

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

№4
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., Шпаковский Н.А.* Особенности алгоритмов решения изобретательских задач и софта для поддержки процессов проектирования средств автоматизации инструментами отсм-триз-технологий. **3**
- Филипович О.В., Балакин А.И., Чаленков Н.И.* Аналитическая оценка погрешности позиционирования рабочего органа многофункционального SCARA-модуля **17**

Секция «Моделирование автоматизированных
производственных систем»

- Вожжов А.А.* Расчётная динамическая модель системы «инструмент – деталь» при фасонном точении **26**
- Горелова А. Ю., Кристалль М. Г.* Компьютерное моделирование процесса формирования погрешностей обработки при глубоком растачивании гильз гидроцилиндров **33**
- Худадова А.К.* Ранжирование университетов на основе нечётких методов многокритериальной оценки показателей их конкурентоспособности **39**
- Заморёнова Д.В., Заморёнов М.В.* Имитационная модель процесса функционирования системы облачного хранения данных **49**
- Копп В.Я., Заморёнов М.В., Чаленков Н.И.* Фазовое укрупнение полумарковской системы, состоящей из двух последовательно соединённых технологических ячеек **56**

Секция «Системы управления и информационные технологии
в современном производстве»

- Шихалиева Г.М.* Прогнозирование кредитоспособности юридических лиц на основе нечёткого моделирования временных рядов их финансовых показателей **67**
- Сулейманова А.Н.* Информационно-аналитическая поддержка процесса маркирования документов с применением нечёткого анализа конфиденциальности сведений **78**

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

- Корнеев В.А.* Устройство для определения прочностных свойств горных пород экспресс-методом **88**

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

УДК 658.512.2(075.8)

ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМОВ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ И СОФТА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАМИ ОТСМ-ТРИЗ-ТЕХНОЛОГИЙ

Карлов А.Г.¹, Шпаковский Н.А.²

***Аннотация.** Представлена информация об особенностях различных алгоритмов решения изобретательских задач и софта для поддержки процессов проектирования средств автоматизации инструментами ОТСМ-ТРИЗ-технологий. Значительное внимание уделено различиям процессов создания проектов автоматизации на базе типовых решений с применением классических способов оптимизации параметров проектируемых изделий и технологий и на основе процедур целевого изобретательства, когда требуется разработка инновации. Приведено сравнение различных программных продуктов для поддержки процессов изобретательского мышления. Более подробное внимание уделено софту Solving Mill и результатам его применения при создании инновационных решений.*

***Ключевые слова.** Технология инновационного проектирования, прорывные исследования, Продвинутый Мастер Проектирования Инноваций (Advanced Master in Innovative Design), Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), Общая теория сильного мышления (ОТСМ), Алгоритм исправления проблемных ситуаций (АИПС).*

В настоящее время ведущие мировые лидеры бизнеса делают все, чтобы постоянно создавать глобально конкурентные технологии и системы автоматизации. Только такой путь позволяет достичь максимально высоких темпов роста производительности технологических процессов и их эффективности. Для этого компании реализуют свою научно-технологическую и инновационную политику. Цель таких комплексных мер — стимулирование разработки и внедрения передовых технологий, производительность которых существенно превышает характеристики традиционных. [1].

Российская Федерация должна перейти к новой модели развития, фундаментом которой станут высокотехнологичные индустрии, основанные на научных знаниях и инновационных технологиях. Речь идет о запуске большого национального проекта (программы) «Российская технологическая революция» [1].

Для реализации этого национального проекта нашей стране нужны кадры высшей творческой квалификации, способные генерировать радикальные инновационные проекты, дающие возможность реализовывать свои оригинальные глобально конкурентные прорывные технологии.

Каждая промышленная революция задает новые требования к человеческому капиталу и системам подготовки и образования. Стоит внимательно разобраться, почему на протяжении последних десяти лет — мощнейшее внедрение в образовательный процесс технологий мышления получила ТРИЗ. Эти технологии решения изобретательских задач Альтшуллера Г.С. используют в настоящее время уже в ста американских университетах [2].

Автором ТРИЗ, его соратниками и учениками созданы важнейшие элементарные методы – инструментарий ТРИЗ. К ним относятся: многоэкранная схема мышления изобретателя, эффекты (физические, математические, химические, биологические), изобретательские стандарты, вепольный анализ, изобретательские приемы. Кроме этого инструменты ТРИЗ включают в себя: функциональный анализ, оператор РВС (Размер, Вес, Стоимость), метод ММЧ (Метод Маленьких Человечков).

В последние три десятилетия появляются новые ветви Древа Эволюции Технологий инновационного мышления. Это новые авторские алгоритмы для поддержки изобретательского процесса и софт на их основании. Наиболее известный из этих алгоритмов – АРИЗ-85В. Его автор Альтшуллер Г.С. [3]. Что такое АРИЗ? Если коротко, то это «Алгоритм решения изобретательских задач» - комплексная программа алгоритмического типа. Она основана на законах развития технических систем и предназначена для анализа и решения изобретательских задач. АРИЗ возник и развивался вместе с Теорией Решения Изобретательских Задач (ТРИЗ). Первоначально АРИЗ назывался "методикой изобретательского творчества".

Многие начинающие изобретатели и опытные уже специалисты читали эту классику ТРИЗ, но не все сумели применить АРИЗ и получить эффективное решение своих задач. Изучать методику изобретательства и применять на практике эти знания не так просто. Именно по этой причине многие решатели останавливаются при выборе инструментария решения проблем на таблице разрешения технических противоречий. Посредством этого инструмента на практике получено немало решений, но наиболее трудные, нестандартные задачи порой не решаются посредством относительно простых инструментов ТРИЗ.

Свои авторские варианты развития АРИЗ разработали и опубликовали многие соратники и ученики Генриха Сауловича Альтшуллера. Остановимся только на некоторых из них и коротко охарактеризуем их творческие достижения.

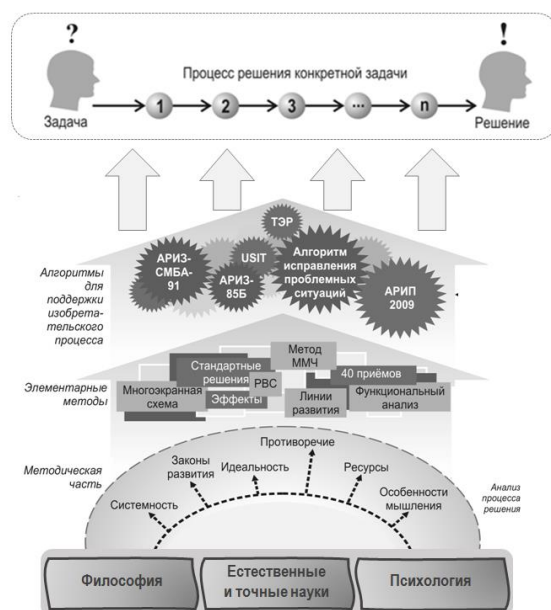


Рис.1 – Структура ТРИЗ и авторские алгоритмы поддержки изобретательского процесса, развивающие ТРИЗ [7]

Алгоритмы описывают последовательность действий по решению задачи и указывают, какие именно методы следует применять для выполнения этих действий. Существует много алгоритмов для решения задач различного уровня сложности, которые различаются подходами, применяемыми инструментами и степенью проработки. Решатель выполняет последовательность действий, выбрав из алгоритмов те, что соответствуют его собственному стилю мышления.

На **Рис.1** представлена структура ТРИЗ, она имеет сходство с Деревом Эволюции инструментов и систем инновационного проектирования. Корни этого Древа – философия, естественные и точные науки, психология. Из этих корней вырос мощный ствол и базовые ветви современной системы технологий инновационного проектирования.

Важнейшие составляющие ствола этого Древа Эволюции - методическая часть, инструменты процесса решения. Доминирующий вклад в создание этого ствола и многих ветвей Древа, конечно, внес создатель ТРИЗ – Генрих Саулович Альтшуллер. Он обосновал и сформулировал в своих работах системность развития всех артефактов, которые созданы людьми в процессе развития, Законы Развития Технических Систем (ЗРТС), понятие идеальности процессов развития техники и технологий. Им разработаны классификация противоречий развития проектируемых устройств и технологий, технологии их разрешения, классификация ресурсов при поиске решений проблем и алгоритмы работы с ними, особенности мышления изобретателя, влияние психологической инерции решателя и методы ухода от влияния этого фактора. Вклад создателя ТРИЗ в развитие ствола и ключевых веток Древа Эволюции, которое мы анализируем, никто в мире не оспаривает.

Но известны и алгоритмы других авторов. Среди алгоритмов, отображенных на **Рис.1**, отметим некоторые. Это, например, АРИП 2009 – «Алгоритм решения инженерных проблем». Его разработал соратник и ученик Альтшуллера Г.С., инженер Иванов Г.И. [4]. Этот алгоритм вполне доступен и

«новичкам-рационализаторам» самостоятельно, чтобы решать многие текущие производственные проблемы, а также молодым инженерным кадрам, студентам, которые увлечены техническим творчеством. Текст «АРИП» опубликован в интернете. АРИП доходчиво изложен, этот алгоритм не требует подробного «изучения ТРИЗ», иногда «выдает» простые эффектные решения проблемы за счет «бесплатных» окружающих ресурсов.

Очень интересен взгляд и творчество, направленные на совершенствования ТРИЗ-инструментов и АРИЗ известного Мастера ТРИЗ Подкатилина А.В. Он также последователь идей и технологий мышления, которые предложил всему миру Альтшуллер Г.С. Однако он поставил и успешно решил свои задачи совершенствования наследия создателя ТРИЗ. Комплекс его работ обобщенно называется ТЭР – «Теория Эффективных Решений» [5]. Подкатилин А.В. известный в мире специалист по ТРИЗ, член Международной ассоциации ТРИЗ; «Мастер ТРИЗ». Как отмечает в своих публикациях Подкатилин А.В., ТЭР успешно применяется уже более 30 лет. Автор ТЭР провел множество трех – пяти – десятидневных семинаров по ТЭР от «Академии менеджмента и рынка» (ректор Каганов В.Ш.); «Института предпринимательства и инвестиций» (ИПИ) и др. - на множестве предприятий России; получено и реализовано несколько тысяч эффективных решений производственных проблем. В последние годы ТЭР применялась предприятиями «Алмаз-Антей», «Сухой»; «Геофизика-Космос», «Туполев». Консультации по ТЭР для «оборонки», а так же – для малого и среднего бизнеса, попавшего в беду - успешно продолжается и сегодня [5].

Таким образом, как утверждает Подкатилин А.В., развитие ТРИЗ продолжается; проблемы – решаются; недостатки – устраняются. В процессе развития ТРИЗ постепенно переходит на новую, более эффективную ступень – ТЭР. При этом - цели меняются. Если целью создания ТРИЗ было: «Нахождение изобретательской идеи», то целью создания ТЭР стало «Эффективное внедрение эффективной идеи» [5].

К большому сожалению, ТРИЗ в России сегодня на уровне системного применения в образовании и большинстве промышленных компаний практически не востребована. Авторы данной статьи могут подтвердить этот тезис своим личным опытом обучения ТРИЗ студентов и старшеклассников, консультациями и работой по ТРИЗ-обучению на ряде промышленных предприятий России [6,7,13].

Как же оптимизировать ментальные усилия при решении сложных изобретательских задач? Сегодня наработано множество алгоритмов и подходов к решению изобретательских задач. Выше мы привели только некоторые из подобных алгоритмов. Кроме отдельных инструментов, таких, как приёмы разрешения противоречий, стандартные решения изобретательских задач и другие, для поиска решений применяются развернутые алгоритмы, включающие сотни шагов и подшагов.

Самый простой трёхшаговый алгоритм предложил в своё время большой шутник от науки, известный физик Ричард Фейнман: запиши условие задачи; хорошенько подумай; запиши идею решения. Алгоритм, конечно, правильный.

Но возникает вопрос – о чем надо «хорошенько подумать» при решении изобретательской задачи?

Прежде всего, изобретательские задачи бывают самыми разными. Это и сравнительно простые задачи, в которых понятно, как устроена и работает улучшаемая система, и известно, что нужно сделать для устранения недостатка, непонятно только, как выполнить необходимые преобразования. Есть задачи с обострённым противоречием, где ситуация ясна, но решение задачи упирается в противоречивость требований. А есть и такие задачи, где к улучшению предлагается запутанная проблемная ситуация.

Работать со спектром разных по сложности задач, имея в распоряжении один алгоритм, довольно затруднительно. Простым алгоритмом можно решить простые задачи, а более сложные он не возьмёт. Если же применять сложный алгоритм для решения простых задач, приходится выполнять массу лишних действий, нерационально расходуя метальные усилия и другой ценный ресурс – время.

Попытки оптимизации ментальных усилий при решении изобретательских задач были предприняты в «Общей теории сильного мышления» (ОТСМ) [8,9,10,11]. Согласно подходу ОТСМ алгоритмы решения задачи («технологии» в терминологии ОТСМ) применяются по нарастающей сложности и эффективности. Это проиллюстрировано так называемой пирамидой Хоменко (Рис.2).

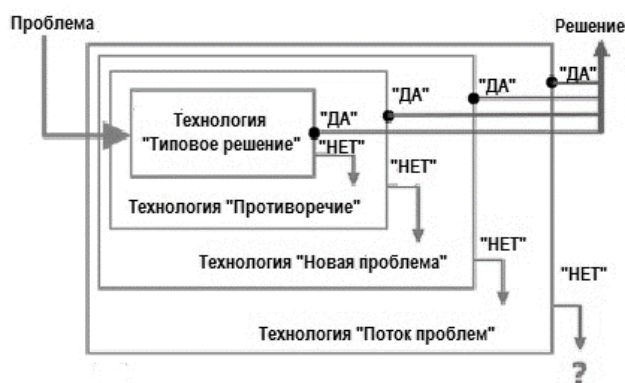


Рис.2 – Пирамида Хоменко

Автор ТРИЗ назвал новое направление её развития – Общая Теория Сильного Мышления (ОТСМ) и предложил начальные идеи по его разработке. В середине восьмидесятых годов прошлого века ученик и последователь Альтшуллера Г.С. - Николай Хоменко присоединился к этим работам и под руководством и регулярном непосредственном контакте с Автором ТРИЗ начал развивать предложенные начальные идеи. В 1997 году Г.С. Альтшуллер высоко и позитивно оценил достигнутые результаты по созданию первого поколения ОТСМ и ее инструментов и дал разрешение Николаю Хоменко использовать предложенный автором ТРИЗ термин ОТСМ для создаваемой им теории разработки универсальных инструментов разрешения сложных междисциплинарных проблемных ситуаций.

ОТСМ-ТРИЗ технологии позволяют выходить за пределы собственных знаний и могут служить языком междисциплинарного общения между специалистами самых разных областей деятельности. Цель этого общения –

коллективная работа над сложной многогранной проблемой. Такие чрезвычайно сложные проблемы и есть тот новый горизонт творчества, который открывается людям, успешно освоившим подходы ОТСМ-ТРИЗ как в теории, так и на практике.

Если дополнить пирамиду Хоменко практическими методами, получается такая ситуация. Начальный шаг, вершина пирамиды, это самая простая из технологий под названием «Типовое решение (проблемы)». Она предусматривает использование простых моделей и методов их преобразования. Это такие методы как аналогии, вепольный анализ и система стандартных решений, маленькие человечки и им подобные. Несмотря на простоту применяемых инструментов, здесь мы имеем все основные шаги решения задачи: построение ее модели, получение модели решения, компилирование списка требований к ресурсам и получение самой идеи решения.

Вторая технология, «Противоречие», предусматривает решение более сложных задач. В такой задаче содержится техническое или физическое противоречия, которые разрешаются с помощью приёмов Альтшуллера и принципов устранения физических противоречий.

Следующая технология называется «Новая проблема». Она предусматривает анализ исходной проблемной ситуации и формулировку задачи. Инструменты и методы, помогающие это сделать, следующие: построение моделей, объясняющих устройство и функционирование технических средств, выделение конфликта, определение его причин и выдвижение гипотез по их устранению. На основании этих гипотез формулируются задачи, которые решаются с использованием первых двух технологий.

Четвертая, самая развернутая технология называется «Поток проблем». Эта технология представляет собой многократное повторение технологии «Новая проблема» в ситуации, когда предложенное решение генерирует появление новых нежелательных эффектов. Технология «Поток проблем» предназначена для выстраивания финального решения из частичных концептуальных решений; для оценки этих решений и развития сети проблем на основе новой информации, полученной в процессе работы над проблемной ситуацией и построения решения.

В основе этой технологии лежат представления о процессе решения проблем как о процессе бесконечной эволюции систем, взаимодействующих друг с другом и формирующих друг для друга условия эволюции.

При решении задачи технологии, представленные в «Пирамиде», могут применяться по отдельности или последовательно.

Две первые технологии пирамиды Хоменко («Типовое решение» и «Противоречие») предназначены для работы с задачей, выделенной из проблемной ситуации. Рассмотрим обобщенный процесс решения задачи в соответствии с этими технологиями.

В ОТСМ-ТРИЗ применяют «Холмообразную схему Хоменко» для решения задач [9,10,11,12]. Представленная в ней последовательность действий предусматривает построение модели задачи и преобразование ее в модель

решения. Эти действия хорошо проработаны в ТРИЗ. Трудности возникают при переходе от модели решения к техническому решению задачи.

На этом шаге нужно правильно определить ресурсы, необходимые для решения задачи, и оптимальным образом встроить их в модель решения. Лучше делать это пошагово. Сначала нужно составить подробное описание требуемого ресурса, своеобразный «фоторобот ресурса», а затем найти ресурс (или совокупность ресурсов), который удовлетворяет этим требованиям.

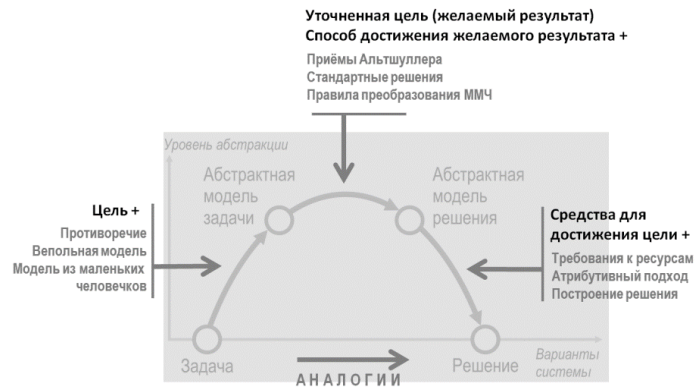


Рис.3 – «Холмообразная схема Хоменко» для решения задач [7]

При этом прослеживается такой порядок действий: «построить модель задачи — преобразовать её в модель решения — определить требования к ресурсу — сгенерировать решение» (Рис.3).

При построении модели задачи нам необходимо четко понимать цель ее решения, что нам надо получить в системе после решения задачи. Цель уточняется при помощи различных моделей, применяемых в ТРИЗ.

При переходе от модели задачи к модели решения цель надо еще раз уточнить, сформулировав желаемый результат (ЖР) преобразования уже на уровне оперативной зоны (ОЗ). Здесь же необходимо разобраться, каким способом предполагается достичь этого желаемого результата. Эвристические приемы, наработанные в ТРИЗ, служат для уточнения этого способа. Когда мы имеем модель задачи, ее надо конкретизировать, понять какие средства для выполнения способа достижения цели мы можем применить. То есть, речь идет о поиске необходимого ресурса. Здесь нам помогают список требований к ресурсам, атрибутивный подход и правила построения идеи решения.

Современный курс на цифровизацию экономики, на создание Умных Фабрик, Цифровых Двойников и т.п. не решает пока проблему автоматической генерации идей, способных стать патентами и трансформироваться в инновационный глобально конкурентный продукт.

Очевидно, что компьютеризированные базы данных или экспертные системы, построенные на базах знаний, не смогут привнести нового качества в технологии решения проблем, т.к. они ориентированы лишь на механизмы поиска среди уже известных решений. Ситуация осложняется еще и тем, что непрерывно появляются новые знания и новые области их применения. Может наступить время, когда отрасль родится и отомрет до того, как удастся построить экспертную систему или соответствующую базу данных [10].

Для технологии «Типовое решение» полная оптимизация и процесс принятия решений хорошо формализованы. Мы покажем, что использование, Автоматизация и измерения в машино- приборостроении: научный журнал, 2018

что ОТСМ-ТРИЗ решение проблемы может быть описано с использованием тех же самых элементов и сравнений. Рассмотрим возможность комбинированного использования этих двух подходов в процессе решения задачи. Рассмотрим последовательно ряд проблем проекта, требования которых обозначены на **Рис.4** параметры двух оценок при наличии альтернативы, обычно известны инженерам. предполагается, что набор технических альтернатив включают все типичные решения этого вида проблемы. эти решения описаны рядом значений параметров проекта.

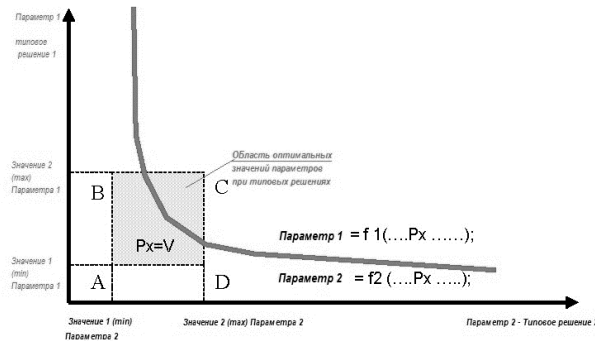


Рис.4 – Ситуация оптимизации параметров проектируемого объекта

Рассмотрим вторую ситуацию (**Рис.5**). Единственное отличие от предыдущей ситуации в том, что область параметров оценки ABCD не перекрывает область возможных решений определенных параметрами проекта. Отношение между параметрами оценки вследствие известных технических решений и объективных законов связи между параметрами, остаются тем же самым. Таким образом, нет вариантов найти решение при использовании этой модели отношения между параметрами оценки. Следовательно, требуется новая модель, которая позволит согласовать возникшие требования. Есть два главных подхода, которые могут быть реализованы совместно, для выполнения этого согласования.

Первый состоит в изменении наших оценок о предпочтениях, набора технических альтернатив и структуры системы. Второй метод состоит в изменении набора технических альтернатив и структура системы, расширяя знание и изобретая то, что называют в ТРИЗ термином «нетиповое решение». Применяя второй метод, мы имеем дело с ситуацией инновации. ОТСМ-ТРИЗ рекомендует осуществить второй подход управления процессом для того, чтобы учесть технические альтернативы и приспособить структуру системы к условиям «нетипового решения» [10].

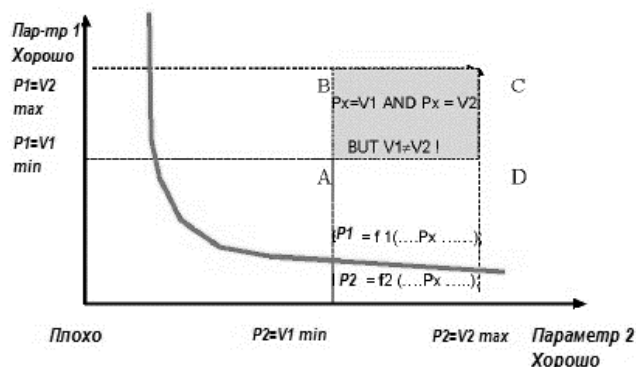


Рис.5 – Ситуация инновации проектируемого объекта

ОТСМ-ТРИЗ рекомендует, учитывая предпочтения, определить идеальность и представить начальную проблему через систему противоречий, которые позволят строить соответствующие новые техническую альтернативу и структуру системы. Как результат этого процесса, возникают новые графики зависимости между оценочными параметрами. Если они накладываются на область значений ABCD оценочных параметров, то снова возникает ситуации оптимизации.

