, город Москва, Национальный Исследовательский Технологический Университет (НИТУ) «МИСИС».

AUTOMATED TEMPERATURE CONTROL WHEN DRILLING

Mikheev A., Albagachiev A., Keropyan A.

This paper presents an experimental results on the developed method of recording rapid thermal processes during drilling. The experimental data were processed using regression modeling. Was developed the mathematic model of thermal processes during drilling.

Keywords: experiment; drilling; thermal process; regression model; heat release

Mikheev Alexander nauczycieli IMASH RAN Russia, Moscow

Albagachiev Ali Yusupovich, doctor of engineering. PhD, Professor head of the Department of IMASH RAN Russia, Moscow

Keropyan Ambartsum Mkrtimevic -candidate of economic science, doctor of engineering. Sciences, Professor of the chair of ITO Russia, Moscow, national Research University of Technology (nust) "MISIS".

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал
Выпуск №2, 2018 г.

Рубрики в соответствии с номенклатурой научных специальностей:

05.13.00 Информатика, вычислительная техника и управление

05.11.00 Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы

05.02.00 Машиностроение и машиноведение

Адрес редакции:

299053, г. Севастополь, ул. Университетская д. 33.

Телефон редакции: 8(692)550077

<https://www.sevsu.ru/nauka/pechat-izdaniya/item/3655-avtomatizatsiya-i-izmereniya-v-mashinopriborostroenii>

e-mail: appr.sevgu@yandex.ru

Публикуемые материалы прошли процедуру рецензирования и экспертного отбора. Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, данных, имен собственных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственности за нарушение авторами исключительных прав на результаты интеллектуальной деятельности третьих лиц. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с позицией авторов статей. При перепечатке материалов ссылка на научный журнал «Автоматизация и измерения в машино- приборостроении» обязательна.

Учредитель и издатель: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
299053, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Университетская 33.