Предыдущие примеры относительно отношений между параметрами оценки могут быть обобщены следующим образом: факт, что два параметра оценки связаны, означает, что, по крайней мере, действительно существует один общий параметр, который их связывает. Эти общие параметры должны быть определены, чтобы появились новые технические альтернативы и, наконец, новая структура системы. В нашем примере факт, что оценочные параметры EPI и $EPII$ связаны таким образом, что, по крайней мере, есть один общий элемент или параметр технической системы - P_x .

Возникают три дилеммы ТП1, ТП2 и ПП (технические противоречия ТП и противоречие параметра ПП технической системы):

ТП1: Когда значение Параметра II ($EPII$) + (хорошо) с точки зрения требования к технической системе, а значение Параметра I (EPI) - (плохо);

ТП2: Когда значение Параметра I (EPI) + (хорошо) с точки зрения требования к технической системе, а значение Параметра II ($EPII$) - (плохо);

ПП: Когда значение параметра технической системы P_x равняется $V1$, например для ТП1 это означает, что нет этого элемента в этой технической системе, но при этом значение P_x равно $V2$, что означает, что для ТП2 этот элемент есть в технической системе.

Дилемма ПП (противоречие параметра) касается выбора между двумя взаимно исключающими значениями одного и того же параметра из вариантов ТП1 и ТП2. Например, в проектируемой технической системе некий элемент конструкции должен быть и его одновременное не должно быть, чтобы появилось инновационное решение проблемы.

Стратегия ТРИЗ рекомендует находить решения, которые стремятся к ИКР (Идеальному Конечному Результату) настолько близко, насколько это возможно. ИКР становится целью и в подходах ОТСМ-ТРИЗ.

Дилемма ПП касается выбора между двумя взаимно исключающими значениями одного параметра, что приводит к двум вариантам ТП1 и ТП2, что на первый взгляд представляется невозможным. Например, в конструкции устройства крышка должна быть и ее не должно быть, чтобы родилось инновационное решение. Это парадоксально, но когда изобретатель находит такие решения, то они претендуют на реальное изобретение. На Рис.6 представлена подобная система противоречий в ОТСМ-ТРИЗ.

Чтобы проанализировать начальную ситуацию создания инновационного проекта с позиций ОТСМ-ТРИЗ подхода, рассмотрим ситуацию, представленную на Рис.7. Предположим, что есть два переговорщика I и II, каждый из которых пытается добиться утверждения в их общем проекте таких

значений параметров ЕРІ и ЕРІІ, которые для них наиболее желательны с точки зрения целесообразности каждой из сторон.

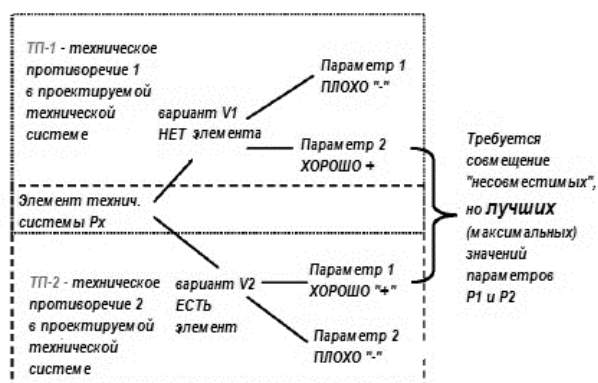


Рис.6 – Система противоречий в ОТСМ-ТРИЗ

Обсуждение и обобщение этих индивидуальных предпочтений каждого из переговорщиков приводит к появлению общей Начальной Зоны Возможных Соглашений (НЗВС), которая представлена на **Рис.7** прямоугольником ABCD. Кривая, которая накладывается на эту область, представляет параметры оценки из фактических доступных технологий.

Таким образом, точки ВІ и ВІІ - есть пункты, связанные с лучшими решениями для переговорщиков І и ІІ, соответственно. Часть кривой между ВІ и ВІІ представляет Зону Возможных Соглашений (ЗВС). Переговоры приведут к согласованному соглашению в ЗВС. Есть выбор: проект пойдет по пути оптимизации или возникнет инновационное решение.

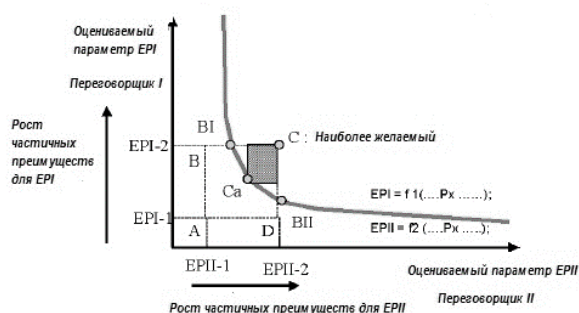


Рис.7 – Оптимизация или инновация?

Выбор варианта оптимизации ориентирует компанию на исследование существующих решений, аналогов проекта с обоснованием затрат на все последующие действия. В то время как инновация предполагает исследование с увеличением набора возможных решений. Способ объединить эти два пути эффективно в пределах разумных расходов остается нерешенным вопросом. Однако, применение методологии ОТСМ-ТРИЗ может привести к появлению перспективных инновационных решений [10]. Ускорить такой процесс может применение современных и эффективных программных продуктов процесса поиска инновационных решений.

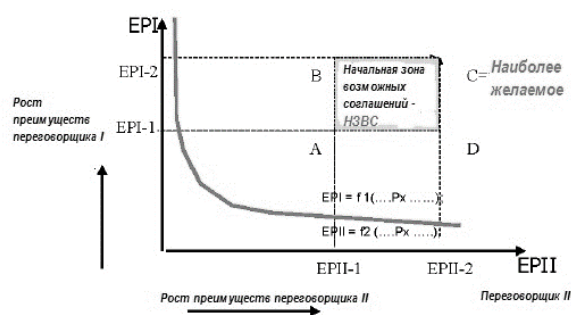


Рис.8 – Типичная ситуация для потенциальной инновации

На базе применения ОТСМ-ТРИЗ-технологий для решения проблем, АИПС (Алгоритма исправления проблемных ситуаций) разработан и успешно используется современный и эффективный софт Solving Mill. Этот программный продукт разработан авторами на русском языке, но имеются и применяются версии на английском и китайском [7].

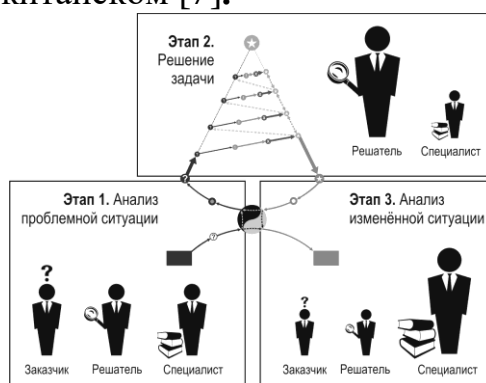


Рис.9 – Степень участия заказчика, решателя и специалиста на разных этапах алгоритма

Степень участия заказчика, решателя и специалиста на разных этапах применения алгоритма АИПС-2015 наглядно представлена на **Рис.9**. Одно из предназначений данного алгоритма – это организация такой работы команды, которая пробуждает активность в каждом участнике проекта. Следование логике алгоритма подталкивает к получению правильного ответа. И неважно, у кого первого созрела идея решения, всё равно это результат работы команды. Именно в сотрудничестве рождаются наиболее эффективные идеи.

Авторский коллектив, который разработал и применяет АИПС и софт Solving Mill, возглавляет представитель Минской школы ТРИЗ, Мастер ТРИЗ, к.т.н. Шпаковский Николай Андреевич [7]. Софт был многократно апробирован при решении проблем множества реальных производственных компаний. Среди них Samsung Electronics, Posco (Республика Корея) и другие.

Выводы:

1. Алгоритмы решения изобретательских задач впервые в мире были разработаны и применены на практике в нашей стране. Имеется значительное количество модификаций таких алгоритмов, которые разработали в России, Белоруссии, Израиле, США и других странах. Применение их дает значительное ускорение при создании инновационных технологий и техники.

2. Более эффективным средством для инновационного проектирования объектов является применение современных компьютерных программ

инновационного проектирования. В разных странах мира создано немало подобного программного обеспечения. Однако доступность значительного количества таких программ, созданных за рубежом, для отечественных компаний достаточно проблематична. Причин несколько. Это отсутствие версий на русском языке, высокая плата за обучение специалистов и значительный уровень цены за такой софт.

3. Считаю целесообразным и рекомендуем применять русскоязычный софт Solving Mill, который разработан на теоретической основе технологий ОТСМ-ТРИЗ и на методической основе АИПС-2015. Он доступен в режиме аккаунта и имеет конкурентно приемлемую цену за его использование как промышленными предприятиями, так и учебными заведениями.

Библиографический список

1. Новая технологическая революция: вызовы и возможности для России. Экспертно-аналитический доклад Центра стратегических разработок. Под научным руководством В.Н. Княгинина. МОСКВА, 2017. - 136 с. URL: <https://csr-nw.ru/2017/10/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf>
2. Щедровицкий П. Лекция в Уральском федеральном университете 12.12.2017. Почему российская экономика и образование не успевают за остальным миром. URL: https://www.znak.com/2017-12-12/petr_chedrovickiy_pochemu_rossiyskaya_ekonomika_i_obrazovanie_ne_uspevayut_za_ostalnym_mirom.
3. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения. «Московский рабочий», 1973, 296 с.
4. Иванов Г.И. Алгоритм решения инженерных проблем (АРИП-2009ПТ) – СПб.: ИПК "Нива", 2010, 108 с. с илл.
5. Подкатилин А.В. ТЭР (Технология Эффективных Решений). URL: http://www.smb-support.org/news/16_01_2003.htm.
6. Сидорчук Т.А., Хоменко Н.Н., Карлов А.Г. О проблемах и новых подходах к процессам развития креативного мышления начинающих изобретателей на базе ТРИЗ-ОТСМ-технологий в рамках проекта «Джонатан Ливингстон». Сборник научных статей "Причинные аспекты развития живых систем - IX". Под ред. В.П. Гоча. - Севастополь: Издатель Карпин, 2006, с. 302-309.
7. Шпаковский Н.А., Новицкая Е.Л. ТРИЗ. Практика целевого изобретательства. Учебник. - М.: Форум, 2011. - 336 с. - (Высшее образование).
8. Хоменко Н.Н. Решение проблем с позиций ОТСМ-ТРИЗ (50 стр.) / Архив Н.Н. Хоменко. Редакторы: Алла Нестеренко, Галина Терехова / Деп. в ЧОУНБ 20.10.12 № 3558. URL: <http://otsm-triz.org>.
9. Khomenko, N., «General Theory on Powerful Thinking (OTSM): Digest of Evolution, Theoretical Background, Tools for Practice and Some Domain of Application». Tokyo, 2010. URL: <http://jlproj.org>
10. Khomenko, N., De Guio, R. and Cavallucci, D. (2009) 'Enhancing ECN's abilities to address inventive strategies using OTSM-TRIZ', *Int. J. Collaborative Engineering*, Vol. 1, Nos. 1/2, pp.98–113.

11. Н. Хоменко, Дж. Кук. Решение изобретательской задачи с использованием модели из OTSM-ТРИЗ «КЛЕЩИ» URL: <http://otsm-triz.org>
12. Хоменко Н.Н., Аштиани М. Классическая ТРИЗ и OTSM как теоретическая основа инструментов для решения нестандартных проблем. / URL: http://www.jlproj.org/this_bibl/KNN_ETRIA.RUS11.pdf
13. Карлов А.Г. Совершенствование инструментов развития творческого мышления студентов и специалистов для повышения эффективности процессов инновационного проектирования техники и технологии. Журнал «Инновационная наука», №10-3, 2015, г. Уфа, РФ, с. 113-121.

Bibliograficheskiy spisok

1. Novaya tekhnologicheskaya revolyutsiya: vyzovy i vozmozhnosti dlya Rossii. Ekspertno-analiticheskiy doklad Tsentra strategicheskikh razrabotok. Pod nauchnym rukovodstvom V.N. Knyaginina. MOSKVA. 2017. - 136 s. URL: <https://csr-nw.ru/2017/10/novaya-tehnologicheskaya-revolutsiya-2017-10-13.pdf>
2. Shchedrovitskiy P. Lektsiya v Uralskom federalnom universitete 12.12.2017. Pochemu rossiyskaya ekonomika i obrazovaniye ne uspevayut za ostalnym mirom. URL: https://www.znak.com/2017-12-12/petr_chedrovickiy_pochemu_rossiyskaya_ekonomika_i_obrazovanie_ne_uspevayut_za_ostalnym_mirom.
3. Altshuller G.S. Algoritm izobreteniya. «Moskovskiy rabochiy». 1973. 296 s.
4. Ivanov G.I. Algoritm resheniya inzhenernykh problem (ARIP-2009PT) – SPb.: IPK "Niva". 2010. 108 s. s ill.
5. Podkatilin A.V. TER (Tekhnologiya Effektivnykh Resheniy). URL: http://www.smb-support.org/news/16_01_2003.htm.
6. Sidorchuk T.A., Khomenko N.N., Karlov A.G. O problemakh i novykh podkhodakh k protsessam razvitiya kreativnogo myshleniya nachinayushchikh izobretateley na baze TRIZ-OTSM-tekhnologiy v ramkakh proyekta «Dzhonatan Livingston». Sbornik nauchnykh statey "Prichinnyye aspekty razvitiya zhivykh sistem - IX". Pod red. V.P. Gocha. - Sevastopol: Izdatel Karpin. 2006. s. 302-309.
7. Shpakovskiy N.A., Novitskaya E.L. TRIZ. Praktika tselevogo izobretatelstva. Uchebnik. - M.: Forum. 2011. - 336 s. - (Vyssheye obrazovaniye).
8. Khomenko N.N. Resheniye problem s pozitsiy OTSM-TRIZ (50 str.) / Arkhiv N.N. Khomenko. Redaktyor: Alla Nesterenko. Galina Terekhova / Dep. v ChOUNB 20.10.12 № 3558. URL: <http://otsm-triz.org>.
9. Khomenko. N.. «General Theory on Powerful Thinking (OTSM): Digest of Evolution. Theoretical Background. Tools for Practice and Some Domain of Application». Tokyo. 2010. URL: <http://jlproj.org>
10. Khomenko. N.. De Guio. R. and Cavallucci. D. (2009) 'Enhancing ECN's abilities to address inventive strategies using OTSM-TRIZ'. Int. J. Collaborative Engineering. Vol. 1. Nos. 1/2. pp.98–113.
11. N. Khomenko, Dzh. Kuk. Resheniye izobretatelskoy zadachi s ispolzovaniyem modeli iz OTSM-TRIZ «KLEShchI» URL: <http://otsm-triz.org>
12. Khomenko N.N., Ashtiani M. Klassicheskaya TRIZ i OTSM kak teoreticheskaya osnova instrumentov dlya resheniya nestandartnykh problem. / URL: http://www.jlproj.org/this_bibl/KNN_ETRIA.RUS11.pdf

13. Karlov A.G. Sovershenstvovaniye instrumentov razvitiya tvorcheskogo myshleniya studentov i spetsialistov dlya povysheniya effektivnosti protsessov innovatsionnogo proyektirovaniya tekhniki i tekhnologii. Zhurnal «Innovatsionnaya nauka». №10-3. 2015. g. Ufa. RF. s. 113-121.

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

Шпаковский Н.А., к.т.н., Мастер ТРИЗ, triztrainer@gmail.com, научный руководитель компании Target Invention, г. Минск, Беларусь.

FEATURES OF ALGORITHMS OF THE DECISION OF INVENTIVE PROBLEMS AND SOFTWARE FOR SUPPORT OF PROCESSES OF DESIGNING OF MEANS OF AUTOMATION BY TOOLS OTSM-TRIZ-TECHNIQUES

Karlov A.G., Shpakovsky N.A.

The information on feature of various algorithms of the decision inventive problems and software for support of processes of designing of means of automation by tools of OTSM-TRIZ-TECHNOLOGIES is presented. The considerable attention is given distinctions of processes of creation of projects of automation on the basis of typical decisions with application of classical ways of optimization of parameters of projected products and technologies and on the basis of procedures of target invention when innovation working out is required. Comparison of various software products for support of processes inventive thinking is resulted.

Key words: technology of innovative designing, advanced researches, the Advanced Master of Designing of Innovations, TRIZ, the General theory of strong thinking (OTSM), Algorithm of correction of problem situations (AIPS).

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

Shpakovsky Nikolay Andreevich, Ph.D., The master of TRIZ, triztrainer@gmail.com, the research supervisor of company Target Invention, Minsk, Belarus.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО SCARA-МОДУЛЯ

Филипович О.В.¹, Балакин А.И.², Чаленков Н.И.³

Аннотация. Рассматривается функционирование многофункционального модуля на базе манипулятора типа SCARA (Selective Compliance Articulated Robot Arm), описываются его характеристики. Приводятся две возможные кинематические схемы манипуляторов данного типа, отличающиеся расположением привода вертикального перемещения. Разрабатывается математическая модель для каждой из представленных схем, позволяющая оценить точность позиционирования рабочего органа при учете составляющей погрешности, связанной с характеристиками приводов манипулятора. Приводятся результаты моделирования и перспективы дальнейших исследований.

Ключевые слова. Погрешность позиционирования, SCARA-модуль, рабочий орган, математическая модель.

Одной из основных технических характеристик промышленных роботов (ПР), определяющих возможность их использования для автоматизации технологических процессов, является точность, которая определяется отклонением фактического положения его рабочего органа (РО) от номинального положения, заданного управляющей программой. Количественную меру точности (погрешность позиционирования ПР) оценивают по разбросу положений РО при многократных реализациях программы и средней величиной отклонения реального положения РО от программного. Первая составляющая является случайной и называется повторяемостью, вторая – систематической, при этом для современных конструкций ПР вторая на порядок превышает первую. Точность ПР зависит от характеристик используемых приводов и датчиков обратной связи, точности геометрических параметров отдельных модулей, а также зазоров, образуемых при их соединении, структуры, кинематических и динамических показателей (длины отдельных звеньев, предельно допускаемые перемещения и углы поворота, параметры вынужденных и собственных колебаний элементов конструкции и время их затухания), вида процесса выработки управляющей программы и т.д. [1,2]. Методы определения и тестирования точности и повторяемости позиционирования промышленных манипуляционных роботов описаны в ГОСТ Р 60.3.3.1-2016 (ИСО 9283:1998).

В настоящее время исследованиям точностных характеристик ПР посвящено немало работ, в большинстве из которых рассмотрены вопросы анализа точности манипуляторов, имеющих заданную структуру [3...7]. Целью данной работы является аналитическое определение погрешности позиционирования рабочего органа многофункционального модуля, в основу которого положена кинематическая схема манипуляторов типа SCARA. Схемы

манипуляторов такого типа имеют следующие особенности [8]:

- оси кинематических пар расположены параллельно друг другу;
- звенья соединены в последовательную кинематическую цепь.
- используется бионический подход, схемы таких манипуляторов

аналогичны по кинематике человеческой руке.

Структуры SCARA обеспечивают промышленным роботам высокую манипулятивность и большой угол сервиса, вместе с тем они имеют и целый ряд недостатков, среди которых можно выделить низкий показатель грузоподъемность/масса манипулятора и относительно невысокую жесткость.

При проведении исследований точности под программными значениями обобщенных координат ПР понимают значения, найденные путем решения кинематических задач для заданного положения РО. Задачи кинематического анализа состоят в установлении связей между значениями обобщенных координат и положением его исполнительного устройства. Манипулятор при этом рассматривается как разомкнутая цепь, которая состоит из нескольких твердых звеньев, последовательно соединенных вращательными или поступательными сочленениями, приводимых в движение приводами. Задачи кинематики подробно рассмотрены в [1, 8...20] и подразделяются на прямую и обратную. Прямая задача заключается в определении координат РО при известных размерах звеньев механизма и заданных перемещениях отдельных приводов. Обратная задача состоит в определении перемещений отдельных приводов, при известных размерах звеньев и заданных координатах РО.

Рассмотрим две типовые кинематические схемы SCARA, показанные на **Рис.1**. У первой схемы (**Рис.1, а**) звено, имеющее линейное перемещение, образует кинематическую пару со стойкой, т.е. неподвижным звеном. Для второй схемы, представленной на **Рис.1, б**, характерна связь поступательной пары с рабочим органом манипулятора.

Построим математическую модель для первой схемы, при этом будем использовать матрицы поворота или матрицы направляющих косинусов. Построение математического описания начнем с расстановки систем координат. С основанием свяжем неподвижную систему координат $O_1x_1z_1$ с центром в точке O . С каждым подвижным звеном свяжем локальную подвижную систему координат. Со звеном 2 свяжем систему координат $O_2x_2y_2z_2$ с центром в точке O_2 .

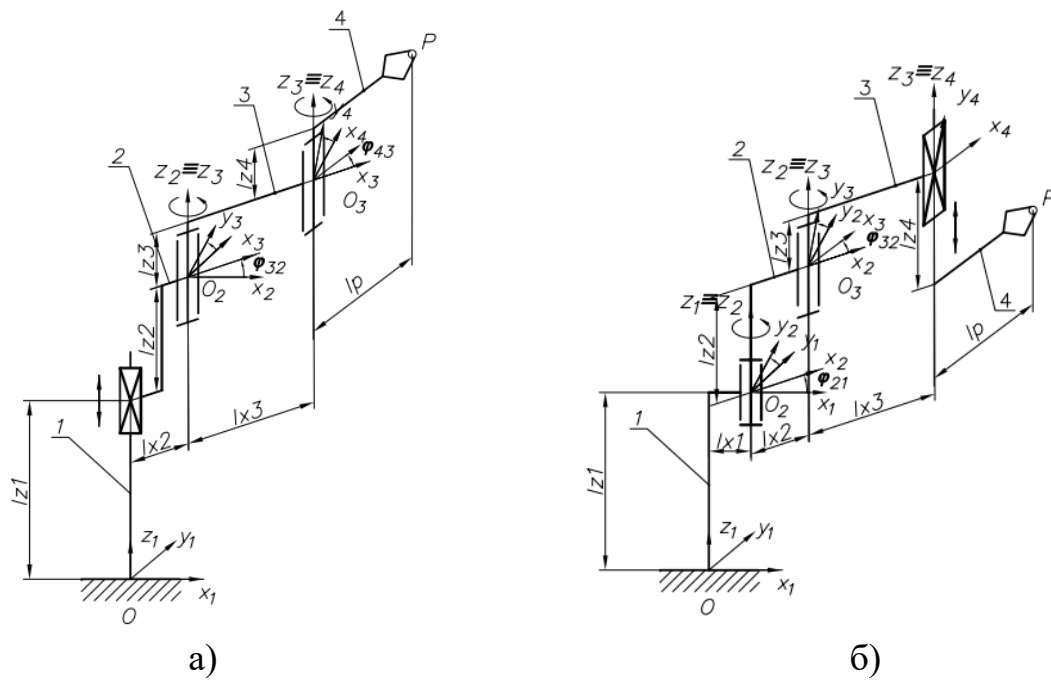


Рис.1 – Кинематические схемы манипулятора SCARA

Со звеном 3 свяжем систему координат $O_2x_3y_3z_3$, повернутую относительно предыдущей на угол φ_{32} , со звеном 4 – подвижную систему координат $O_3x_4y_4z_4$ с центром в точке O_3 , повернутую относительно предыдущей на угол φ_{43} . Матрица преобразований координат РО манипулятора относительно базовой системы координат будет иметь вид:

$$M = \prod_{i=1}^n M_{i-1,i} \quad (1)$$

где $M_{i-1,i}$ – матрицы однородных преобразований:

$$M_{i-1,i} = \begin{bmatrix} R & r \\ 000 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

где R – матрица элементарного поворота; r – вектор переноса системы координат; 000 – вектор, связанный с вектором центрального проектирования; 1 – коэффициент масштабирования.

Запишем векторы переноса системы координат

$$r_{12} = \begin{bmatrix} lx_2 \\ 0 \\ lz_1 + lz_2 \end{bmatrix}; r_{23} = \begin{bmatrix} lx_3 \cos \varphi_{32} \\ lx_3 \sin \varphi_{32} \\ lz_3 \end{bmatrix}; r_{34} = \begin{bmatrix} l_p \cos \varphi_{43} \\ l_p \sin \varphi_{43} \\ lz_4 \end{bmatrix}.$$

Матрицы однородных преобразований имеют вид:

$$M_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & lx_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & lz_1 + lz_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; M_{23} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{32} & -\sin \varphi_{32} & 0 & lx_3 \cos \varphi_{32} \\ \sin \varphi_{32} & \cos \varphi_{32} & 0 & lx_3 \sin \varphi_{32} \\ 0 & 0 & 1 & lz_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$M_{34} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_{43} & -\sin \varphi_{43} & 0 & l_p \cos \varphi_{43} \\ \sin \varphi_{43} & \cos \varphi_{43} & 0 & l_p \sin \varphi_{43} \\ 0 & 0 & 1 & lz_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Для данного случая матрица преобразований координат РО манипулятора относительно базовой системы координат определяется выражением:

$$M = M_{12} \cdot M_{23} \cdot M_{34}. \quad (3)$$

После перемножения получим матрицу в виде

$$M = \begin{vmatrix} R & r_p \\ 000 & 1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где r_p – вектор, определяющий координаты точки P (полюса) РО манипулятора относительно базовой (неподвижной) системы координат. После вычислений получим координаты точки P :

$$\begin{cases} x_p = l_p \cos(\varphi_{32} + \varphi_{43}) + lx_3 \cos \varphi_{32} + lx_2; \\ y_p = l_p \sin(\varphi_{32} + \varphi_{43}) + lx_3 \sin \varphi_{32}; \\ z_p = lz_4 + lz_3 + lz_2 + lz_1. \end{cases} \quad (5)$$

Далее построим модель для кинематической схемы, показанной на **Рис.1, б**. Расставим системы координат, с неподвижным основанием свяжем неподвижную систему координат $Ox_1y_1z_1$ с центром в точке O . Со звеном 2 свяжем систему координат $O_2x_2y_2z_2$ с центром в точке O_2 , повернутую относительно предыдущей на угол φ_{21} . Со звеном 3 свяжем систему координат $O_3x_3y_3z_3$, повернутую относительно предыдущей на угол φ_{32} , со звеном 4 – подвижную систему координат $O_4x_4y_4z_4$ с центром в точке O_4 , при этом ось x_4 параллельна оси x_3 , ось y_4 параллельна оси y_3 , а $z_4 \equiv z_3$. Матрица преобразований координат РО относительно базовой системы координат также определяется по формулам (1), (2). Запишем векторы переноса системы координат для данной схемы:

$$r_{12} = \begin{vmatrix} lx_1 + lx_2 \cos \varphi_{21} \\ lx_2 \sin \varphi_{21} \\ lz_1 \end{vmatrix}; \quad r_{23} = \begin{vmatrix} lx_3 \cos \varphi_{32} \\ lx_3 \sin \varphi_{32} \\ lz_2 \end{vmatrix}; \quad r_{34} = \begin{vmatrix} l_p \\ 0 \\ lz_3 - lz_4 \end{vmatrix}.$$

Матрицы однородных преобразований имеют вид:

$$M_{12} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_{21} & -\sin \varphi_{21} & 0 & lx_1 + lx_2 \cos \varphi_{21} \\ \sin \varphi_{21} & \cos \varphi_{21} & 0 & lx_2 \sin \varphi_{21} \\ 0 & 0 & 1 & lz_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix};$$

$$M_{23} = \begin{vmatrix} \cos \varphi_{32} & -\sin \varphi_{32} & 0 & l_{x_3} \cos \varphi_{32} \\ \sin \varphi_{32} & \cos \varphi_{32} & 0 & l_{x_3} \sin \varphi_{32} \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}; M_{34} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & l_p \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_{z_3} - l_{z_4} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

Матрицу преобразований координат РО манипулятора относительно базовой системы координат найдем из выражения (3). После перемножения и тригонометрических преобразований получим координаты точки P :

$$\begin{cases} x_p = (l_p + l_{x_3}) \cos(\varphi_{21} + \varphi_{32}) + l_{x_1} + l_{x_2} \cos \varphi_{21}; \\ y_p = (l_p + l_{x_3}) \sin(\varphi_{21} + \varphi_{32}) + l_{x_2} \sin \varphi_{21}; \\ z_p = l_{z_3} + l_{z_2} + l_{z_1} - l_{z_4}. \end{cases} \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) позволяют определять координаты РО многофункционального устройства с учетом заданных перемещений приводов.

Для каждой из схем найдем выражение, позволяющее оценить параметры точности. В данной работе будем учитывать только одну составляющую погрешности, связанную с характеристиками приводов манипулятора при максимальных значениях перемещений по каждой координате, при этом остальные составляющие не рассматриваются. Таким образом, предполагаем, что модель содержит скелет руки ПР, состоящий из абсолютно жестких и точно выполненных звеньев, соединенных между собой идеальными кинематическими парами пятого класса. Для аналитической оценки точности позиционирования РО манипулятора, необходимо сравнить вектор r_p , определяющий координаты точки P относительно неподвижной системы координат, с этим же вектором при учете наличия погрешностей отдельных приводов.

Рассмотрим схему 1. Определим вектор суммарной погрешности в зависимости от известных погрешностей по каждой координате

$$\Delta r_p = r_p(l_{z_1}, \varphi_{32}, \varphi_{43}) - r_p(l_{z_1} + \Delta l_{z_1}, \varphi_{32} + \Delta \varphi_{32}, \varphi_{43} + \Delta \varphi_{43}) \quad (7)$$

где $\Delta l_{z_1}, \Delta \varphi_{32}, \Delta \varphi_{43}$ – погрешности позиционирования приводов по соответствующим координатам. Подставив значения r_p в (7), получим координаты вектора суммарной погрешности, позволяющие оценить точность позиционирования РО:

$$\begin{aligned} \Delta x_p &= l_p [\cos(\varphi_{32} + \varphi_{43}) - \cos(\varphi_{32} + \Delta \varphi_{32} + \varphi_{43} + \Delta \varphi_{43})] + \\ &+ l_{x_3} [\cos \varphi_{32} - \cos(\varphi_{32} + \Delta \varphi_{32})] \\ \Delta y_p &= l_p [\sin(\varphi_{32} + \varphi_{43}) - \sin(\varphi_{32} + \Delta \varphi_{32} + \varphi_{43} + \Delta \varphi_{43})] + \\ &+ l_{x_3} [\sin \varphi_{32} - \sin(\varphi_{32} + \Delta \varphi_{32})] \\ \Delta z_p &= -\Delta l_{z_1} \end{aligned} \quad (8)$$

Аналогичным образом поступим для схемы 2. Вектор суммарной погрешности равен

$$\Delta r_p = r_p(l_{z_4}, \varphi_{21}, \varphi_{32}) - r_p(l_{z_4} + \Delta l_{z_4}, \varphi_{21} + \Delta \varphi_{21}, \varphi_{32} + \Delta \varphi_{32}) \quad (9)$$

После подстановки r_p в (9), получим координаты вектора суммарной

погрешности для этого случая:

$$\begin{cases} \Delta x_p = (l_p + l_{x_3})[\cos(\varphi_{21} + \varphi_{32}) - \cos(\varphi_{21} + \Delta\varphi_{21} + \varphi_{32} + \Delta\varphi_{32})] + \\ + l_{x_2}[\cos \varphi_{21} - \cos(\varphi_{21} + \Delta\varphi_{21})]; \\ \Delta y_p = (l_p + l_{x_3})[\sin(\varphi_{21} + \varphi_{32}) - \sin(\varphi_{21} + \Delta\varphi_{21} + \varphi_{32} + \Delta\varphi_{32})] + \\ + l_{x_2}[\sin \varphi_{21} - \sin(\varphi_{21} + \Delta\varphi_{21})]; \\ \Delta z_p = \Delta l_{z_4}. \end{cases} \quad (10)$$

Приведем примеры определения погрешности позиционирования.

Схема 1. Исходные данные: $l_{z_1} = 200$ мм; $l_{z_2} = 10$ мм; $l_{z_3} = 10$ мм; $l_{z_4} = 50$ мм; $l_{x_3} = 150$ мм; $l_p = 150$ мм; $l_{x_2} = 50$ мм $\varphi_{32} = \frac{\pi}{2}$; $\varphi_{43} = \pi$. Погрешности приводов по соответствующим координатам зададим как 2% от соответствующих величин перемещений: $\Delta\varphi_{32} = \frac{\pi}{100}$; $\Delta\varphi_{43} = \frac{\pi}{50}$; $\Delta l_{z_1} = 4,00$ мм. Погрешности позиционирования манипулятора по каждой координате равны: $\Delta x_p = -9,404$ мм; $\Delta y_p = -0,592$ мм; $\Delta z_p = -4$ мм.

Схема 2. Исходные данные: $l_{z_4} = 200$ мм; $l_{z_1} = 10$ мм; $l_{z_2} = 10$ мм; $l_{z_3} = 50$ мм; $l_{x_3} = 100$ мм; $l_p = 50$ мм; $l_{x_1} = 50$ мм $l_{x_2} = 150$ мм $\varphi_{21} = 2\pi$; $\varphi_{32} = \pi$. Погрешности приводов по соответствующим координатам примем равными $\Delta\varphi_{21} = \frac{\pi}{25}$; $\Delta\varphi_{32} = \frac{\pi}{50}$; $\Delta l_{z_4} = 4,00$ мм. Погрешности позиционирования манипулятора для данного случая: $\Delta x_p = -1,474$ мм; $\Delta y_p = 9,307$ мм; $\Delta z_p = 4$ мм.

Таким образом, полученные выражения (8) и (10) позволяют оценить точность позиционирования РО двух схем SCARA-манипулятора с учетом погрешностей приводов линейного перемещения и поворотов. В дальнейшем предполагается оценить характеристики точности манипулятора с учетом других составляющих суммарной погрешности, например, погрешностей геометрических параметров звеньев и величин зазоров в кинематических парах.

Исследования выполнены при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям).

Библиографический список

1. Корендяев А.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. Книга 1 /А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес; отв. ред. С.М. Каплунов. – М.: Наука, 2006. – 383 с.
2. Иванов А.А. Основы робототехники: учеб. пособие. – НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Нижний Новгород, 2011 – 200 с.
3. Бутенко В.И. Аналитическое исследование кинематической точности промышленного робота с рекуперацией энергии /В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Р.Г. Шаповалов //Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки, 2014. – №6. – С.68-72.

4. Бутенко В.И. Исследование вопросов точности позиционирования промышленного робота с рекуперацией энергии /В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Р.Г. Шаповалов //Известия ЮФУ. Технические науки, 2014. – №11 (160).
5. Oh Y. Robot accuracy evaluation using a ball-bar link system /Y Oh //Robotica, 2011. -29(6). - PP. 917-927.
6. Štrimaitis M. Evaluation of dynamics and positioning accuracy of robotic system operating in heavy loaded high speed conditions /M. Štrimaitis [and oth.] //Journal of Measurements in Engineering, Vol. 1, Issue 1, 2013. – P. 28-34.
7. Conrad K.L. Robotic calibration issues: accuracy, repeatability and calibration /K.L. Conrad, P.S. Shiakolas, T.C. Yih //Proceedings of the 8th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED 2000), Rio, Patras, GREECE, 17-19 July 2000.
8. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. Учебное пособие. 2-е издание, стереотипное. – Москва: Машиностроение, 2007. – 256 с.
9. Fu K.S. Robotics: Control, Detection, Vision and Intelligence /K.S. Fu, R.C. Gonz'alez, C.S.G. Lee. – McGraw-Hill, 1987.
10. Murray R.M. A Mathematic Robot Modeling and Control /R.M. Murray, Z. Li, S.S. Sastry. – CRC Press, 1st edition, 1994.
11. Koren Y. Robotics for engineers. – McGraw-Hill Companies, 1985.
12. Shahinpoor M. A robot engineering textbook. – Harpercollins College Division, 1987.
13. Spong M.W. Robot Modeling and Control /M.W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar. – John Wiley & Sons, New York, 2006.
14. Khalil W. Modeling, identification and control of robots /W. Khalil, E. Dombre. – Butterworth-Heinemann, 2004.
15. Choset H. Principles of Robot Motion: Theory, Algorithms, and Implementations /H. Choset [and oth.]. – Cambridge, 2005.
16. Siciliano B. Springer Handbook of Robotics. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
17. Paul R.P. Robot Manipulator: Mathematics, Programming and Control. – MIT Press, Cambridge, Mass, 1981.
18. Борисов О.И. Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие /О.И. Борисов, В.С. Громов, А.А. Пыркин. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.
19. Лесков А.Г. Моделирование и анализ робототехнических систем /А.Г. Лесков, А.С. Ющенко. – М.: Машиностроение, 1992. – 80 с.
20. Зенкевич С.Л. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами. Учебник для вузов /С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 400 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Korendyasev A.I. Teoreticheskiye osnovy robototekhniki. V 2 kn. Kniga 1 /A.I. Korendyasev. B.L. Salamandra. L.I. Tyves; otv. red. S.M. Kaplunov. – M.: Nauka. 2006. – 383 s.
2. Ivanov A.A. Osnovy robototekhniki: ucheb. posobiye. – NGTU im. R.E. Alekseyeva. Nizhniy Novgorod. 2011 – 200 s.
3. Butenko V.I. Analiticheskoye issledovaniye kinematocheskoy tochnosti promyshlennogo robota s rekuperatsiyey energii /V.I. Butenko. D.S. Durov. R.G. Shapovalov //Izvestiya vuzov. Severo-kavkazskiy region. Tekhnicheskkiye nauki. 2014. – №6. – S.68-72.
4. Butenko V.I. Issledovaniye voprosov tochnosti pozitsionirovaniya promyshlennogo robota s rekuperatsiyey energii /V.I. Butenko. D.S. Durov. R.G. Shapovalov //Izvestiya YuFU. Tekhnicheskkiye nauki. 2014. – №11 (160).
5. Oh Y. Robot accuracy evaluation using a ball-bar link system /Y Oh //Robotica. 2011. -29(6). - PP. 917-927.
6. ?trimaitis M. Evaluation of dynamics and positioning accuracy of robotic system operating in heavy loaded high speed conditions /M. ?trimaitis [and oth.] //Journal of Measurements in Engineering. Vol. 1. Issue 1. 2013. ? P. 28-34.
7. Conrad K.L. Robotic calibration issues: accuracy. repeatability and calibration /K.L. Conrad. P.S. Shiakolas. T.C. Yih //Proceedings of the 8th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED 2000). Rio. Patras. GREECE. 17-19 July 2000.
8. Podurayev Yu.V. Mekhatronika: osnovy. metody. primeneniye. Uchebnoye posobiye. 2-e izdaniye. stereotipnoye. – Moskva: Mashinostroyeniye. 2007. – 256 s.
9. Fu K.S. Robotics: Control. Detection. Vision and Intelligence /K.S. Fu. R.C. Gonz?alez. C.S.G. Lee. ? McGraw-Hill. 1987.
10. Murray R.M. A Mathematic Robot Modeling and Control /R.M. Murray. Z. Li. S.S. Sastry. ? CRC Press. 1st edition. 1994.
11. Koren Y. Robotics for engineers. ? McGraw-Hill Companies. 1985.
12. Shahinpoor M. A robot engineering textbook. ? Harpercollins College Division. 1987.
13. Spong M.W. Robot Modeling and Control /M.W. Spong. S. Hutchinson. M. Vidyasagar. ? John Wiley & Sons. New York. 2006.
14. Khalil W. Modeling. identification and control of robots /W. Khalil. E. Dombre. ? Butterworth-Heinemann. 2004.
15. Choset H. Principles of Robot Motion: Theory. Algorithms. and Implementations /H. Choset [and oth.]. ? Cambridge. 2005.
16. Siciliano B. Springer Handbook of Robotics. ? Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008.
17. Paul R.P. Robot Manipulator: Mathematics. Programming and Control. ? MIT Press. Cambridge. Mass. 1981.
18. Borisov O.I. Metody upravleniya robototekhnicheskimi prilozheniyami. Uchebnoye posobiye /O.I. Borisov. V.S. Gromov. A.A. Pyrkin. ? SPb.: Universitet ITMO. 2016. ? 108 s.
19. Leskov A.G. Modelirovaniye i analiz robototekhnicheskikh sistem /A.G.

Leskov. A.S. Yushchenko. – M.: Mashinostroyeniye. 1992. – 80 s.

20. Zenkevich S.L. Upravleniye robotami. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami. Uchebnik dlya vuzov /S.L. Zenkevich. A.S. Yushchenko. ? M.: Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana. 2000. ? 400 s.

Филипович Олег Викторович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой, ophisl@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Балакин Алексей Игоревич, канд. техн. наук, доцент, AIBalakin@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

Чаленков Никита Игоревич, аспирант, chalenkov-nikita@yandex.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

ANALYTICAL ESTIMATION OF THE POSITIONING ERROR OF THE MULTIFUNCTIONAL SCARA-MODULE END EFFECTOR

Filipovich O.V., Balakin A.I., Chalenkov N.I.

Annotation. The functioning of the multifunctional module based on the SCARA type manipulator (Selective Compliance Articulated Robot Arm) is considered, its characteristics are described. Two possible kinematic schemes of manipulators of this type, differing in the location of the vertical movement drive, are presented. A mathematical model for each of the presented schemes is developed, which allows to estimate the accuracy of the positioning of the end effector taking into account the component of the error associated with the characteristics of the manipulator drives. The results of modeling and prospects for further research are presented.

Keywords: positioning error, SCARA-module, end effector, mathematical model.

Filipovich Oleg Viktorovich, Ph.D., Associate Professor, Head of Department, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

Balakin Alexey Igorevich, Ph.D., Associate Professor, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

Chalenkov Nikita Igorevich, postgraduate, Russian Federation, Sevastopol, Sevastopol State University

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ»

УДК 621.941.1

РАСЧЁТНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ «ИНСТРУМЕНТ – ДЕТАЛЬ» ПРИ ФАСОННОМ ТОЧЕНИИ

Вожжов А.А.¹

***Аннотация.** Приведен анализ источников возникновения вынужденных колебаний технологической схемы «инструмент - деталь» на операции чистового двухрезцового фасонного точения профильных щеточных канавок токосъемных колец коллекторов малого диаметра высокоточных электрических микромашин. Приведен ряд экспериментальных исследований подтверждающих теоретические предположения. Рассмотрены вынужденные колебания системы. Представлены зависимости позволяющие оценить **величины** колебаний при обработке.*

***Ключевые слова.** Точение, фасонная поверхность, колебания, качество поверхности, эффективность процесса.*

Работа посвящена совершенствованию методов обработки профильных щеточных канавок токосъемных колец коллекторов малого диаметра высокоточных электрических микромашин с использованием двухрезцового фасонного точения и конструктивных решений технологических элементов подсистемы инструмент - деталь, которые позволяют обеспечить, точность и качество поверхности на операции чистового фасонного точения.

Создание и исследование новых методов обработки, для обработки деталей с особыми свойствами, является одной из актуальных задач современного машиностроения. Это и определяет значимость настоящих исследований.

Одним из важнейших элементов, определяющих надежность и долговечность различных систем управления, технологического оборудования машино-приборостроения является узел токосъемника – электрический контакт. В наиболее тяжелых условиях работают скользящие контакты. На их рабочих поверхностях помимо эрозионного износа, возникающего при прохождении электрического тока, происходит механический износ под действием сил трения. Наложение этих видов износа приводит к резкому снижению долговечности и надежности контактов.

Особое место среди электрических контактов занимают слаботочные скользящие контакты, которые получили широкое применение в системах управления авиационной, космической, судовой техникой, средствами автоматизации промышленного оборудования. Сложность решения триботехнических задач в скользящих электрических контактах обусловлена действием электрического тока, приводящего к ужесточению условий внешнего трения и изнашивания.

Объектом исследования данной работы является коллектор щеточно-коллекторного узла слаботочных скользящих контактов типа ГК (**Рис.1**). Изделия предназначены для обеспечения в герметичном отсеке прибора надёжной коммутации эл. цепей между соосно вращающимися узлами прибора, причём угол поворота узлов прибора друг относительно друга неограничен.

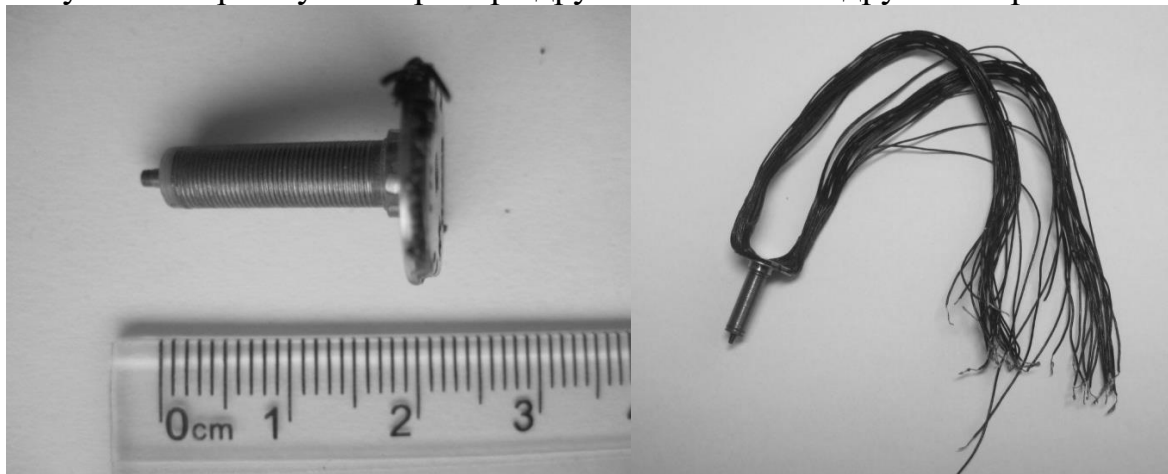
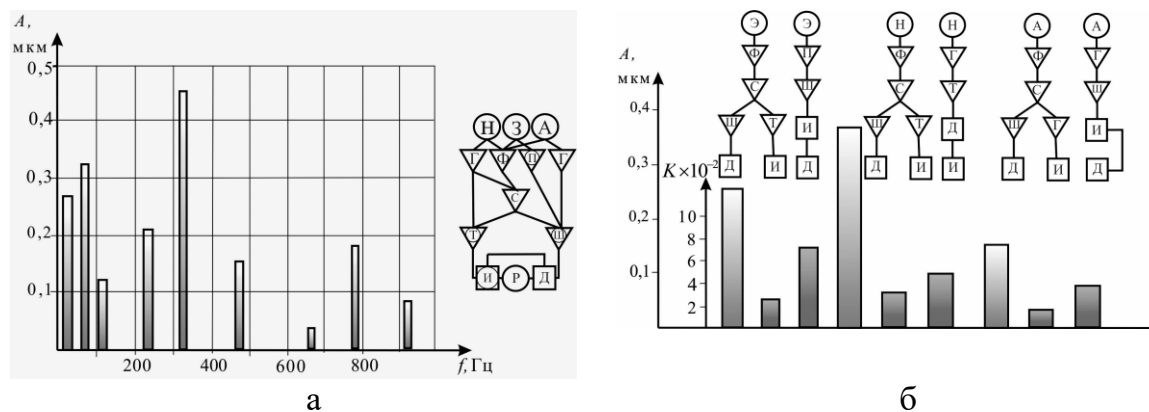


Рис.1 – Общий вид коллектора ГК

К данным изделиям предъявляются жесткие требования по надежности и безотказности работы, т.к. она применяется в различных приборах систем автоматики, используемых в авиационной, космической, судовой технике; в этих системах очень важна безотказность работы из-за дорогостоящего, а зачастую и невозможного обеспечения ремонтных работ, больших материальных потерь, связанных с простоем [3].

Операция фасонного точения профильных канавок выполняется на специальных токарных станках с ЧПУ повышенной точности, налаженных на отдельные деталиеоперации, при этом эффективным методом является, двухрезцовая совмещенная обработка чистовыми резцами различного профиля, расположенными оппозитно. При использовании данного технологического решения существенно упрощается изготовление режущего инструмента, повышается точность, качество обработанной поверхности и производительность процесса.

В процессе исследований были выполнены экспериментальные исследования: 1) определены собственные частоты колебаний элементов технологической системы; 2) определены коэффициента передачи вибраций при вынужденных колебаниях в зону резания от различных источников (электродвигателей, гидронасосов, привода вращения шпиндельного узла и др.); 3) изучены демпфирующие свойства (декременты затухания колебаний) отдельно инструмента и детали, а также системы "деталь – инструмент" в целом; 4) исследовано влияние параметров колебаний и других технологических факторов на точность формы обработанных канавок коллектора; 6) исследовано влияния колебаний на шероховатость обработанной поверхности [2].



О – источник колебаний; ∇ – проводник; $\square$ – приемник; Э – электродвигатель; Н – насос; А – агрегат охлаждения; Ф – фундамент; С – станина; П – привод; Ш – шпиндель; Г – гидросистема; И – инструмент; Д – деталь; Р – процесс резания; Т – суппорт с резцедержателем

Рис.2 – Спектрограмма (а) частот и уровней вынужденных колебаний; амплитуды (б) колебаний и коэффициенты передачи колебаний от различных источников

Исследование частот и уровней вынужденных колебаний, коэффициентов их передачи от различных источников (Рис.2) на инструмент и деталь выполнялось с использованием анализатора типа SVAN – 946, предназначенного для измерения и анализа вибрации в соответствии с ГОСТ 12.1.012-90 «Вибрационная безопасность», СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация», который автоматически преобразовывал сложные колебания в частотный спектр.

Влияние различных источников вынужденных колебаний на относительные колебания детали и инструмента изучалось методом последовательного отключения источников. Исследование колебаний источника и коэффициента их передачи на инструмент и деталь показало, что наибольший уровень колебаний имеет работающий гидроагрегат (3 – 4 мкм), несколько меньший (2 – 3 мкм) – привод вращения шпинделей и еще меньший (1 – 2 мкм) – агрегат охлаждения. Однако, как показали эксперименты, влияние этих источников на колебания резца и детали весьма незначительно. Наибольший коэффициент передачи имеет привод вращения шпинделей, но и его величина составляет всего 0,03 – 0,07, т.е. от 3 % до 7 %. Остальные источники имеют коэффициент передачи от 2 % до 5 %. Эти данные говорят о том, что примерно 90% энергии вынужденных колебаний рассеивается в массе фундамента и самого станка, который, как правило, устанавливается на виброизолирующих опорах.

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, вынужденные колебания узлов станка практически не влияют на возникающие при фасонном точении колебания технологической системы инструмент – деталь, главным источником которых является сам процесс резания.

Анализ вынужденных колебаний системы возможен на основе разработанной расчётной динамической модели, показанной на Рис.3.

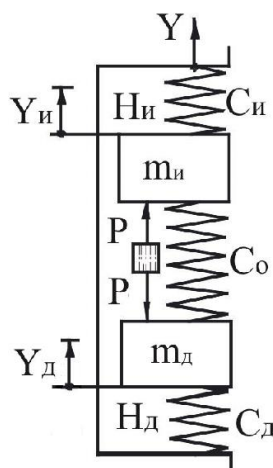


Рис.3 – Динамическая модель двухмассовой системы деталь – инструмент

Дифференциальные уравнения, описывающие движение системы «деталь – резец», составлены на основании принципа Даламбера [1]:

$$\begin{cases} m_{и} \cdot \ddot{y}_{и} + H \cdot (\dot{y}_{и} - \dot{y}_{д}) + (C_{и} + C_0) \cdot y_{и} - C_0 \cdot y_{д} = P \cdot \sin(f_{д} \cdot \tau) \\ m_{д} \cdot \ddot{y}_{д} + H \cdot (\dot{y}_{и} - \dot{y}_{д}) + (C_{и} + C_0) \cdot y_{д} - C_0 \cdot y_{и} = P \cdot \sin(f_{д} \cdot \tau) \end{cases}, \quad (1)$$

где $m_{д}$ – приведенная масса детали; $m_{и}$ – приведенная масса инструмента; H – коэффициент учитывающий линейно – вязкое сопротивление; $C_{д}$, $C_{и}$, C_0 – коэффициенты жесткости; P – радиальная составляющая силы резания, вычисленная в установившемся режиме; жесткость инструмента; $f_{ш} = \frac{\pi \cdot n}{60}$ – угловая скорость вращения детали, n – об/мин.

Далее анализируются колебания при $H = 0$ (без учета линейно – вязкого сопротивления).

Решение системы (1) – суперпозиция общих решений однородных систем и частных неоднородной.

Частные решения однородной:

$$y_{и}^* = A_1 \cdot \sin(ft), \quad y_{д}^* = B_1 \cdot \sin(ft). \quad (2)$$

Определитель для частот f_1^2 и f_2^2 :

$$\begin{vmatrix} C_{и} + C_0 - m_{и} f^2 & -C \\ -C_0 & C_{д} + C_{и} - m_{д} f^2 \end{vmatrix} = 0. \quad (3)$$

Соотношение между амплитудами A_1 и A_2 , D_1 и D_2 находятся из выражений (4), (5):

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{C_{и} + C_0 - m_{и} f_1^2}{C_0} = \nu_{21}, \quad (4)$$

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{C_H + C_0 - m_H f_2^2}{C_0} = \nu_{22}. \quad (5)$$

Общее решение однородной системы записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} y_H^* &= A_1 \cdot \sin(f_1 \tau + \alpha_1) + D_1 \sin(f_2 \tau + \alpha_2), \\ y_D^* &= \nu_{21} A_1 \cdot \sin(f_1 \tau + \alpha_1) + \nu_{22} D_1 \sin(f_2 \tau + \alpha_2), \end{aligned} \quad (6)$$

где $A_1, D_1, \alpha_1, \alpha_2 = \text{const.}$

Частные решения системы (2.48) находятся по виду правых частей:

$$y_H^{**} = B_1 \cdot \sin(f_{\text{ш}} \tau), \quad y_D^{**} = B_2 \cdot \sin(f_{\text{ш}} \tau). \quad (7)$$

После подстановки (2.54) в (2.48), получена система алгебраических уравнений для определения B_1 и B_2

$$\begin{cases} (C_H + C_0 - m_H f_1^2) \cdot B_1 - C_0 B_2 = P \\ -C_0 B_1 + (C_D + C_0 - m_H f_2^2) B_2 = P \end{cases}, \quad (8)$$

из которой

$$B_1 = \frac{P(2C_0 + C_D - m_D f_2^2)}{\Delta}, \quad B_2 = \frac{P(2C_0 + C_H - m_H f_1^2)}{\Delta}. \quad (9)$$

$$\Delta = (C_0 + C_D - m_D f_2^2)^2 \cdot C_H + (C_D - C_0 f_2^2 - m_H f_1^2) \cdot C_0 - m_H f_1^2 \cdot C_D + m_H f_1^2 f_2^2.$$

Итак, общее решение

$$y_D = y_D^* + y_D^{**}, \quad y_H = y_H^* + y_H^{**}. \quad (10)$$

При определении констант A_1, D_1, α_1 и α_2 , предполагается, что движение начинается из состояния покоя, т.е.

$$y_D(0) = 0, \quad \dot{y}_D(0) = 0, \quad y_H(0) = 0, \quad \dot{y}_H(0) = 0. \quad (11)$$

Система трансцендентных уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} A_1 \sin \alpha_1 + D_1 \sin \alpha_2 = 0 \\ \nu_{21} A_1 \sin \alpha_1 + \nu_{22} D_1 \sin \alpha_2 = 0 \\ A_1 \cos \alpha_1 \cdot f_1 + D_1 \cos \alpha_2 f_2 + B_1 f_{\text{ш}} = 0 \\ \nu_{21} A_1 \cos \alpha_1 \cdot f_1 + \nu_{22} D_1 \cos \alpha_2 f_2 + B_2 f_{\text{ш}} = 0 \end{cases} \quad (12)$$

При определении констант с использованием fsolve (Maple) приняты исходные данные: $P = 10\text{Н}$; $C_0 = 1140 \cdot 10^3\text{Н/м}$; $C_D = 640 \cdot 10^3\text{Н/м}$; $C_H = 5000 \cdot 10^3\text{Н/м}$; $m_D = 0,2\text{ кг}$; $m_H = 0,6\text{ кг}$; $f_1 = 2492\text{ с}^{-1}$; $f_2 = 3595\text{ с}^{-1}$; $\nu_{21} = 2,118$; $\nu_{22} = -1,416$; $f_{\text{ш}} = 209,44\text{ с}^{-1}$; $B_1 = -0,103 \cdot 10^{-5}\text{м}$; $B_2 = -0,109 \cdot 10^{-4}\text{м}$.

Решение: $A_1 = 2,95 \cdot 10^{-4}\text{мм}$; $D_1 = 1,44 \cdot 10^{-4}\text{мм}$; $\alpha_1 = 6,2818$; $\alpha_2 = -5,424$.

Графики колебаний детали $y_d(t)$ и инструмента $y_n(t)$ изображены на **Рис.4**.

Амплитуда колебаний инструмента на порядок меньше амплитуды колебаний детали. Это позволяет исследовать колебания только детали, в первом приближении, как систему с одной степенью подвижности. За счет варьирования режимов обработки представляется возможность уменьшать амплитуду колебаний детали.

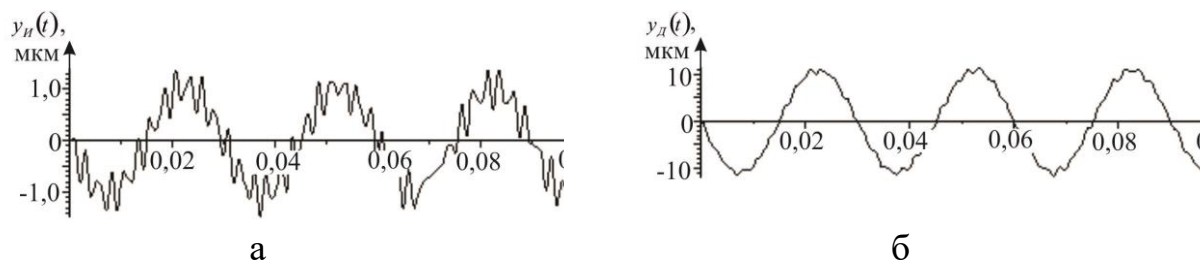


Рис.4 – Графики колебаний детали $y_n(t)$ – а; и инструмента $y_d(t)$ – б

Сделано предположение, что применяемая методика позволит управлять уровнем колебаний путем изменения условий обработки, режимов резания и геометрии инструмента.

Кроме того, зная расчетные значения амплитуд колебаний, полученные с помощью данной методики, прогнозировать шероховатость обработанной поверхности, а также погрешности формы деталей, что будет являться результатами дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Бохонский А.И. Моделирование динамики нежестких деталей при токарной обработке / Бохонский А.И., Пашков Е.В., Вожжов А.А. // Оптимизация производственных процессов: Изд-во СевГТУ, 1999. – Вып.2. – С.22-27
2. Вожжов А.А. Моделирование процесса двурезцового точения фасонных поверхностей / А.А. Вожжов., Е.В. Пашков. – «Научноёмкие технологии в машиностроении», ежемесячный научно-технический и производственный журнал, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», 2017. – №6(72) (С.25-30)
3. Вожжов А.А. Анализ относительных вынужденных колебаний инструмента и детали при фасонном точении / Вожжов А.А., Худаймуратов М.А.// Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастоп. гос. ун-т. – Севастополь: СевГУ, 2016. – Вып. 4. – 88 с. (с.10-20)

Bibliograficheskiy spisok

1. Bohonskiy A.I. Modelirovanie dinamiki nezhestkih detaley pri tokarnoy obrabotke / Bohonskiy A.I., Pashkov E.V., Vozhzhov A.A. // Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov: Izd-vo SevGTU, 1999. – Vyip.2. – S.22-27
2. Vozhzhov A.A. Modelirovanie protsessa dvureztsovogo tocheniya fasonnykh po-verhnostey / A.A. Vozhzhov., E.V. Pashkov. – «NauchYomkie tehnologii v mashino-stroenii», ezhe mesyachnyi nauchno-tehnicheskiy i proizvodstvennyi zhurnal, FGBOU VO «Bryanskiy gosudarstvennyiye tehnicheskiy universitet», 2017. – #6(72) (S.25-30)

3. Vozhzhov A.A. Analiz otnositelnyih vyinuzhdennyih kolebaniy instrumenta i detali pri fasonnom tochenii / Vozhzhov A.A., Hudaymuratov M.A.// Vestnik so-vremennyih tekhnologiy: sb. nauch. tr. Sevastop. gos. un-t. – Sevastopol: SevGU, 2016. – Vyip. 4. – 88 s. (s.10-20)

Вожжзов Андрей Анатольевич, старший преподаватель кафедры Приборные системы и автоматизация технологических процессов, 0506773532@mail.ru, Россия, г. Севастополь, Севастопольский государственный университет

CALCULATING DYNAMIC MODEL OF THE "TOOL-DETAIL" SYSTEM AT THE FASHION POINT

A. A. Vozhzhov

The analysis of the sources of the forced oscillations of the techno-logic "tool-detail" scheme is given for the operation of the final two-section shaped turning of the profile brush grooves of collector rings of small diameter collectors of high-precision electric micromachines. A number of experimental studies confirming theoretical assumptions are presented. The forced oscillations of the system are considered. Dependences allowing to estimate the values of oscillations during processing are presented.

Key words: turning, shaped surface, oscillations, surface quality, process efficiency.

Vozhzhov Andrey Anatolyevich, Senior Lecturer, Instrument Systems and Automation of Technological Processes, 0506773532@mail.ru, Sevastopol, Russia, Sevastopol State University.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ГЛУБОКОМ РАСТАЧИВАНИИ ГИЛЬЗ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Горелова А. Ю.¹, Кристаль М. Г.²

Аннотация. Авторами предложена математическая модель формирования огранки глубокого отверстия при его растачивании. Обосновано, что огранка проявляется как технологическая наследственность погрешностей заготовки. Теоретические положения подтверждены методом компьютерного моделирования процесса формообразования при чистовом растачивании глубокого отверстия гильзы гидроцилиндра телескопирования. Предложен метод минимизации погрешностей отверстия

Ключевые слова. огранка, глубокое растачивание, погрешности растачивания, компьютерное моделирование, математическое моделирование процесса растачивания.

В качестве силовых элементов различного подъемного оборудования (краны, домкраты, механизмы транспортирования) широко применяют гидроцилиндры. Длина и диаметр гидроцилиндра определяются его назначением, а грузоподъемность механизма определяется требуемое рабочее давление. Так, например, гидроцилиндры телескопирования стрелы автокрана выпускают с длинами из диапазона $l \in [965...7500]$ мм, диаметрами – $d \in [100...250]$ мм, с толщиной стенок 10...14 мм, рабочее давление некоторых видов гидроцилиндров достигает 50 МПа.

От качества таких гидроцилиндров напрямую зависят надежность и безопасность эксплуатации оборудования, основной причиной поломок которого является нарушение герметичности гидроцилиндров. Это обуславливает требования к точности обработки деталей, входящих в их состав. Особенно это касается обработки глубоких отверстий длинномерных гильз гидроцилиндров, которые обладают низкой жесткостью. Ввиду того, что обработка описанной группы заготовок сопровождается вибрациями, большинство известных методов повышения точности обработки гильз гидроцилиндров направлены на демпфирование заранее определенных частот колебаний системы «расточная головка-заготовка» [1, 2, 3]. Этот подход не эффективен, если возникающие вибрации оказываются вне расчетного диапазона.

Другим направлением повышения точности обработки глубоких отверстий изделий типа гильза является выбор режимов обработки на основании математической модели образования погрешностей [4], но многие из них носят частный эмпирический характер и не описывают влияние погрешностей заготовки на точность обработки.

Следовательно, разработка математической модели образования погрешностей при глубоком растачивании длинномерных нежестких гильз гидроцилиндров, с учетом погрешностей заготовки и разработка на ее основе методов повышения точности является актуальной научной и технической задачей.

Широко распространенной является схема обработки, где заготовку устанавливают в вертлюге и роликовых люнетах (**Рис.1**). При этом расточная головка (**Рис.2**) имеет движение подачи и содержит следующие конструктивные элементы: корпус 1, окно для установки расточного блока 2, призматические направляющие шпонки 3, сегменты 4, конические элементы 5, кольцо 6, пакеты тарельчатых пружин 7, упорную втулку 8, радиально-подвижные опоры 9, зазор 10. Элементы 4...10 образуют гаситель продольных колебаний системы «расточная головка-заготовка».

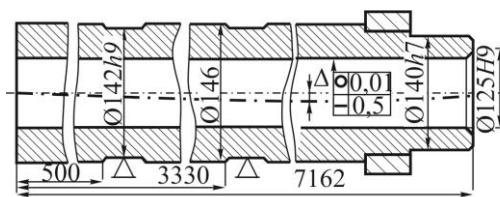


Рис.1. – Закрепление длинномерной заготовки

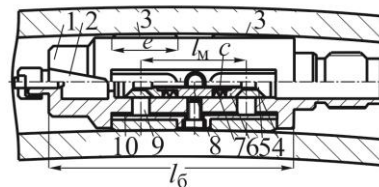


Рис. 2. – Расточная головка с виброгасителем

Исследования процесса глубокого растачивания гильз гидроцилиндров телескопирования с использованием таких расточных головок (**Рис.2**) показали, что в некоторых случаях возникает огранка отверстия. Математическое моделирование этого процесса позволило установить, что причиной возникновения огранки является характер контакта призматических направляющих шпонок с криволинейной поверхностью трубы, имеющей отклонение оси от прямолинейности Δ (**Рис.3**) реакции направляющих шпонок.

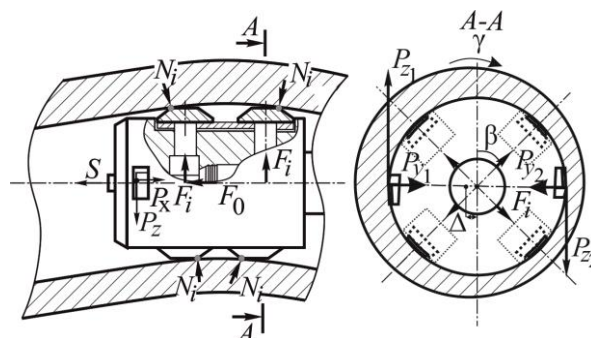


Рис.3 – Схема сил, действующих на расточную головку

P_x, P_y, P_z – составляющие силы резания; Δ – отклонение оси заготовки от прямолинейности; S – подача; F – сила поджатия направляющей шпонки; F_0 – сила начального поджатия пакета пружин; N – сила со стороны заготовки; β – угловое положение шпонок

На основе анализа системы сил и моментов, действующих на расточную головку, получены изменения величин результирующей силы F_0 и момента M_0 (Рис.4), действующих в центре О при различных значениях отклонения оси заготовки от прямолинейности Δ [5]. Предложено аппроксимировать полученное изменение момента M_0 ступенчатой функцией:

$$f(\gamma) = -M_0 \cdot \gamma - \gamma_{кр} / |\gamma - \gamma_{кр}|, \quad (1)$$

где $\gamma_{кр}$ – угол поворота заготовки, при котором происходит изменение момента M_0 (Рис.5). Уравнение движения расточной головки с учетом разложения аппроксимирующей функции в ряд Фурье записано в виде:

$$J\ddot{\varphi} + k_d\dot{\varphi} + M_F\varphi = f(\gamma_{кр}), \quad (2)$$

где J – момент инерции расточной головки; φ – угол наклона оси расточной головки; M_F – момент силы упругого подвеса направляющих шпонок относительно центра масс расточной головки; k_d – коэффициент демпфирования; $f(\gamma_{кр}) = 0,5a_0 + b_1 \sin(\gamma) + b_k \sin(k\gamma) + \dots + b_n \sin(n\gamma)$.

Решение (2) с учетом (1) описывает поперечные колебания расточной головки, откуда получено выражение для расчета отклонения H от круглости (огранки) поперечного сечения отверстия в виде:

$$H = \frac{JM_0 \sin(\gamma_{кр} \cdot k) \sin(k)}{\omega^2 (k_\omega^2 - k^2)}, \quad (3)$$

где k – номер гармоники разложения в ряд Фурье; $k_\omega = \omega_0 / \omega$ – отношение частоты собственных колебаний расточной головки к удвоенной частоте вращения заготовки.

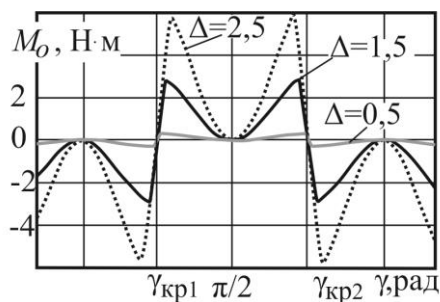


Рис.4 – Изменение момента M_0 при различных Δ отклонениях оси заготовки от прямолинейности

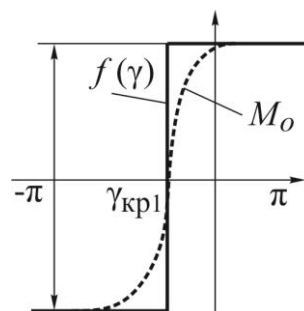


Рис.5 – Аппроксимация функции M_0 предложенной функцией $f(\gamma)$

Предложен метод повышения точности обработки глубокого отверстия, при котором растачивание производят модернизированной расточной головкой с направляющими шпонками с галтелью, что позволяет предотвратить скачкообразное изменение момента M_0 и снизить огранку.

Для подтверждения теоретических предположений проведено компьютерное моделирование технологического процесса растачивания

глубокого отверстия (Рис.6) длинномерной нежесткой гильзы расточной головкой с призматическими направляющими шпонками (стандартными) и с предложенными автором направляющими шпонками, имеющими галтель радиуса r [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

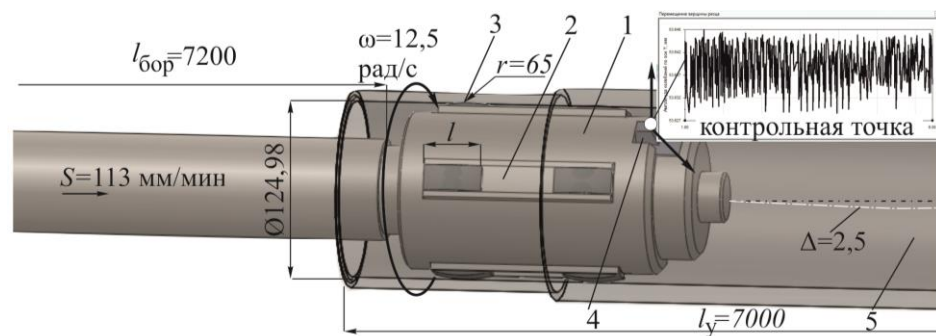


Рис.6 – Компьютерное моделирование процесса образования погрешностей отверстия

Для определения отклонения формы поперечного профиля отверстия контролировалось перемещение точки на вершине резца твердотельной модели расточной головки. Модель расточной головки, борштанги и обрабатываемой заготовки выполнена в программном комплексе SolidWorks. Получены зависимости величины огранки H поперечного профиля глубокого отверстия от формы направляющей шпонки, значения радиуса r , жесткости подвеса, длины e направляющей шпонки (Рис.7,б,в,г). Определены диапазоны значений описанных параметров, обеспечивающие минимизацию огранки H для обработки отверстия длиной $l=7000$ мм, диаметром $D=125$ мм с отклонением Δ от прямолинейности оси отверстия заготовки из диапазона $\Delta \in [1...3,5]$ мм. Они составили: $c_0 \in [930...1430]$ Н/мм; $e \in [44...48]$ мм; $r \in [65...75]$ мм.

Предложено назначать радиус r по выражению: $r = e^2 / 16\Delta$, где e – длина направляющей шпонки; Δ – отклонение оси заготовки от прямолинейности.

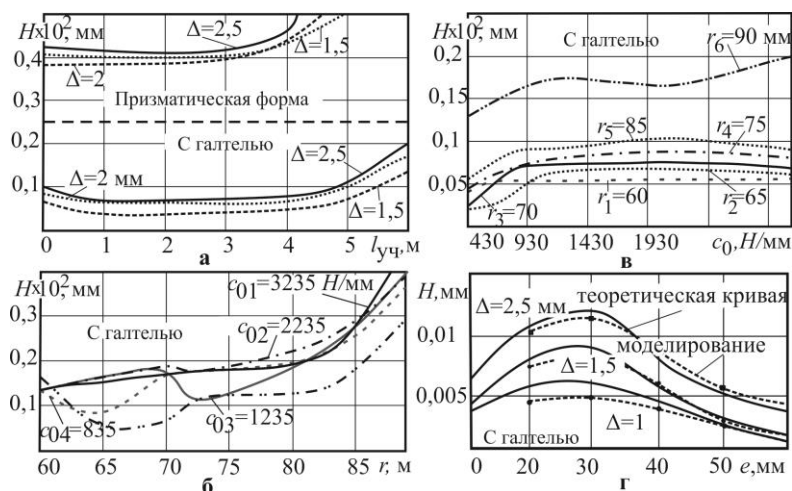


Рис.7– Результаты компьютерного моделирования растачивания

Таким образом компьютерное моделирование технологического процесса образования огранки при глубоком растачивании позволило подтвердить полученные теоретически оптимальные параметры: жесткости c_0 подвесов, длины e и радиуса r галтели продольного сечения направляющих шпонок, обеспечивающие снижение величины H огранки на порядок при обработке отверстия длиной $l=7000$ мм, диаметром $D=125$ мм с отклонением Δ от прямолинейности оси отверстия заготовки из диапазона $\Delta \in [1...3,5]$ мм. Они составили: $c_0 \in [930...1430]$ Н/мм; $e \in [44...48]$ мм; $r \in [65...75]$ мм.

Библиографический список

1. Messaoud, A. Detection of chatter vibration in drilling process using multivariate control charts / C. Weihs, F. Hering // Computational Statistics & Data Analysis. – 2008. P. 3208–3219.
2. Chin, D. Roundness modeling in BTA deep hole drilling / M. Yoon, S. Sim // Precision Engineering. – 2005. P. 176–188.
3. Пат. US 20050258580 МПК7 F 16 M 1/00. Damping apparatus for the damping of vibrations / Anders Digernes. 14.04.2003.
4. Munoa, J. Chatter suppression techniques in metal cutting / X. Beudaert, Z. Dombovari, Y. Altintas // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2016. – P. 785–808.
5. Горелова, А.Ю. минимизация погрешностей растачивания нежестких гильз гидроцилиндров на основе моделирования процесса их образования: дис. ... канд. техн. наук : защищена 29.06.2017 : утв. 1.11.2017 / А.Ю. Горелова. – Волгоград, 2017. – 200 с.
6. Пат. 169720 Российская Федерация, МПК7 В 23 В 29/03. Расточная головка [Текст] / Горелова А. Ю. ; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет ; заявл. 18.07.2016 ; опубл. 29.03.2017, Бюл. № 10. – 9 с. : ил.

Bibliograficheskiy spisok

1. Messaoud, A. Detection of chatter vibration in drilling process using multivariate control charts / C. Weihs, F. Hering // Computational Statistics & Data Analysis. – 2008. P. 3208–3219.
2. Chin, D. Roundness modeling in BTA deep hole drilling / M. Yoon, S. Sim // Precision Engineering. – 2005. P. 176–188.
3. Pat. US 20050258580 МПК7 F 16 M 1/00. Damping apparatus for the damping of vibrations / Anders Digernes. 14.04.2003.
4. Munoa, J. Chatter suppression techniques in metal cutting / X. Beudaert, Z. Dombovari, Y. Altintas // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2016. – P. 785–808.
5. Gorelova, A.YU. minimizaciya pogreshnostej rastachivaniya nezhest-kih gil'z gidrocilindrov na osnove modelirovaniya processa ih obrazovaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk : zashchishchena 29.06.2017 : utv. 1.11.2017 / A.YU. Gorelova. – Volgograd, 2017. – 200 s.
6. Pat. 169720 Rossijskaya Federaciya, MPK7 B 23 V 29/03. Rastoch-naya golovka [Tekst] / Gorelova A. YU. ; zayavitel' i patentooblada-tel' Volgogradskij

gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet ; zayavl. 18.07.2016 ; opubl. 29.03.2017,
Byul. № 10. – 9 s. : il.

Горелова Ася Юрьевна, канд. техн. наук, доц., asya.gorelowa@yandex.ru, Россия, Волгоград, Волгоградский государственный технический университет,

Кристалль Марк Григорьевич, д-р техн. наук, проф, crysmar@mail.ru, Россия, Волгоград, Волгоград, Волгоградский государственный технический университет.

COMPUTER SIMULATION OF THE ERRORS FORMATION PROCESS WHILE HYDROCYLINDER DEEP HOLE'S MACHINING

A. Y. Gorelova, M. G. Kristal

A new mathematical model is proposed where faceting pattern formation is treated as a consequence of the hole's axis technologically inherited straightness error. The analysis of the model allowed to establish that the straightness error Δ of the hole's axis primarily determines the faceting pattern formation process. Theoretical assumptions are in agreement with the results of computer modeling of the shape formation during the finish boring of the telescoping hydrocylinder deep hole. An improved method for errors minimization is developed.

Key words: faceting patern, boring error, boring process computer modeling, boring process mathematical modeling.

Gorelova Asya Yorievna, candidate of technical sciences, docent, asya.gorelowa@yandex.ru, Russia, Volgograd, Volgograd State Technical University

Kristal Mark Grigorevich, doctor of technical sciences, professor, crysmar@mail.ru, Russia, Volgograd, Volgograd State Technical University

РАНЖИРОВАНИЕ УНИВЕРСИТЕТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКИХ МЕТОДОВ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Худадова А.К.

***Аннотация.** Разработаны и протестированы нечёткие модели для оценок маркетингового пространства образовательных услуг и конкурентной позиции университетов на рынке труда. В контексте данного исследования произведено ранжирование произвольно выбранных университетов, характеризующихся своими показателями конкурентоспособности.*

***Ключевые слова.** Конкурентоспособность университета, маркетинговое пространство, нечёткое множество, нечёткий вывод.*

Введение. Любой университет – это, прежде всего, сложная, открытая и динамически развивающаяся система. Причём его отличительной особенностью является способность к своевременной адаптации к условиям окружающей среды, которая выражается системой показателей, характеризующей состояние его конкурентоспособности. Говоря языком экономистов, конкурентоспособность университета представляет собой совокупную характеристику процесса обучения и отражает уровень его соответствия конкретной общественной полезности. Другими словами, под конкурентным преимуществом университета будем понимать то, каким образом он может получить преимущества на рынке образовательных услуг путём консолидации и эффективной организации имеющихся у него в наличии ресурсов.

Общая постановка задачи. Существующие тенденции глобализации образования (например, в рамках Болонской Системы Образования) диктуют насущную и актуальную проблему для любого университета, связанную с его выживанием и перспективами на рынке образовательных услуг. На передний план встаёт задача, как достичь конкурентного преимущества и удержать его в быстро меняющихся условиях конкурентной среды? К сожалению, большинство учебных заведений на постсоветском пространстве, предлагающих свои образовательные услуги потребителям в сегменте высшего образования, не обладают необходимыми конкурентными преимуществами, чтобы соревноваться не только с ведущими, но и даже с «середняками» из мирового рейтингового списка университетов.

Приобретение конкурентных преимуществ университета лежит в рамках решения вопроса его всеобъемлющей оценки и эффективного управления. Поэтому, на начальном этапе необходима методика оценки конкурентоспособности национального университета, адаптированная на решение задачи многокритериальной оценки поведения системы гуманистического типа, характеризующую слабо структурированными показателями.

Выбор стратегии конкурентоспособности на рынке образовательных услуг. Каждый университет обязан правильно оценить создавшуюся конъюнктуру национального рынка образовательных услуг, с тем, чтобы предложить адекватные средства конкуренции с учётом своих собственных особенностей и возможностей. Первой и, пожалуй, наиболее сложной задачей здесь является исследование причинно-следственных связей на пути достижения собственных конкурентных преимуществ. Конечным результатом такого осмысления должен стать выбор стратегии университета на рынке образовательных услуг, которая формируется на основе исследования маркетинговой среды и оценки конкурентной позиции образовательных услуг на рынке труда. Поэтому, отправляясь от этой парадигмы, рассмотрим причинно-следственные связи, характеризующие текущую рыночную обстановку, с тем, чтобы оценить конкурентоспособность образовательной услуги конкретного университета в поддержку выработки им соответствующей стратегии поведения на рынке образовательных услуг.

Показатели маркетинговой среды. Обзор характеристик субъектов и факторов маркетинговой среды позволил выявить 13 показателей маркетинговой среды с учётом деятельности других университетов [1]: x_1 – поддержка государства; x_2 – конкурс абитуриентов; x_3 – связи с средними школами; x_4 – популяризация медийными структурами; x_5 – состояние национальной экономики; x_6 – социально-демографические условия; x_7 – социально-культурное положение общества; x_8 – политико-правовое обеспечение общества; x_9 – целевое ориентирование; x_{10} – применяемая технология обучения; x_{11} – организационная структура вуза; x_{12} – уровень профессорско-преподавательского состава и подготовки вспомогательного персонала; x_{13} – число вузов-конкурентов. Очевидно, что для проведения аналитических исследований, т.е. для компиляции знаний, требующей переноса накопленных внешних знаний о задаче во внутренние, необходимо провести статистический анализ маркетинговой среды по каждому из этих критериев. Это достаточно затратный по времени и трудоёмкий процесс, который требует достоверность релевантной информации.

Мы исходим из того, что статистический анализ – это предмет отдельного рассмотрения. Нашей же задачей является методика компиляции экспертных знаний о маркетинговой среде на примере произвольных университетов, характеризующихся своими внешними и внутренними факторами воздействия на конкурентоспособность. Поэтому, предположим, что путём независимого анкетирования специалистов в предметной области были получены экспертные оценки показателей маркетинговой среды x_i ($i=1\div 13$) для гипотетических пяти университетов: a_1 , a_2 , a_3 , a_4 и a_5 . Консолидированные путём усреднения оценки экспертов по десятибалльной шкале сведены в **Таблицу 1**.

Таблица 1. – Консолидированные экспертные оценки маркетинговой среды университетов

Обоз	Показатели маркетинговой среды университетов	Альтернативные университеты				
		a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
x_1	Поддержка государства	7.23	2.91	9.02	2.48	2.13
x_2	Конкурс абитуриентов	7.08	9.13	6.30	8.50	7.56
x_3	Связи с средними школами	8.95	3.96	6.23	6.30	4.34
x_4	Популяризация медийными структурами	3.19	2.60	7.69	3.91	6.24
x_5	Состояние национальной экономики	6.42	9.36	7.66	2.63	4.98
x_6	Социально-демографические условия	6.38	6.65	5.99	5.47	2.19
x_7	Социально-культурное положение общества	6.54	6.28	3.11	9.78	4.08
x_8	Политико-правовое обеспечение общества	5.11	8.53	9.42	2.49	7.61
x_9	Целевое ориентирование	5.36	6.23	9.47	2.70	9.36
x_{10}	Технология обучения	4.37	6.85	4.88	4.16	5.43
x_{11}	Организационная структура	8.14	3.71	8.44	6.99	8.05
x_{12}	Уровень преподавательского состава и персонала	9.28	4.56	6.95	6.68	9.33
x_{13}	Число конкурентов	7.12	8.09	5.33	7.95	7.09

Выбор наиболее конкурентоспособного университета с применением методом нечёткого вывода. В большинстве случаев значения показателей x_i ($i=1\div 13$) являются, по сути, качественными критериями оценки маркетинговой среды университетов, которые лучше всего отражать в виде термов соответствующих лингвистических переменных, являющихся, по своей сути, слабо структурированными оценочными понятиями вида: «ДОСТАТОЧНЫЙ», «ВЫСОКИЙ», «ПРИЕМЛЕМОЕ» и пр. Такие понятия лучше всего описывать посредством нечётких множеств [2], поэтому для оценки маркетинговой среды университетов за основу выберем следующие обоснованные и логически непротиворечивые суждения:

d_1 : «Если осуществляемая государством поддержка является достаточной, текущее состояние национальной экономики является устойчивым, в социально-демографической динамике наблюдается рост, целевое ориентирование университета обоснованное и уровень профессорско-преподавательского состава и подготовки вспомогательного персонала высокая, то маркетинговая среда университета является благоприятной»;

d_2 : «Если вдобавок к вышеописанным требованиям конкурс абитуриентов в университет высокий, текущее социально-культурное положение общества является высоким, организационная структура университета сбалансированная и число конкурентов высокое, то маркетинговая среда университета является более чем благоприятная»;

d_3 : «Если дополнительно к оговоренным в d_2 условиям университет

поддерживает с средними школами тесные связи, популяризация университета в медийных структурах непрерывная, политико-правовое обеспечение общества подходящее, университет применяет современные технологии обучения, то его маркетинговая среда является безупречной»;

d_4 : «Если маркетинговая среда характеризуется всем оговоренным в d_3 , кроме информации о популяризации медийными структурами и целевом ориентировании университета, то его маркетинговая среда является очень благоприятной»;

d_5 : «Если осуществляемая государством поддержка является достаточной, конкурс абитуриентов высокий, текущее состояние национальной экономики является устойчивым, в социально-демографической динамике наблюдается рост, текущее социально-культурное положение общества является высоким, политико-правовое обеспечение общества подходящее, целевое ориентирование университета обоснованное, он применяет современные технологии обучения, уровни профессорско-преподавательского состава и подготовки вспомогательного персонала высокие и число конкурентов высокое, но при этом университет не поддерживает тесные связи с средними школами, не популяризируется в средствах массовой информации, а его организационная структура несбалансированная, то маркетинговая среда университета все же является благоприятной»;

d_6 : «Если конкурс абитуриентов невысокий, университет не применяет современные технологии в обучении, его организационная структура несбалансированная, а уровни профессорско-преподавательского состава и подготовки вспомогательного персонала невысокие, то маркетинговая среда университета является неблагоприятной».

Анализ приведённых высказываний в виде причинно-следственных связей позволяет выявить 13 входных (значения показателей маркетинговой среды x_k) и одну выходную (y – *благоприятность* маркетинговой среды) переменные, отождествляемых в контексте суждений оценочными понятиями. Тогда модель для оценки маркетинговой среды университета можно интерпретировать в виде следующих импликативных правил:

d_1 : «Если x_1 =ДОСТАТОЧНАЯ и x_5 =УСТОЙЧИВОЕ и x_6 =ВОЗРАСТАЮЩАЯ и x_9 =ОБОСНОВАННОЕ и x_{12} =ВЫСОКИЙ, то y =БЛАГОПРИЯТНАЯ»;

d_2 : «Если x_1 =ДОСТАТОЧНАЯ и x_2 =ВЫСОКИЙ и x_5 =УСТОЙЧИВОЕ и x_6 =ВОЗРАСТАЮЩАЯ и x_7 =ВЫСОКОЕ и x_9 =ОБОСНОВАННОЕ и x_{11} =СБАЛАНСИРОВАННАЯ и x_{12} =ВЫСОКИЙ и x_{13} =БОЛЬШОЕ, то y =БОЛЕЕ ЧЕМ БЛАГОПРИЯТНАЯ»;

d_3 : «Если x_1 =ДОСТАТОЧНАЯ и x_2 =ВЫСОКИЙ и x_3 =ТЕСНЫЕ и x_4 =НЕПРЕРЫВНАЯ и x_5 =УСТОЙЧИВОЕ и x_6 =ВОЗРАСТАЮЩАЯ и x_7 =ВЫСОКОЕ и x_8 =ПОХОДЯЩЕЕ и x_9 =ОБОСНОВАННОЕ и x_{10} =СОВРЕМЕННАЯ и x_{11} =СБАЛАНСИРОВАННАЯ и x_{12} =ВЫСОКИЙ и x_{13} =БОЛЬШОЕ, то y =БЕЗУПРЕЧНАЯ»;

d_4 : «Если x_1 =ДОСТАТОЧНАЯ и x_2 =ВЫСОКИЙ и x_3 =ТЕСНЫЕ и x_5 =УСТОЙЧИВОЕ и x_6 =ВОЗРАСТАЮЩАЯ и x_7 =ВЫСОКОЕ и x_8 =ПОХОДЯЩЕЕ и x_{10} =СОВРЕМЕННАЯ и x_{11} =СБАЛАНСИРОВАННАЯ и x_{12} =ВЫСОКИЙ и x_{13} =БОЛЬШОЕ, то y =ОЧЕНЬ БЛАГОПРИЯТНАЯ»;

d_5 : «Если x_1 =ДОСТАТОЧНАЯ и x_2 =ВЫСОКИЙ и x_3 =НЕ ТЕСНЫЕ и

x_4 =ПОПЕРЕМЕННАЯ и x_5 =УСТОЙЧИВОЕ и x_6 =ВОЗРАСТАЮЩАЯ и x_7 =ВЫСОКОЕ и x_8 =ПОХОДЯЩЕЕ и x_9 =ОБОСНОВАННОЕ и x_{10} =СОВРЕМЕННАЯ и x_{11} =НЕСБАЛАНСИРОВАННАЯ и x_{12} =ВЫСОКИЙ и x_{13} =БОЛЬШОЕ, то y =БЛАГОПРИЯТНАЯ»;

d_6 : «Если x_2 =НЕВЫСОКИЙ и x_{10} =НЕСОВРЕМЕННАЯ и x_{11} =НЕСБАЛАНСИРОВАННАЯ и x_{12} =НЕВЫСОКИЙ, то y =НЕБЛАГОПРИЯТНАЯ».

Множество решений характеризуется набором критериев – оценочных понятий показателей x_i ($i=1\div 13$), которые опишем посредством нечётких подмножеств дискретного универсума $U=\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$. В качестве функции принадлежности этих множеств выберем Гауссовскую функцию вида [3]: $\mu(u)=\exp[-(u-10)^2/\sigma^2]$, где σ^2 – плотность распределения соседних элементов, определяющая ширину функции. Тогда, полагая для всех случаев фаззификации $\sigma=3.1$, оценочные понятия в левых частях правил $d_1\div d_6$ опишем в виде следующих нечётких множеств:

- ДОСТАТОЧНАЯ (поддержка государства): $X_1=\{0.4498/a_1; 0.0053/a_2; 0.9052/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$,
- ВЫСОКИЙ (конкурс абитуриентов): $X_2=\{0.4111/a_1; 0.9244/a_2; 0.2406/a_3; 0.7923/a_4; 0.5378/a_5\}$,
- ТЕСНЫЕ (связи с средними школами): $X_3=\{0.8924/a_1; 0.0224/a_2; 0.2287/a_3; 0.2414/a_4; 0.0356/a_5\}$,
- НЕПРЕРЫВНАЯ (популяризация медийными структурами): $X_4=\{0.0080/a_1; 0.0034/a_2; 0.5729/a_3; 0.0211/a_4; 0.2292/a_5\}$,
- УСТОЙЧИВОЕ (состояние национальной экономики): $X_5=\{0.2645/a_1; 0.9587/a_2; 0.5669/a_3; 0.0035/a_4; 0.0728/a_5\}$,
- ВОЗРАСТАЮЩАЯ (социально-демографическая динамика): $X_6=\{0.2551/a_1; 0.3121/a_2; 0.1871/a_3; 0.1183/a_4; 0.0018/a_5\}$,
- ВЫСОКОЕ (социально-культурное положение общества): $X_7=\{0.2873/a_1; 0.2373/a_2; 0.0071/a_3; 0.9948/a_4; 0.0262/a_5\}$,
- ПОХОДЯЩЕЕ (политико-правовое обеспечение общества): $X_8=\{0.0835/a_1; 0.7981/a_2; 0.9655/a_3; 0.0028/a_4; 0.5519/a_5\}$,
- ОБОСНОВАННОЕ (целевое ориентирование): $X_9=\{0.1063/a_1; 0.2280/a_2; 0.9709/a_3; 0.0039/a_4; 0.9588/a_5\}$,
- СОВРЕМЕННАЯ (технология обучения): $X_{10}=\{0.0368/a_1; 0.3570/a_2; 0.0655/a_3; 0.0289/a_4; 0.1137/a_5\}$,
- СБАЛАНСИРОВАННАЯ (организационная структура): $X_{11}=\{0.6973/a_1; 0.0163/a_2; 0.7767/a_3; 0.3890/a_4; 0.6742/a_5\}$,
- ВЫСОКИЙ (уровень преподавательского состава и подготовки персонала): $X_{12}=\{0.9473/a_1; 0.0460/a_2; 0.3807/a_3; 0.3181/a_4; 0.9543/a_5\}$,
- БОЛЬШОЕ (число конкурентов): $X_{13}=\{0.4219/a_1; 0.6837/a_2; 0.1032/a_3; 0.6449/a_4; 0.4139/a_5\}$.

Для описания термов из правых частей правил, в качестве универсума выберем дискретное множество $J=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 1\}$. Тогда $\forall j \in J$ в качестве подходящих функций принадлежности данных нечётких множеств выберем следующие [3]: F =БЛАГОПРИЯТНАЯ: $\mu_F(j)=j$; MF =БОЛЕЕ ЧЕМ БЛАГОПРИЯТНАЯ: $\mu_{MF}(j)=j^{1/2}$; VF =ОЧЕНЬ БЛАГОПРИЯТНАЯ: $\mu_{VF}(j)=j^2$; P =БЕЗУПРЕЧНАЯ: $\mu_P(j)=1$, если $j=1$

и $\mu_P(j)=0$, если $j<1$; UF =НЕБЛАГОПРИЯТНАЯ: $\mu_{UF}(j)=1-j$.

Таким образом, с учётом введенных формализмов для оценочных понятий правила $d_1 \div d_6$ можно переписать в следующем виде:

d_1 : «Если $x_1=X_1$ и $x_5=X_5$ и $x_6=X_6$ и $x_9=X_9$ и $x_{12}=X_{12}$, то $y=F$ »;

d_2 : «Если $x_1=X_1$ и $x_2=X_2$ и $x_5=X_5$ и $x_6=X_6$ и $x_7=X_7$ и $x_9=X_9$ и $x_{11}=X_{11}$ и $x_{12}=X_{12}$ и $x_{13}=X_{13}$, то $y=MF$ »;

d_3 : «Если $x_1=X_1$ и $x_2=X_2$ и $x_3=X_3$ и $x_4=X_4$ и $x_5=X_5$ и $x_6=X_6$ и $x_7=X_7$ и $x_8=X_8$ и $x_9=X_9$ и $x_{10}=X_{10}$ и $x_{11}=X_{11}$ и $x_{12}=X_{12}$ и $x_{13}=X_{13}$, то $y=P$ »;

d_4 : «Если $x_1=X_1$ и $x_2=X_2$ и $x_3=X_3$ и $x_5=X_5$ и $x_6=X_6$ и $x_7=X_7$ и $x_8=X_8$ и $x_{10}=X_{10}$ и $x_{11}=X_{11}$ и $x_{12}=X_{12}$ и $x_{13}=X_{13}$, то $y=VF$ »;

d_5 : «Если $x_1=X_1$ и $x_2=X_2$ и $x_3=\neg X_3$ и $x_4=\neg X_4$ и $x_5=X_5$ и $x_6=X_6$ и $x_7=X_7$ и $x_8=X_8$ и $x_9=X_9$ и $x_{10}=X_{10}$ и $x_{11}=\neg X_{11}$ и $x_{12}=X_{12}$ и $x_{13}=X_{13}$, то $y=F$ »;

d_6 : «Если $x_2=\neg X_2$ и $x_{10}=\neg X_{10}$ и $x_{11}=\neg X_{11}$ и $x_{12}=\neg X_{12}$, то $y=UF$ ».

Нечёткие логические операции «И» в левых частях правил $d_1 \div d_6$ осуществляется путём пересечения соответствующих нечётких множеств посредством нахождения минимума соответствующих значений функций принадлежности, а именно:

d_1 : $\mu_{M_1}(u)=\min\{\mu_{x_1}(u), \mu_{x_5}(u), \mu_{x_6}(u), \mu_{x_9}(u), \mu_{x_{12}}(u)\}$, где $M_1=\{0.1063/a_1; 0.0053/a_2; 0.1871/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$;

d_2 : $\mu_{M_2}(u)=\min\{\mu_{x_1}(u), \mu_{x_2}(u), \mu_{x_5}(u), \mu_{x_6}(u), \mu_{x_7}(u), \mu_{x_9}(u), \mu_{x_{11}}(u), \mu_{x_{12}}(u)\}$, где $M_2=\{0.1063/a_1; 0.0053/a_2; 0.0071/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$;

d_3 : $\mu_{M_3}(u)=\min\{\mu_{x_1}(u), \mu_{x_2}(u), \mu_{x_3}(u), \mu_{x_4}(u), \mu_{x_5}(u), \mu_{x_6}(u), \mu_{x_7}(u), \mu_{x_8}(u), \mu_{x_9}(u), \mu_{x_{10}}(u), \mu_{x_{11}}(u), \mu_{x_{12}}(u), \mu_{x_{13}}(u)\}$, где $M_3=\{0.0080/a_1; 0.0034/a_2; 0.0071/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$;

d_4 : $\mu_{M_4}(u)=\min\{\mu_{x_1}(u), \mu_{x_2}(u), \mu_{x_3}(u), \mu_{x_5}(u), \mu_{x_6}(u), \mu_{x_7}(u), \mu_{x_8}(u), \mu_{x_{10}}(u), \mu_{x_{11}}(u), \mu_{x_{12}}(u), \mu_{x_{13}}(u)\}$, где $M_4=\{0.0368/a_1; 0.0053/a_2; 0.0071/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$;

d_5 : $\mu_{M_5}(u)=\min\{\mu_{x_1}(u), \mu_{x_2}(u), 1-\mu_{x_3}(u), 1-\mu_{x_4}(u), \mu_{x_5}(u), \mu_{x_6}(u), \mu_{x_7}(u), \mu_{x_8}(u), \mu_{x_9}(u), \mu_{x_{10}}(u), 1-\mu_{x_{11}}(u), \mu_{x_{12}}(u), \mu_{x_{13}}(u)\}$, где $M_5=\{0.0368/a_1; 0.0053/a_2; 0.0071/a_3; 0.0028/a_4; 0.0016/a_5\}$;

d_6 : $\mu_{M_6}(u)=\min\{1-\mu_{x_2}(u), 1-\mu_{x_{10}}(u), 1-\mu_{x_{11}}(u), 1-\mu_{x_{12}}(u)\}$, где $M_6=\{0.0527/a_1; 0.0756/a_2; 0.2233/a_3; 0.2077/a_4; 0.0457/a_5\}$.

Тогда правила $d_1 \div d_6$ запишутся в ещё более компактной форме:

d_1 : «Если $x=M_1$, то $y=F$ »; d_2 : «Если $x=M_2$, то $y=MF$ »; d_3 : «Если $x=M_3$, то $y=P$ »; d_4 : «Если $x=M_4$, то $y=VF$ »; d_5 : «Если $x=M_5$, то $y=F$ »; d_6 : «Если $x=M_6$, то $y=UF$ ».

Операция импликации, например, посредством формулы Лукасевича [4]: $\mu_H(u, j)=\min\{1; 1-u+j\}$, трансформирует эти правила в нечёткие матричные отношения: $R_1, R_2, \dots, R_6$, пересечение которых в итоге дало функциональное решение в виде следующей матрицы:

$$R = \begin{bmatrix} & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ a_1 & 0.8937 & 0.9732 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9920 & 0.9473 \\ a_2 & 0.9947 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9966 & 0.9244 \\ a_3 & 0.8129 & 0.9129 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9929 & 0.9767 & 0.8767 & 0.7767 \\ a_4 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9972 & 0.9923 & 0.8923 & 0.7923 \\ a_5 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9543 \end{bmatrix}.$$

Согласно [6] нечёткий вывод относительно благоприятности маркетингового пространства для k -го университета ($k=1\div 5$) отражается в виде нечёткого множества E_k с соответствующими значениями функции принадлежности из k -ой строки матрицы R . В частности, вывод относительно благоприятности маркетингового пространства для a_1 интерпретируется в виде нечёткого множества: $E_1=\{0.8937/0; 0.9732/0.1; 0.9920/0.2; 0.9920/0.3; 0.9920/0.4; 0.9920/0.5; 0.9920/0.6; 0.9920/0.7; 0.9920/0.8; 0.9920/0.9; 0.9473/1\}$. Тогда, устанавливая α -уровневые множества $E_{1\alpha}$ и, находя их мощности как: $M(E_\alpha) = \sum_{j=1}^n u_j / n$, $u \in E_\alpha$, [3, 5], имеем:

- для $0 < \alpha < 0.8937$: $\Delta\alpha = 0.0392$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.5$;
- для $0.8937 < \alpha < 0.9473$: $\Delta\alpha = 0.19$, $E_{1\alpha} = \{0.1; 0.2; \dots, 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$;
- для $0.9473 < \alpha < 0.9732$: $\Delta\alpha = 0.17$, $E_{1\alpha} = \{0.1; 0.2; \dots, 0.8; 0.9\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.50$;
- для $0.9732 < \alpha < 0.9920$: $\Delta\alpha = 0.15$, $E_{1\alpha} = \{0.2; 0.3, \dots, 0.8; 0.9\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.55$.

Тогда численную (дефаззифицированную) оценку E_1 получим в виде:

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0.9920} [0.5 \cdot 0.8937 + 0.55 \cdot 0.0536 + 0.5 \cdot 0.0259 + 0.55 \cdot 0.0188] = 0.5036.$$

Аналогичными действиями устанавливаются дефаззифицированные значения и для остальных выходов: $F(E_2)=0.4965$; $F(E_3)=0.4915$; $F(E_4)=0.4842$; $F(E_5)=0.4978$. С точки зрения конкурентоспособности на рынке образовательных услуг среди рассматриваемых альтернатив наилучшим является университет a_1 , который характеризуется наибольшей оценкой своего маркетингового пространства 0.5036. Далее по убыванию: a_5 (0.4978), a_2 (0.4965), a_3 (0.4915) и a_4 (0.4842).

Выбор наиболее конкурентоспособного университета с применением нечёткого метода максиминной свёртки. В рассматриваемой задаче характеристики маркетингового пространства $\{x_1, x_2, \dots, x_{13}\}$ определяют оценочные понятия, а оценки альтернативных университетов a_k ($k=1\div 5$) представляют собой степени соответствия этим понятиям (или критериям). Согласно подходу к фаззификации оценочных понятий, предложенному в предыдущем разделе, оценка конкурентоспособности университетов по каждому i -му критерию представлены в виде нечётких множеств X_i ($i=1\div 13$). Тогда строится множество оптимальных альтернатив A путём пересечения нечётких множеств, содержащих оценки альтернатив по критериям X_i ($i=1\div 13$):

$$A = \bigcap_{i=1}^{13} X_i. \quad (1)$$

Как известно, операция пересечения нечётких множеств может быть реализована различными способами. Тем не менее, применим операцию, подразумевающую выбор минимального значения для альтернативы a_k ($k=1\div 5$), т.е. согласно [2, 5] имеем:

$$\mu_A(a_k) = \min_i \{\mu_{X_i}(a_k)\}. \quad (2)$$

Согласно методу максиминной свёртки наилучшей считается альтернатива a^* , которая с максимальным значением функции принадлежности относится к нечёткому множеству A , т.е. для неё должно выполняться следующее равенство:

$$\mu_A(a^*) = \max_k \{\mu_A(a_k)\}. \quad (3)$$

В нашем случае, где критериям оценки являются нечёткие множества X_i ($i=1\div 13$), построенные в предыдущем разделе, множество оптимальных альтернатив согласно формулам (2) и (3) формируется следующим образом:

$A = \{\min\{0.4498; 0.4111; 0.8924; 0.0080; 0.2645; 0.2551; 0.2873; 0.0835; 0.1063; 0.0368; 0.6973; 0.9473; 0.4219\}, \min\{0.0053; 0.9244; 0.0224; 0.0034; 0.9587; 0.3121; 0.2373; 0.7981; 0.2280; 0.3570; 0.0163; 0.0460; 0.6837\}, \min\{0.9052; 0.2406; 0.2287; 0.5729; 0.5669; 0.1871; 0.0071; 0.9655; 0.9709; 0.0655; 0.7767; 0.3807; 0.1032\}, \min\{0.0028; 0.7923; 0.2414; 0.0211; 0.0035; 0.1183; 0.9948; 0.0028; 0.0039; 0.0289; 0.3890; 0.3181; 0.6449\}, \min\{0.0016; 0.5378; 0.0356; 0.2292; 0.0728; 0.0018; 0.0262; 0.5519; 0.9588; 0.1137; 0.6742; 0.9543; 0.4139\}\}.$

Согласно равенству (3) результирующий вектор приоритетов альтернативных университетов будет иметь следующий вид:

$$\max\{\mu_A(a_k)\} = \max\{0.0080; 0.0034; 0.0071; 0.0028; 0.0016\} = 0.0080.$$

Таким образом, с точки зрения конкурентоспособности на рынке образовательных услуг среди рассматриваемых альтернатив наилучшим является университет a_1 , которому соответствует значение 0.0080. Далее по убыванию: $a_3 \rightarrow 0.0071$, $a_2 \rightarrow 0.0034$, $a_4 \rightarrow 0.0028$, $a_5 \rightarrow 0.0016$.

Заключение. Предложенные в статье подходы к нахождению наиболее конкурентоспособного университета путём агрегирования консолидированных экспертных оценок ключевых показателей их маркетинговых сред охватывает только произвольно выбранные пять университета, что предопределило выбор дискретного универсума $\{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, на базе которого были описаны качественные критерии оценки по средствам его нечётких подмножеств. В случае охвата большего количества университетов, качество описания критериев оценки показателей X_i ($i=1\div 13$) по средствам нечётких множеств заметно улучшится, что неминуемо положительно скажется и на адекватности последующего ранжирования.

Ранжирование рассматриваемых альтернатив нечётким методом вывода отличается от ранжирования нечётким методом максиминной свёртки. Это объясняется тем, что в отличие от метода нечёткого вывода, где конструкция выбранных импликативных правил определяется приоритетностью признаков x_i ($i=1\div 13$), при применении метода максиминной свёртки критерии оценки X_i ($i=1\div 13$) обладают одинаковыми степенями важности. Тем не менее, в обоих случаях оценивания в качестве наилучшей альтернативы был выбран один и тот же университет a_1 , что, надеемся, можно отнести в актив нашего исследования.

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 ценные советы при планировании настоящего исследования и рекомендации по оформлению статьи.

Библиографический список

1. Асаул А.Н., Капаров Б.М. Управление высшим учебным заведением в условиях национальной экономики / Под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула – СПб.: «Гуманистика», 2007. – 280 с.
2. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.
3. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
4. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – pp. 87–88.
5. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Asaul A.N.. Kaparov B.M. Upravleniye vysshim uchebnym zavedeniyem v usloviyakh natsionalnoy ekonomiki / Pod red. d.e.n.. prof. A.N. Asaula – SPb.: «Gumanistika». 2007. – 280 s.
2. Zadeh. L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.
3. Rzayev R.R. Analiticheskaya podderzhka prinyatiya resheniy v organizatsionnykh sistemakh. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing. 2016. – 306 s.
4. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company. 1970. – pp. 87–88.
5. Andreychikov A.V.. Andreychikova O.N. Analiz. sintez. planirovaniye resheniy v ekonomike – M.: Finansy i statistika. 2000. – 368 s.

Худадова Алла Константиновна, докторант, izabel21@mail.ru, Азербайджан, Баку, Бакинский государственный университет.

RANKING OF UNIVERSITIES ON THE BASE OF FUZZY METHODS OF MULTI-CRITERIA EVALUATION OF INDICATORS OF THEIR COMPETITIVENESS

A. K. Khudadova

Fuzzy models for estimating the marketing space of educational services and the competitive position of universities in the labor market are developed and tested. In the context of this study, competitiveness indicators characterized randomly selected universities are ranked.

Key words: competitiveness of the university, marketing space, fuzzy set, fuzzy conclusion.

Khudadova Alla Konstantin, candidate for a degree, izabel21@mail.ru, Azerbaijan, Baku, Baku State University.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

Заморёнова Д.В.¹, Заморёнов М.В.¹

Аннотация. В статье приводится имитационная модель функционирования системы облачного хранения данных, обрабатывающей запросы на чтение. Проводится верификация известной аналитической модели такой системы путем сравнения результатов моделирования, определяются математические ожидания времени цикла полного времени обработки запроса на чтение по аналитической и имитационной модели при одинаковых исходных данных. Определяется относительная погрешность результатов моделирования.

Ключевые слова. Имитационное моделирование, верификация модели, математическое ожидание, относительная погрешность.

Облачные вычисления (англ. cloud computing) — технология распределённой обработки данных (в том числе и хранения), в которой компьютерные ресурсы и мощности предоставляются пользователю как Интернет-сервис. Облачные вычисления – это мощный подход к проведению ресурсоемких вычислений. Он получает все большую популярность. Каждый пользователь хоть раз обращался к услугам сервисов, предоставляющих возможность работать с приложениями, не устанавливая их на компьютер.

Облачное хранилище данных — модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных, распределённых в сети серверах, предоставляемых в пользование клиентам, в основном третьей стороной.

Целью проводимых исследований является построение имитационной модели стохастической системы облачного хранения данных (СОХД), позволяющей определять среднее время обработки запросов от пользователей, для проверки правильности аналитической модели функционирования СОХД.

Проверка правильности построенных математических моделей возможна путем сравнения результатов расчетов с результатами, полученными путем имитационного моделирования (ИМ).

Имитационную модель можно «проиграть» во времени как для одного испытания, так и заданного их множества. При этом результаты будут определяться случайным характером процессов. По этим данным можно получить достаточно устойчивую статистику.

ИМ является широко применяемым методом решения задач анализа и проектирования сложных систем. К ИМ прибегают, когда дорого или невозможно экспериментировать на реальном объекте, невозможно построить аналитическую модель или необходимо симитировать поведение системы во времени.

Причём плюсом является то, что временем в модели можно управлять: замедлять в случае с быстропротекающими процессами и ускорять для моделирования систем с медленной изменчивостью.

На первом этапе необходимо составить алгоритм анализа функционирования СОХД. Для решения задачи составления алгоритма воспользуемся структурным проектированием по методу сверху вниз, которое получило наибольшее распространение. Метод непосредственно основан на топологии традиционных языков высокого уровня. В этих языках основной базовой единицей является подпрограмма, и программа в целом принимает форму дерева, в котором одни подпрограммы в процессе работы вызывают другие подпрограммы.

Структурное проектирование использует следующий подход: алгоритмическая декомпозиция применяется для разбиения большой задачи на более мелкие.

Применительно к данной задаче в виде отдельных процедур реализованы: определение закона распределения потока отказов для каждого канала СОХД; определение интенсивности потока времен обслуживания каждой из подсистем СОХД; определение МО времени обработки запроса; определение дисперсии времени обработки запроса.

СОХД можно рассматривать как дискретную стохастическую систему с постоянной структурой. Любая подобная система неизбежно испытывает различные возмущения, источниками которых могут быть либо внешние воздействия, обусловленные случайными или систематическими изменениями окружающих условий, либо внутренние флуктуации, возникающие в самой системе в результате взаимодействия элементов. При исследовании эти системы обычно представляются в виде стохастических моделей дискретных процессов. Несмотря на успешное применение методов аналитического моделирования, достаточно эффективным методом исследования таких систем остается имитационное моделирование на ЭВМ с применением специализированных систем. В данном случае основной целью проведения имитационного моделирования является проверка правильности аналитической модели функционирования СОХД.

Система GPSS предоставляет пользователю законченную высокоуровневую информационную технологию создания имитационных моделей. В этой системе имеются средства формализованного описания параллельных дискретных процессов в виде условных графических изображений или с помощью операторов собственного языка. Координация процессов осуществляется автоматически в едином модельном времени. Пользователь в случае необходимости может ввести свои правила синхронизации событий. Имеются средства управления моделью, динамической отладки и автоматизации обработки результатов. В языке GPSS предусмотрены различные виды объектов, используемых при моделировании дискретных систем: сообщения, устройства, многоканальные устройства, очереди и т.д.

При построении ИМ для СОХД допущения по режиму её функционирования принимаются такими, как и для аналитико-вероятностной

модели. Известны ФР $F_1(t)$ и $G_1(t)$ случайных величин (СВ) α_1 и γ_1 , которые являются временами обработки запросов на чтение от пользователя к кэш-памяти и от кэш-памяти к СОХД соответственно, а также ФР $F_2(t)$ и $G_2(t)$ случайных величин α_2 и γ_2 – времен между сбоями в каналах связи между пользователем и модулями памяти и между кэш-памятью и СеХД. Кроме этого известна ФР $R(t)$ СВ β – времени поиска данных в кэш-памяти и вероятность p нахождения требуемой информации в модулях памяти. Также известна вероятность p нахождения данных в кэш-памяти системы.

При построении модели принимается допущение о том, что при возникновении сбоя в канале передачи данных выполнение пользовательского запроса на чтение начинается сначала.

Законы распределения времени обслуживания единицы продукции, наработки на отказ и восстановления ячейки будем полагать обобщенными Эрланга второго порядка.

Время моделирования принимается 100000 часов, единица модельного времени – 1 сек.

Программа на языке GPSS представляет собой последовательность блоков, задающих параметры объектов модели и действия, производимые над этими объектами.

ИМ СОХД состоит из четырёх следующих сегментов: сегмент 1, описывающий процесс функционирования СОХД и сегмент 2 – таймер.

Процесс передачи данных по каждому из каналов имитируется обработкой транзактов в одном из одноканальных устройств (kanal1 или kanal2). Нарботка на отказ в передаче информации по каналу имитируется обработкой транзактов в одноканальных устройствах (otkkanal1 и otkkanal2).

Прерывание в обслуживании на устройствах kanal1 или kanal2 имитирующее сбой передачи информации обеспечивается блоком PREEMPT.

Статистическая информация собирается в таблице при помощи блока TABULATE, при помощи которого сохраняется информация о времени, проведенном транзактом в системе.

Текст программы на языке GPSS приведен на **Рис.1**.

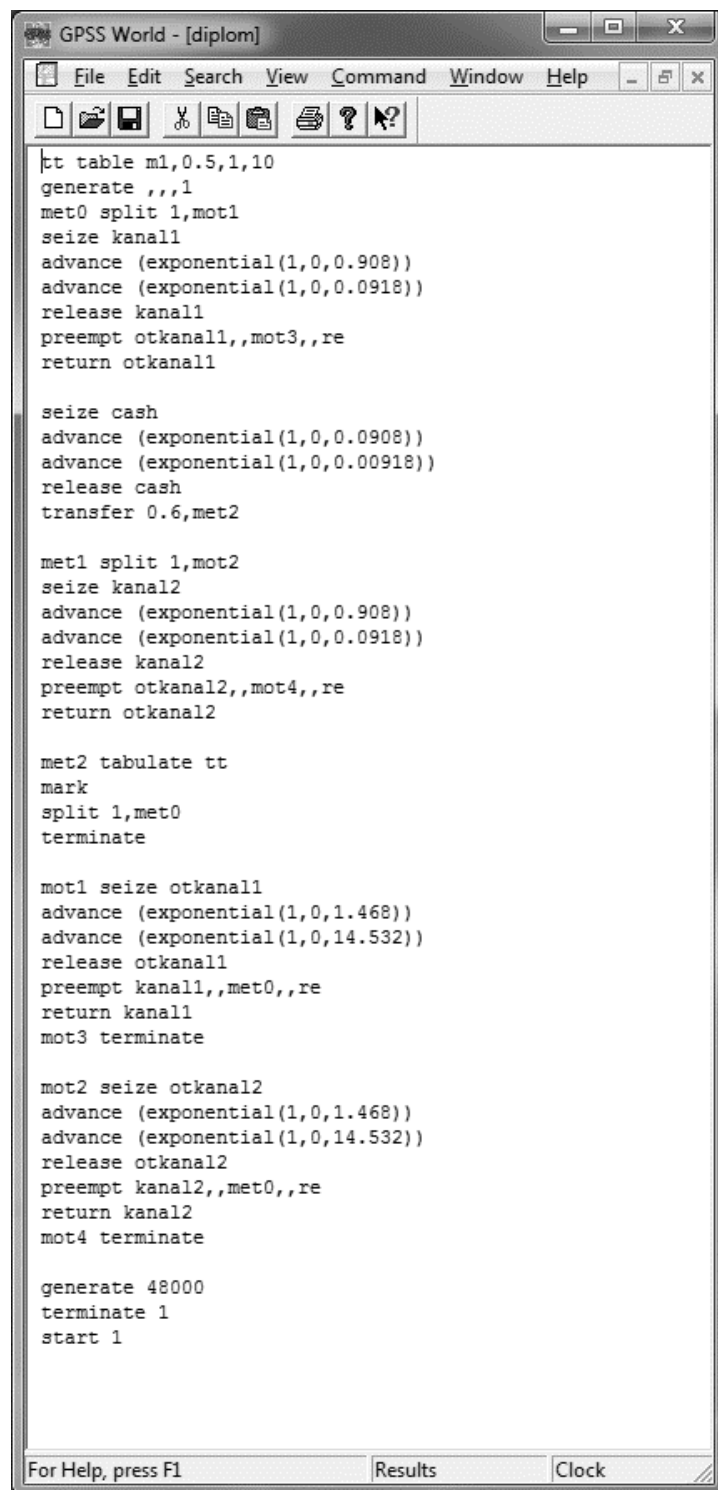


Рис.1 – Программа на GPSS

В рамках проведения экспериментов сравниваются результаты аналитического и имитационного моделирования СОХД.

В ходе экспериментов необходимо определить вид плотности распределения $f^{\Sigma}(t)$ времени обслуживания запроса, математическое ожидание и дисперсию.

Аналитическое решение задачи в области изображений по Лапласу, полученное методом траекторий [шевченко скопус] имеет вид:

$$f^{\Sigma}(s) = \frac{P_1^2 \cdot P_2^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s)}{1 - P_1^1 \cdot f_1(s)} + \frac{P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s) \cdot f_3(s)}{(1 - P_1^1 \cdot f_1(s)) \cdot (1 - P_3^3 \cdot f_3(s))}$$

где s – комплексная переменная оператора Лапласа.

В **Таблице 1** представлены результаты экспериментов, где $M_{вр}$ – математическое ожидание времени полного цикла обслуживания запроса на чтение, полученное с помощью одного эксперимента с имитационной моделью, $M_{им}$ – среднее время полного цикла обслуживания запроса на чтение по всем экспериментам с имитационной моделью, $M_{ан}$ – математическое ожидание времени полного цикла обслуживания запроса на чтение, полученное аналитически, $\delta_{отн}$ – относительная погрешность результатов моделирования.

Таблица 1. – Сравнение результатов моделирования

$M_{вр}$	$M_{им}$	$M_{ан}$	$\delta_{отн}$
1,72	1,717	1,703	0,8%
1,708			
1,713			
1,713			
1,722			
1,724			
1,716			
1,715			
1,704			
1,729			
1,713			
1,72			
1,716			
1,719			
1,718			
1,728			
1,716			
1,719			
1,71			

Как видно из **Таблицы 1**, математическое ожидание времени обработки запроса по аналитической и имитационной модели различается на 0,8%;

Полученные результаты имеют статистически устойчивый характер и в целом позволяют утверждать о правильности построения аналитической модели.

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

Библиографический список

1. NIST Special Publication 500-307 Cloud Computing Service Metrics Description, NIST Cloud Computing Reference Architecture and Taxonomy Working

Group. The Web: [http://www.nist.gov/itl/cloud / upload the / RATAX-Cloud Service Metrics Description-DRAFT-20141111.pdf](http://www.nist.gov/itl/cloud/upload%20the%20RATAX-Cloud%20Service%20Metrics%20Description-DRAFT-20141111.pdf)

2. A.V. Skatkov, V.I. Shevchenko Extension of the reference model of the cloud computing environment in the concept of large-scale scientific research. Proceedings of ISP RAS. № 6. pp. 285-306. (2015).

3. F. Doelitzscher, T. Ruebsamen, T. Karbe, M. Knahl and C. Reich, "Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language", International Journal on Advances in Networks and Services, № 6 (1&2) (2013).

4. S. Singha, S.D. Satav, "A Survey Paper on Cloud Storage Auditing with Key Exposure Resistance", International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4. pp. 1821-1823. (2015).

5. M. V. Zamoryonov. Semi-markov model of processing requests to the cloud storage. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017). - MATEC Web of Conferences 129, 03026 (2017).

6. . 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.

7. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Кудрявцев Е.М. ДМК, Пресс 2004, 5-94074-219-X.

8. Томашевский В.Н. Имитационное моделирование в среде GPSS [Текст] / В.Н. Томашевский, Е.Г. Жданова. – М.: Бестселлер, 2003. — 416 с.

9. 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.

Bibliograficheskij spisok

1. NIST Special Publication 500-307 Cloud Computing Service Metrics Description, NIST Cloud Computing Reference Architecture and Taxonomy Working Group. The Web: [http://www.nist.gov/itl/cloud / upload the / RATAX-Cloud Service Metrics Description-DRAFT-20141111.pdf](http://www.nist.gov/itl/cloud/upload%20the%20RATAX-Cloud%20Service%20Metrics%20Description-DRAFT-20141111.pdf)

2. A.V. Skatkov, V.I. Shevchenko Extension of the reference model of the cloud computing environment in the concept of large-scale scientific research. Proceedings of ISP RAS. № 6. pp. 285-306. (2015).

3. F. Doelitzscher, T. Ruebsamen, T. Karbe, M. Knahl and C. Reich, "Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language", International Journal on Advances in Networks and Services, № 6 (1&2) (2013).

4. S. Singha, S.D. Satav, "A Survey Paper on Cloud Storage Auditing with Key Exposure Resistance", International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4. pp. 1821-1823. (2015).

5. M. V. Zamoryonov. Semi-markov model of processing requests to the cloud storage. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies

and Equipment (ICMTMTE 2017). - MATEC Web of Conferences 129, 03026 (2017).

6. 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.

7. GPSS World. Osnovy imitacionnogo modelirovaniya razlichnyh sistem / Kudryavcev E.M. DМК, Press 2004, 5-94074-219-H.

8. Tomashevskij V.N. Imitacionnoe modelirovanie v srede GPSS [Tekst] / V.N. Tomashevskij, E.G. ZHdanova. – M.: Bestseller, 2003. — 416 s.

9. 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,

Заморёнов Михаил Вадимович, канд. техн. наук, доц. кафедры "Информационные технологии и компьютерные системы", zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет.

IMITATION MODEL OF THE PROCESS OF FUNCTIONING OF CLOUD DATA STORAGE SYSTEM

Zamoryonova D. V., Zamoryonov M. V.

Annotation. The article presents an imitation model for the functioning of a cloud data storage system that processes requests for reading. A well-known analytical model of such a system is verified by comparing the simulation results, the mathematical expectations of the cycle time of the total processing time of the read request by the analytical and simulation model are determined with the same initial data. The relative error of the simulation results is determined.

Keywords: simulation modeling, model verification, mathematical expectation, relative error.

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,

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor, "Information technologies and computer systems" department, zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol national university.

ФАЗОВОЕ УКРУПНЕНИЕ ПОЛУМАРКОВСКОЙ СИСТЕМЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ ДВУХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Копп В.Я.¹, Заморёнов М.В.², Чаленков Н.И.³

Аннотация. Рассматривается фазовое укрупнение полумарковской системы с общим фазовым пространством, состоящей из двух последовательно соединенных технологических ячеек, обеспечивающее значительное удобство моделирования данной системы. Определены функции распределения времен пребывания системы в каждом из укрупненных (дискретных) состояний, а также в подмножествах работоспособных и неработоспособных и неработоспособных состояний. Произведено сравнение результатов моделирования рассматриваемым методом и методом моделирования неукрупненной системы, показавшее практически полное совпадение искомых величин. Проведенные исследования позволяют упростить моделирование сложных, иерархически организованных систем, содержащих последовательное соединение входящих в нее элементов.

Ключевые слова: полумарковская система; алгоритм фазового укрупнения; функция распределения; непрерывные состояния; времена пребывания в состояниях; плотности вероятностей перехода; вложенная цепь Маркова.

Введение. Математический аппарат полумарковских процессов [1, 17] является мощным средством моделирования стохастических систем с общим фазовым пространством. Удобству его применения способствует алгоритм фазового укрупнения, подробно формализованный в [1]. В ряде случаев при моделировании сложных комплексов их удобно представлять в виде иерархически организованной системы. При этом целесообразно упростить модели элементов нижних уровней иерархии, произведя их фазовое укрупнение, эквивалентно заменяя структуры с общим фазовым пространством структурами с дискретными состояниями.

Довольно часто в технических системах используется последовательное соединение технологических ячеек (ТЯ). В данной статье рассматриваются соединенные последовательно две ТЯ и приводится модель их совместного функционирования.

Целью представленных в статье исследований является построение полумарковской модели структуры состоящей из двух последовательно соединенных ТЯ на базе алгоритма фазового укрупнения. При этом ПМ состояния на графе, содержащие непрерывную компоненту, эквивалентно заменяются укрупненными дискретными состояниями. Дальнейшее построение и использование рассматриваемой ПМ модели не вызывает сложностей.

Как указано выше, рассматриваемая система содержит две последовательно соединенных ТЯ. Функции распределения времен наработки на отказ $F_1(t)$, $F_2(t)$ и времен восстановления $G_1(t)$, $G_2(t)$ первой и второй ТЯ:

$$F_1(t) = P\{\alpha_1 < t\}, \quad G_1(t) = P\{\beta_1 < t\}, \quad \bar{F}_1(t) = 1 - F_1(t), \quad \bar{G}_1(t) = 1 - G_1(t),$$

$$F_2(t) = P\{\alpha_2 < t\}, \quad G_2(t) = P\{\beta_2 < t\}, \quad \bar{F}_2(t) = 1 - F_2(t), \quad \bar{G}_2(t) = 1 - G_2(t).$$

При отказе первого элемента второй прекращает работу и наоборот, т.е. система функционирует только при исправности обоих ТЯ. Отсюда физические состояния системы:

1 — оба элемента исправны;

2 — отказал первый элемент;

3 — отказал второй элемент.

Полумарковские состояния:

100х — элементы 1 и 2 исправны, система находится в работоспособном состоянии, последнее изменение состояния произошло в элементе 1, который перешел из неисправного состояния в исправное, до окончания работы элемента 2 осталось время х;

200х — элементы 1 и 2 исправны, система находится в работоспособном состоянии, последнее изменение состояния произошло в элементе 2, который перешел из неисправного состояния в исправное, до окончания работы элемента 1 осталось время х;

110х — элемент 1 отказал, система находится в отказовом состоянии, до окончания работы второго элемента осталось время х (в этом состоянии второй элемент отказать не может - в нем изменений не происходит);

201х — элемент 2 отказал, система находится в отказовом состоянии, до окончания работы первого элемента осталось время х (в этом состоянии первый элемент отказать не может — в нем изменений не происходит).

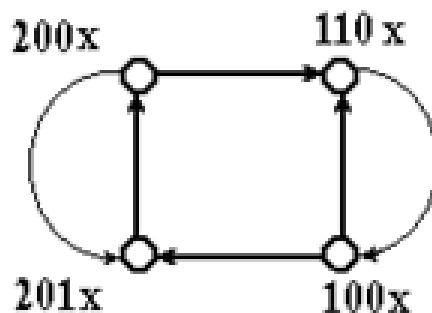


Рис.1 – Граф состояний (а) и временная диаграмма (б) функционирования двухфазной системы

Время пребывания в состоянии 100х определяется двумя факторами: отказом первого элемента, который происходит через время α_1 , и отказом второго элемента — через время α_2 .

Аналогично определяется время пребывания в состоянии 200х. Времена пребывания в состояниях 110х и 201х определяются временами β_1 и β_2 восстановлений первого и второго элементов соответственно.

Времена пребывания в полумарковских состояниях θ равны

$$\theta_{100x} = \alpha_1 \wedge x; \quad \theta_{200x} = \alpha_2 \wedge x; \quad \theta_{110x} = \beta_1; \quad \theta_{201x} = \beta_2.$$

$$\begin{cases} \{100x \rightarrow 110, x - \alpha_1\} = \{\alpha_1 < x\}; \\ \{100x \rightarrow 201, \alpha_1 - x\} = \{\alpha_1 > x\}; \\ \{200x \rightarrow 201, x - \alpha_2\} = \{\alpha_2 < x\}; \\ \{200x \rightarrow 110, \alpha_2 - x\} = \{\alpha_2 > x\}; \\ \{201x \rightarrow 200x\} = \{\beta_2 < t\}; \\ \{110x \rightarrow 100x\} = \{\beta_1 < t\}. \end{cases} \quad (4.3.2)$$

Функции распределения времен пребывания в состояниях равны

$$\begin{cases} \bar{G}_{100x}(t) = P\{\alpha_1 \wedge x > t\} = \bar{F}_1(t) \bar{I}_x(t) = \begin{cases} \bar{F}_1(t), t < x; \\ 0, t \geq x; \end{cases} \\ \bar{G}_{200x}(t) = P\{\alpha_2 \wedge x > t\} = \bar{F}_2(t) \bar{I}_x(t) = \begin{cases} \bar{F}_2(t), t < x; \\ 0, t \geq x; \end{cases} \\ \bar{G}_{110x}(t) = \bar{G}_1(t); \\ \bar{G}_{201x}(t) = \bar{G}_2(t); \end{cases}$$

где $I_x(t) = I(t - x)$ — единичное распределение в точке x .

Выражения для плотностей вероятностей перехода вложенной цепи Маркова

$$\begin{cases} p_{100x,110dy} = P\{100x \rightarrow 110, x - \alpha_1 \in dy\} = P\{\alpha_1 \in x - dy\} = F_1(x - dy); \\ p_{100x,201dy} = P\{100x \rightarrow 201, \alpha_1 - x \in dy\} = P\{\alpha_1 \in x + dy\} = F_1(x + dy); \\ p_{200x,201dy} = P\{200x \rightarrow 201, x - \alpha_2 \in dy\} = P\{\alpha_2 \in x - dy\} = F_2(x - dy); \\ p_{200x,110dy} = P\{200x \rightarrow 110, \alpha_2 - x \in dy\} = P\{\alpha_2 \in x + dy\} = F_2(x + dy). \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_{110x,100x} = 1; \\ P_{201x,200x} = 1. \end{cases}$$

Стационарное распределение вложенной цепи Маркова

$$\begin{cases} \rho_{110}(x) = \int\limits_x^\infty f_1(y - x) \rho_{100}(y) dy + \int\limits_0^\infty f_2(y + x) \rho_{200}(y) dy; \\ \rho_{201}(x) = \int\limits_0^\infty f_1(y + x) \rho_{100}(y) dy + \int\limits_x^\infty f_2(y - x) \rho_{200}(y) dy; \\ \rho_{100}(x) = \rho_{110}(x); \\ \rho_{200}(x) = \rho_{201}(x). \end{cases}$$

Решая данную систему уравнений получаем

$$\begin{cases} \rho_{100}(x) = \rho_{110}(x) = \rho_0 \bar{F}_2(x); \\ \rho_{200}(x) = \rho_{201}(x) = \rho_0 \bar{F}_1(x), \end{cases}$$

ρ_0 возможно получить из условия нормировки $\int_X \rho(dx) = 1$

Подмножества состояний:

$$\begin{cases} M_+ = \{100x, 200x, x \geq 0\}; \\ M_- = \{110x, 201x, x \geq 0\}. \end{cases}$$

Для перехода к дискретной системе используется алгоритм фазового укрупнения (АФУ) [1].

Необходимо определить вероятности переходов, стационарное распределение ВЦМ и ФР времен пребывания системы в дискретных состояниях S_{100} и S_{200} системы по формулам:

$$\hat{P}_{k,r} = \frac{\int_{E_k}^{\infty} \rho(dx) P(x, E_r)}{\rho(E_k)} \quad (1)$$

$$\hat{F}_k(t) = \frac{\int \rho(dx) F_x(t)}{\rho(E_k)} \quad (2)$$

Для состояния S_{200} , используя (1) и учитывая, что $\rho_{200} = \rho_0 \int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) dx = \rho_0 m_{\alpha_1}$, получим:

$$\begin{aligned} P_{200}^{201} &= \frac{\rho_0 \int_0^{\infty} \int_0^x f_2(x-y) \bar{F}_1(x) dy dx}{\rho_0 m_{\alpha_1}} = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) dx \int_0^x f_2(x-y) dy}{m_{\alpha_1}} = \left[\begin{array}{l} z = x - y \\ dz = -dy \\ y = 0 : z = x \\ y = x : z = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) dx \int_0^x f_2(z) dz}{m_{\alpha_1}} = \\ &= \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) F_2(x) dx}{m_{\alpha_1}}. \end{aligned}$$

$$P_{200}^{101} = 1 - \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_1(x) F_2(x) dx}{m_{\alpha_1}}.$$

Найдем ФР времени пребывания системы в дискретном состоянии S_{200} , используя (2):

$$\hat{F}_{200}(t) = \frac{\rho_0 \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_2(t)] dx}{\rho_0 m_{\alpha_1}} = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_2(t)] dx}{m_{\alpha_1}}$$

Рассмотрим числитель

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_2(t)] dx &= \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) dy - \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) dy [\bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_2(t)] dx = m_{\alpha_1} - \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(t) dy + \\ &+ \int_0^{\infty} \bar{F}_1(y) I_x(t) \bar{F}_2(t) dy = m_{\alpha_1} - m_{\alpha_1} \bar{F}_2(t) + \int_0^t \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(t) dy = m_{\alpha_1} F_2(t) + \bar{F}_2(t) \int_0^t \bar{F}_1(y) dy. \end{aligned}$$

Тогда $\hat{F}_{200}(t)$ равна

$$\hat{F}_{200}(t) = \frac{m_{\alpha_1} F_2(t) + \bar{F}_2(t) \int_0^t \bar{F}_1(y) dy}{m_{\alpha_1}}$$

Для состояния S_{100} , используя (1) и учитывая, что $\rho_{100} = \rho_0 \int_0^{\infty} \bar{F}_2(x) dx = \rho_0 m_{\alpha_2}$,

получим:

$$\begin{aligned} P_{100}^{101} &= \frac{\rho_0 \int_0^{\infty} \int_0^x f_1(x-y) \bar{F}_2(x) dy dx}{\rho_0 m_{\alpha_2}} = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_2(x) dx \int_0^x f_1(x-y) dy}{m_{\alpha_2}} = \left[\begin{array}{l} z = x - y \\ dz = -dy \\ y = 0 : z = x \\ y = x : z = 0 \end{array} \right] = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_2(x) dx \int_0^x f_1(z) dz}{m_{\alpha_2}} = \\ &= \frac{\int_0^{\infty} F_1(x) \bar{F}_2(x) dx}{m_{\alpha_2}}. \end{aligned}$$

$$P_{100}^{201} = 1 - \frac{\int_0^{\infty} F_1(x) \bar{F}_2(x) dx}{m_{\alpha_2}}.$$

Найдем ФР времени пребывания системы для в дискретном состоянии S_{100} , используя (2):

$$\hat{F}_{100}(t) = \frac{\rho_0 \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_1(t)] dx}{\rho_0 m_{\alpha_2}} = \frac{\int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_1(t)] dx}{m_{\alpha_2}}$$

Рассмотрим числитель

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) dy [1 - \bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_1(t)] dx &= \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) dy - \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) dy [\bar{I}_x(t) \cdot \bar{F}_1(t)] dx = m_{\alpha_1} - \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) \bar{F}_1(t) dy + \\ &+ \int_0^{\infty} \bar{F}_2(y) I_x(t) \bar{F}_1(t) dy = m_{\alpha_2} - m_{\alpha_2} \bar{F}_1(t) + \int_0^t \bar{F}_2(y) \bar{F}_1(t) dy = m_{\alpha_2} F_1(t) + \bar{F}_1(t) \int_0^t \bar{F}_2(y) dy. \end{aligned}$$

Тогда $\hat{F}_{100}(t)$ равна

$$\hat{F}_{100}(t) = \frac{m_{\alpha_2} F_1(t) + \bar{F}_1(t) \int_0^t \bar{F}_2(y) dy}{m_{\alpha_2}}$$

После определения вероятностей $\hat{P}_{k,r}$ переходов и ФР $\hat{F}_k(t)$ времен пребывания системы в дискретных состояниях нахождение стационарного

распределения $\hat{\rho}_k$, ВЦМ для укрупненной системы не вызывает трудностей, оно определяется по формуле: $\hat{\rho}_k = \sum_{r \in E} \hat{\rho}_r \cdot \hat{P}_{k,r}$.

Таким образом, классическим методом [1] был осуществлен переход к эквивалентной системе с дискретными состояниями. Граф такой системы представлен на Рис.1. Как видно из Рис.2, у состояний графа отсутствуют непрерывные компоненты, то есть система является дискретной.

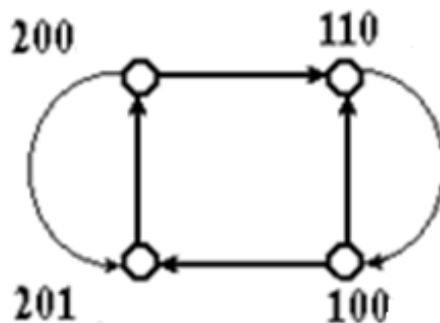


Рис.2 – Граф состояний системы с дискретными состояниями

$$\rho_k = \sum_{r \in E} \rho_r \cdot p_{rk},$$

что для дискретной системы не представляет сложности:

$$\begin{cases} \rho_{100} = \frac{P_{200}^{110}}{2 \cdot (P_{200}^{110} + P_{100}^{201})} \\ \rho_{110} = \rho_{100} \\ \rho_{200} = \frac{P_{100}^{201}}{2 \cdot (P_{200}^{110} + P_{100}^{201})} \\ \rho_{201} = 1 - \rho_{100} - \rho_{110} - \rho_{200} \end{cases}$$

Далее Находятся функции распределения $F_p(t)$, $F_m(t)$ времен наработки на отказ и восстановления всей системы, для чего воспользуемся формулой смеси, где коэффициентами взвеси будут служить условные вероятности удельных частот попадания в соответствующие состояния ($\hat{\rho}_{100}$ и $\hat{\rho}_{200}$ для наработки на отказ, $\hat{\rho}_{110}$ и $\hat{\rho}_{201}$ для времени восстановления):

$$F_p(t) = \hat{F}_{100}(t) \cdot \frac{\hat{\rho}_{100}}{\hat{\rho}_{100} + \hat{\rho}_{200}} + \hat{F}_{200}(t) \cdot \frac{\hat{\rho}_{200}}{\hat{\rho}_{100} + \hat{\rho}_{200}};$$

$$F_m(t) = \hat{F}_{110}(t) \cdot \frac{\hat{\rho}_{110}}{\hat{\rho}_{110} + \hat{\rho}_{201}} + \hat{F}_{201}(t) \cdot \frac{\hat{\rho}_{201}}{\hat{\rho}_{110} + \hat{\rho}_{201}}.$$

Коэффициент готовности такой системы равен:

$$K_r = \frac{mF_p(t)}{mF_p(t) + mF_m(t)}.$$

Ниже представлены результаты моделирования и исходные данные, при которых проводилось моделирование.

Исходными данными для моделирования служат ФР $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$ и $G_2(t)$, распределенные по закону Эрланга второго порядка с параметрами ν , λ , μ , γ . Причем

$$f_1(t) = \frac{\nu_1 \nu_2 (e^{-\nu_1 t} - e^{-\nu_2 t})}{\nu_2 - \nu_1}; \quad f_2(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1};$$

$$g_2(t) = \frac{\mu_1 \mu_2 (e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})}{\mu_2 - \mu_1}; \quad g_2(t) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t})}{\gamma_2 - \gamma_1},$$

где $\nu_1 = 2.00$ (ч⁻¹); $\nu_2 = 0.05$ (ч⁻¹); $\lambda_1 = 2$ (ч⁻¹); $\lambda_2 = 0.1$ (ч⁻¹);

где $\mu_1 = 2$ (ч⁻¹); $\mu_2 = 0.18$ (ч⁻¹); $\gamma_1 = 1$ (ч⁻¹); $\gamma_2 = 0.5$ (ч⁻¹).

Математические ожидания времен наработки на отказ и восстановления соответственно равны: $m_1 = 20.5$; $m_2 = 10.5$; $m_{g1} = 6$; $m_{g2} = 3$.

На **Рис.3** представлены результаты моделирования функций $\hat{F}_{100}(t)$ и $\hat{F}_{200}(t)$ распределения времени пребывания системы в состояниях (а) S_{100} и (б) S_{200} .

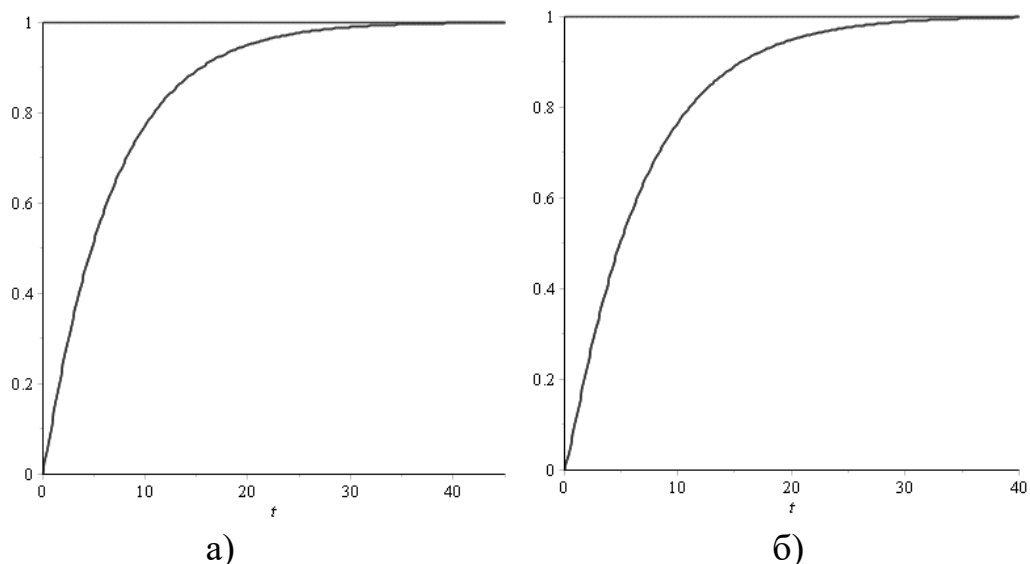


Рис.3 – Результаты моделирования функций $\hat{F}_{100}(t)$ и $\hat{F}_{200}(t)$ времени пребывания в состояниях (а) S_{100} и (б) S_{200}

На **Рис.4** представлены результаты моделирования функций распределения $F_p(t)$ и $F_m(t)$ времен наработки на отказ и восстановления всей системы. На данные результаты наложены результаты моделирования неукрупненной системы, полученные в [17]. Кривые полностью совпали, что доказывает правильность проведенных выкладок.

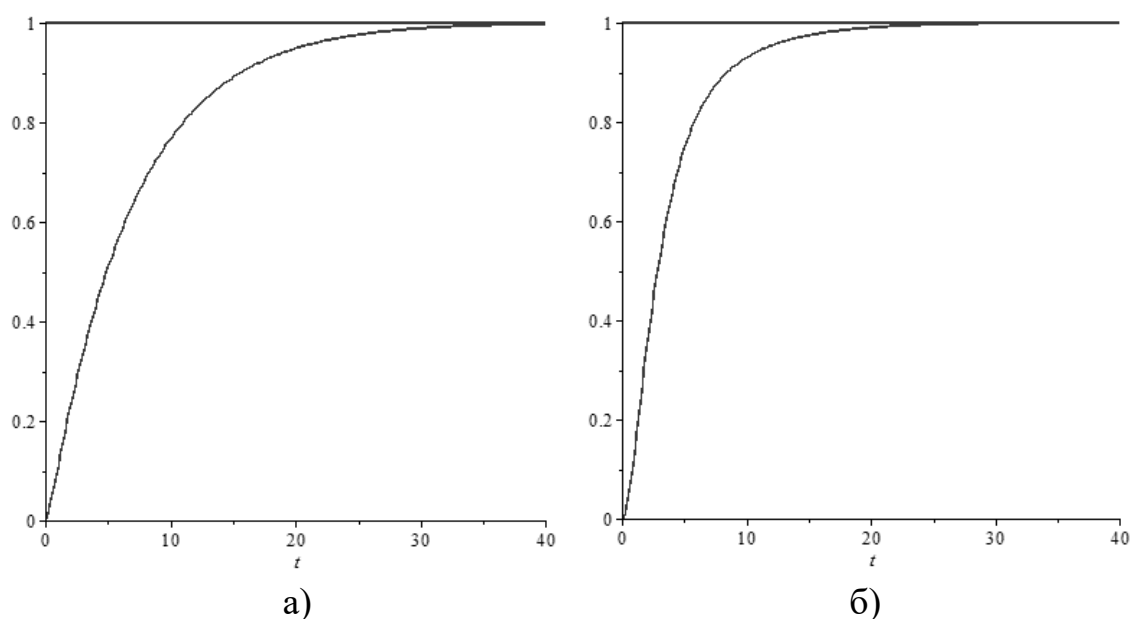


Рис.5 – Результаты моделирования функций $\hat{F}_p(t)$ и $\hat{F}_m(t)$

распределения времени наработки на отказ и восстановления системы

Представленный пример моделирования системы, состоящей из двух последовательно соединенных ячеек, подтверждает правильность проведенного фазового укрупнения нерегенерирующей полумарковской системы с общим фазовым пространством состояний. Результаты моделирования рассматриваемым методом и методом моделирования неукрупненной системы [17] показали практически полное совпадение искомых величин, что наряду с простотой использованного метода, представляет широкие возможности использования построенной модели для решения задач исследования более сложных полумарковских систем, в которые рассмотренная структура входит составляющей частью.

В дальнейшем планируется использовать метод фазового укрупнения для моделирования различных стохастических систем.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации (№1.10513.2018/11.12) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 18-01-00392а).

Библиографический список

1. Королук В.С. Стохастические модели систем / Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наук. думка. 1989. 208 с.
2. Королук В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надёжности систем. Киев: Наук. думка. 1982. 236 с.
3. I.A. Ushakov, Probabilistic Reliability Models (Wiley, 2012).
4. D.D. Yao, J.A. Buzacott, Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models// Management Science, 32 (1986) 890-905.
5. J. MacGregor Smith, B. Tan (Eds.), Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations (Springer-Verlag New York, 2013).

6. G.L. Curry, R.M. Feldman, Manufacturing Systems Modeling and Analysis, 2nd Edition (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011), p. 338.
7. N. Limnios, M. Nikulin, Recent Advances in Reliability Theory: Methodology, Practice, and Inference, eds. N. Limnios, M. Nikulin (Springer Science+Business Media, New York, 2000), p. 514.
8. N. Limnios, G. Oprisan, Semi-Markov Processes and Reliability (Springer Science+Business Media, New York, 2001).
9. J. Jansen, N. Limnios (Eds.), Semi-Markov Models and Applications (Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 1999).
10. V.S. Korolyuk, A. Swishchuk, Semi-Markov Random Evolutions (Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London, 1995).
11. V.S. Korolyuk, N. Limnios, Stochastic Systems in Merging Phase Space (World Scientific, Imperial College Press, 2005).
12. D. Silvestrov, S. Silvestrov, Nonlinearly Perturbed Semi-Markov Processes (Springer, Cham, 2017), p. 143.
13. M.V. Zamoryonov, V.Ya. Kopp, O.V. Chengar, Yu.L. Rapatskiy. Simulation of a single-component system using the trajectories method taking into account the scheduling preventive maintenance. / Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017), Vol 2 / Springer International Publishing Switzerland 2017. – P. 264-271
14. М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, А.А. Скидан. Моделирование процесса функционирования обслуживающего устройства с необесцениваемыми отказами методом путей. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 7: в 2 ч. Ч. 1. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 с. 71-82.
15. Корольук В.С. Фазовое укрупнение сложных систем / В.С. Корольук, А.Ф. Турбин. – К.: «Вища школа», 1978. – 112 с.
16. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.
17. Копп В.Я. «Моделирование автоматизированных производственных систем». Монография / В.Я. Копп // Севастополь: СевНТУ, 2012 – 700с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Korolyuk V.S. Stokhasticheskiye modeli sistem / Otv. red. A.F. Turbin. Kiyev: Nauk. dumka. 1989. 208 s.
2. Korolyuk V.S., Turbin A.F. Protsessy markovskogo vosstanovleniya v zadachakh nadezhnosti sistem. Kiyev: Nauk. dumka. 1982. 236 s.
3. I.A. Ushakov. Probabilistic Reliability Models (Wiley. 2012).
4. D.D. Yao. J.A. Buzacott. Flexible Manufacturing Systems: A Review of Analytical Models// Management Science. 32 (1986) 890-905.
5. J. MacGregor Smith. B. Tan (Eds.). Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations (Springer-Verlag New York. 2013).
6. G.L. Curry. R.M. Feldman. Manufacturing Systems Modeling and Analysis. 2nd Edition (Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2011). p. 338.

7. N. Limnios. M. Nikulin. Recent Advances in Reliability Theory: Methodology. Practice. and Inference. eds. N. Limnios. M. Nikulin (Springer Science+Business Media. New York. 2000). p. 514.
8. N. Limnios. G. Oprisan. Semi-Markov Processes and Reliability (Springer Science+Business Media. New York. 2001).
9. J. Jansen. N. Limnios (Eds.). Semi-Markov Models and Applications (Kluwer Academic Publishers. the Netherlands. 1999).
10. V.S. Korolyuk. A. Swishchuk. Semi-Markov Random Evolutions (Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. Boston. London. 1995).
11. V.S. Korolyuk. N. Limnios. Stochastic Systems in Merging Phase Space (World Scientific. Imperial College Press. 2005).
12. D. Silvestrov. S. Silvestrov. Nonlinearly Perturbed Semi-Markov Processes (Springer. Cham. 2017). p. 143.
13. M.V. Zamoryonov. V.Ya. Kopp. O.V. Chengar. Yu.L. Rapatskiy. Simulation of a single-component system using the trajectories method taking into account the scheduling preventive maintenance./ Cybernetics and Mathematics Applications in Intelligent Systems Proceedings of the 6th Computer Science On-line Conference 2017 (CSOC2017). Vol 2 / Springer International Publishing Switzerland 2017. – P. 264-271
14. M.V. Zamorenov. V.Ya. Kopp. D.V. Zamorenova. A.A. Skidan. Modelirovaniye protsessa funktsionirovaniya obsluzhivayushchego ustroystva s neobestsenivayushchimi otkazami metodom putey. // Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki. Vyp. 7: v 2 ch. Ch. 1. Tula: Izd-vo TulGU. 2016 s. 71-82.
15. Korolyuk V.S. Fazovoye ukрупneniye slozhnykh sistem / V.S. Korolyuk. A.F. Turbin. – K.: «Vishcha shkola». 1978. – 112 s.
16. Baykhelt F.. Franken P. Nadezhnost i tekhnicheskoye obsluzhivaniye. Matematicheskyy podkhod. Per. s nem. M.: Radio i svyaz. 1988. 392 s.
17. Kopp V.Ya. «Modelirovaniye avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem». Monografiya /V.Ya.Kopp // Sevastopol: SevNTU. 2012 – 700s.

Копп Вадим Яковлевич, д-р техн. наук, проф., v_kopp@mail.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Заморёнов Михаил Вадимович, канд. техн. наук, доцент, zamoryonoff@gmail.com, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Чаленков Никита Игоревич, аспирант, chalenkov-nikita@yandex.ru, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

PHASE SEPARATION OF THE SEMI-MARKOV SYSTEM CONSISTING FROM THE TWO SEQUENCED UNITED TECHNOLOGICAL CELLS

Kopp V.Ya., Zamorenov M.V., Chalenkov N.I.

We consider the phase integration of a semi-Markov system with a common phase space consisting of two sequentially united technological cells, which provides a significant convenience for modeling this system. The distribution functions of the system stay times in each of the integrated (discrete) states are defined, as well as in subsets of operable and inoperable states. Comparison of the modeling results with the method under consideration and the method of modeling the non-aggregated system was made, showing almost complete coincidence of the unknown quantities. The carried out researches allow to simplify modeling of the complex, hierarchically organized systems containing a consecutive connection of the elements entering into it.

Keywords: semi-Markov system; phase integration algorithm; distribution function; continuous states; stays in states; the probability density of the transition; embedded Markov chain.

Kopp Vadim Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor, v_kopp@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamoryonov Mikhail Vadimovich, candidate of technical sciences, docent, zamoryonoff@gmail.com, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Chalenkov Nikita Igorevich, postgraduate, chalenkov-nikita@yandex.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

УДК 330.43

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КРЕДИТОСПОСОБНОСТИ ЮРИДИЧЕСКИХ
ЛИЦ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ
РЯДОВ ИХ ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Шихалиева Г.М.¹

***Аннотация.** Рассматривается методика оценки перспективной кредитоспособности юридических лиц в условиях неопределённости, основанная на нечётких моделях прогнозирования слабо структурированных временных рядов финансовых показателей и нечётких методах многокритериального выбора альтернатив.*

***Ключевые слова.** Финансовые показатели кредитоспособности, нечёткий временной ряд, нечёткое множество, нечёткое отношение, нечёткий вывод*

Введение. Проведение кредитных операций сопряжено с многочисленными факторами неопределённости, связанными, например, с отсутствием всеобъемлющей информации о финансовом положении юридического лица (ЮЛ) и его хозяйственной деятельности, неустойчивостью рынка застрахованного залогового имущества, отсутствием необходимых управленческих качеств или надлежащего опыта у руководителя предприятия и т.д. Эти и многие другие факторы должны учитываться менеджментом коммерческого банка (КБ) при оценке кредитоспособности ЮЛ. Исходя из этих предпосылок, становится очевидна важность и актуальность разработки новых методов управления кредитами, ориентированных на соблюдение экономических границ кредита, способных предотвратить неоправданные кредитные вложения или обеспечить своевременный и полный возврат ссуд, а также существенно снижающих степень риска неплатежа.

Постановка задачи. Объектом исследования являются ЮЛ – соискатели кредитов, финансово-экономическая деятельность которых характеризуется бухгалтерскими отчётами за последние 12 месяцев. Предмет исследования – оценка их перспективной кредитоспособности. Основу информационно-методической базы составили временные ряды (ВР) финансовых показателей (ФП) платёжеспособности, формулы для расчёта основных финансовых коэффициентов (ФК) и их нормативные значения, а также нечёткие методы многокритериальной оценки альтернатив.

Принятие решения относительно предоставления кредита сводится к многокритериальной оценке перспективной кредитоспособности ЮЛ. В качестве критериев оценки здесь выступают ФК: F_1 – коэффициент абсолютной ликвидности, F_2 – промежуточный коэффициент покрытия, F_3 – общий

коэффициент покрытия, F_4 – коэффициент финансовой независимости, F_5 – коэффициент рентабельности покрытия, которые, рассчитываются на основе данных показателей платёжеспособности: x_1 – Денежные средства; x_2 – Краткосрочные финансовые вложения; x_3 – Дебиторская задолженность; x_4 – Запасы и затраты; x_5 – Собственный капитал; x_6 – Краткосрочные обязательства; x_7 – Итог баланса; x_8 – Валовая выручка; x_9 – Прибыль, по средствам следующих равенств [1]:

$$\begin{cases} F_1 = (x_1 + x_2) / x_6; \\ F_2 = (x_1 + x_2 + x_3) / x_6; \\ F_3 = (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) / x_6; \\ F_4 = x_5 / x_7; \\ F_5 = x_9 / x_8. \end{cases} \quad (1)$$

Чтобы применить критерии (1) для комплексной оценки перспективной платёжеспособности ЮЛ необходимо построить модели ВР ФП x_i ($i=1\div9$), определить на их основе прогнозные значения F_j ($j=1\div5$) и применить к ним один из нечётких методов многокритериальной оценки.

Прогнозирование финансовых показателей ЮЛ. На протяжении двух последних десятилетий проблеме прогнозирования нечётких временных рядов (НВР) посвящены многочисленные исследования [2-7]. Тем не менее, в основу наших вычислений лёг подход С. Чена [6], который предусматривает последовательное выполнение следующих процедур: 1) определение универсума для исторических данных (ИД) ВР и его разбиение на равные интервалы; 2) определение критериев оценки ИД; 3) фаззификация ИД; 4) выявление внутренних нечётких связей (ВНС) и их группирование; 5) дефаззификация нечётких выходов модели. В данном случае ИД должна рассматриваться как слабо структурированная данная, т.е. такой, о которой известна её принадлежность к определённому типу. В частности, ВР с чёткими ИД не всегда могут адекватно отражать информацию о финансово-экономическом поведении ЮЛ: целесообразно представлять их интервально, например, в виде интервала $x \in [x_{\min}; x_{\max}]$ или, что ещё лучше, описывать ИД в виде утверждения типа «близко к 7», т.е. с помощью нечёткого множества (НМ).

Предположим, что в КБ обратились четыре ЮЛ: a_1 , a_2 , a_3 и a_4 , с просьбой о предоставлении им кредита. Т.к. финансовые ресурсы КБ ограничены, перед его менеджментом стоит задача выбора наилучшего из них на основе охватывающих 12 месяцев ВР ФП, которые сведены в **Таблицу 1**.

Таблица 1. – ВР ИД финансовых показателей ЮЛ (в тыс. долл. США)

ЮЛ	x_1 – Денежные средства											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	250	259	286	266	271	279	263	277	264	257	289	276
a_2	960	1007	984	983	961	993	981	990	978	965	966	1006
a_3	955	973	992	967	991	1004	964	989	974	991	997	977
a_4	1230	1236	1267	1271	1276	1242	1245	1243	1242	1253	1254	1246
ЮЛ	x_2 – Краткосрочные финансовые вложения											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	395	439	433	428	437	425	420	398	438	432	419	432
a_2	470	505	512	503	513	473	519	472	500	509	509	472
a_3	475	499	501	513	488	485	484	516	478	507	520	476
a_4	2050	2070	2091	2085	2091	2071	2094	2065	2059	2071	2088	2075
ЮЛ	x_3 – Дебиторская задолженность											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	4680	4708	4697	4702	4696	4685	4687	4710	4716	4684	4723	4710
a_2	8402	8447	8424	8435	8436	8437	8444	8450	8424	8406	8414	8415
a_3	8652	8656	8667	8692	8669	8659	8698	8665	8682	8693	8674	8654
a_4	10912	10921	10948	10946	10935	10927	10952	10940	10947	10925	10942	10953
ЮЛ	x_4 – Запасы и затраты											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	6030	6076	6055	6055	6034	6043	6075	6070	6069	6071	6038	6059
a_2	21550	21574	21570	21584	21588	21588	21571	21576	21560	21572	21572	21580
a_3	21370	21402	21406	21371	21413	21379	21407	21383	21407	21414	21410	21400
a_4	17426	17472	17453	17454	17433	17454	17437	17427	17449	17447	17454	17465
ЮЛ	x_5 – Собственный капитал											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	12380	12405	12407	12401	12408	12389	12400	12398	12386	12411	12420	12394
a_2	35265	35280	35272	35266	35292	35273	35306	35315	35271	35303	35301	35304
a_3	41249	41258	41290	41266	41292	41287	41287	41251	41253	41266	41257	41293
a_4	53934	53981	53953	53947	53955	53947	53964	53971	53951	53934	53941	53961
ЮЛ	x_6 – Краткосрочные обязательства											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	4055	4074	4094	4084	4091	4068	4058	4102	4077	4097	4101	4061
a_2	13842	13855	13877	13875	13873	13863	13887	13888	13875	13871	13853	13881
a_3	16826	16852	16870	16831	16873	16857	16836	16863	16842	16869	16836	16832
a_4	25035	25045	25067	25061	25044	25072	25048	25067	25055	25056	25077	25052
ЮЛ	x_7 – Итог баланса											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	16450	16474	16471	16479	16484	16466	16470	16478	16494	16479	16466	16476
a_2	49075	49107	49121	49115	49120	49086	49080	49117	49094	49079	49111	49093
a_3	58069	58090	58105	58081	58074	58090	58087	58076	58096	58109	58088	58078
a_4	78965	78969	78989	78974	78966	78967	79007	78987	78981	79013	78999	79004
ЮЛ	x_8 – Валовая выручка											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	58438	58484	58478	58463	58469	58450	58479	58458	58469	58449	58444	58485
a_2	38565	38596	38576	38568	38597	38579	38579	38599	38597	38569	38593	38568
a_3	43598	43617	43626	43638	43608	43646	43611	43631	43604	43601	43626	43616
a_4	28353	28375	28364	28389	28370	28381	28369	28382	28392	28397	28399	28370
ЮЛ	x_9 – Прибыль											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
a_1	16648	16663	16692	16677	16654	16659	16661	16659	16651	16660	16661	16652
a_2	4451	4490	4460	4495	4483	4468	4493	4491	4453	4483	4494	4481
a_3	65395	65435	65408	65417	65406	65437	65434	65421	65410	65417	65426	65432
a_4	3406	3418	3426	3455	3423	3421	3434	3449	3435	3413	3442	3428

Согласно нечёткому подходу, прогнозирование ВР ФП заявленных альтернатив осуществляется путём выполнения следующих шагов.

Шаг 1: *Определение универсума и его разбиение на равные интервалы.* Универсум U для заданных ВР определяется как $[D_{\min}-D_1, D_{\max}-D_2]$, где $D_{\min}$ и $D_{\max}$ являются соответственно минимальным и максимальным значениями ИД ВР, а числа $D_1>0$ и $D_2>0$ выбираются пользователем. В частности, для временного ряда «Денежные средства» по альтернативе a_1 (Таблица 1) имеем: $D_{\min}=250$, $D_{\max}=289$. Если положить, что $D_1=1$ и $D_2=2$, то соответствующим универсумом этого ВР будет интервал $U=[249, 291]$. Как правило, универсум делят на равные части – по числу заявленных критериев оценки ИД). Пусть это будет 7. Тогда для ВР «Денежные средства» частичными интервалами будут: $u_1=[249; 255]$, $u_2=[255; 261]$, $u_3=[261; 267]$, $u_4=[267; 273]$, $u_5=[273; 279]$, $u_6=[279; 285]$, $u_7=[285; 291]$.

Шаг 2: *Определение критериев оценки.* Предположим, что $A_1, A_2, \dots, A_k$ являются слабо структурированными оценочными понятиями для качественной интерпретации значений ИД ВР, которые опишем в виде следующих НМ [8]:

- НЕБОЛЬШОЕ – $A_1=1/u_1+0.5/u_2+0/u_3+0/u_4+0/u_5+0/u_6+0/u_7$;
- НЕ ТАКОЕ БОЛЬШОЕ – $A_2=0.5/u_1+1/u_2+0.5/u_3+0/u_4+0/u_5+0/u_6+0/u_7$;
- БОЛЬШОЕ – $A_3=0/u_1+0.5/u_2+1/u_3+0.5/u_4+0/u_5+0/u_6+0/u_7$;
- БОЛЕЕ, ЧЕМ БОЛЬШОЕ – $A_4=0/u_1+0/u_2+0.5/u_3+1/u_4+0.5/u_5+0/u_6+0/u_7$,
- СУЩЕСТВЕННО БОЛЬШОЕ – $A_5=0/u_1+0/u_2+0/u_3+0.5/u_4+1/u_5+0.5/u_6+0/u_7$,
- ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ – $A_6=0/u_1+0/u_2+0/u_3+0/u_4+0.5/u_5+1/u_6+0.5/u_7$,
- СЛИШКОМ БОЛЬШОЕ – $A_7=0/u_1+0/u_2+0/u_3+0/u_4+0/u_5+0.5/u_6+1/u_7$.

Шаг 3: *Фаззификация ИД.* В терминах НМ A_i фаззификация ИД ВР осуществляется по следующему тривиальному принципу: если значение ИД $F(t)$ попадает в интервал u_i ($i=1\div 7$), тогда она описывается в виде НМ A_i , т.к. степень принадлежности u_i к A_i имеет наибольшее значение. Например, для альтернативы a_1 значение 250, (ИД по 1-му месяцу ВР «Денежные средства», Таблица 1), попадает в интервал u_1 . Т.к. u_1 с наибольшей степенью принадлежит НМ A_1 ($\mu_{A_1}(u_1)$), то ИД может быть описана, соответственно, в виде НМ A_1 . В результате такой фаззификации ИД построены аналоговые НВР ФП альтернативных ЮЛ. Например, для ФП «Денежные средства» соответствующий НВР выглядит так, как это показано в Таблица 2.

Таблица 2. – НВР ФП «Денежные средства» альтернативных ЮЛ

№	a_1		a_3		a_3		a_4	
	ИД	НМ	ИД	НМ	ИД	НМ	ИД	НМ
1	250	A_1	960	A_1	955	A_1	1230	A_1
2	259	A_2	1007	A_7	973	A_3	1236	A_2
3	286	A_7	984	A_4	992	A_6	1267	A_6
4	266	A_3	983	A_4	967	A_2	1271	A_6
5	271	A_4	961	A_1	991	A_5	1276	A_7
6	279	A_5	993	A_5	1004	A_7	1242	A_3
7	263	A_3	981	A_4	964	A_2	1245	A_3
8	277	A_5	990	A_5	989	A_5	1243	A_3
9	264	A_3	978	A_3	974	A_3	1242	A_3
10	257	A_2	965	A_2	991	A_5	1253	A_4
11	289	A_7	966	A_2	997	A_6	1254	A_4
12	276	A_5	1006	A_7	977	A_4	1246	A_3

Шаг 4: *Выявление НВС и их группирование.* НВС устанавливаются между фаззифицированными ИД. В частности, если «чёткая» ИД ВР $F(t-1)$ в результате фаззификации заменена на НМ A_i , а данная $F(t)$ – на НМ A_j , тогда между ними существует связь, которая называется, как НВС вида $A_i \rightarrow A_j$. В данном случае A_j отражает текущее состояние ФП, а A_i – предшествующее. Так, например, для заявителя a_1 последовательные ИД ФП «Денежные средства» за 1-ый и 2-ой месяцы (см. табл. 2) описаны, соответственно, как A_1 и A_2 , которые связаны импликацией «Если имеет место A_1 , тогда следует A_2 » или, просто, нечётким отношением $A_1 \rightarrow A_2$. В подобной манере выявляются все НВС в рассматриваемых НВР. В частности, для ВР ФП «Денежные средства» НВС группированы и сведены в **Таблицу 3**. НВС группируются по принципу: если НМ A_3 внутри НВР, как, например, в случае «Денежные средства», связано с A_2 , A_4 и A_5 , то относительно него формируется локальная группа $A_3 \rightarrow A_2, A_4, A_5$ (или $A_{2,4,5}$)

Таблица 3. – Группы НВС для ВР ФП «Денежные средства»

ЮЛ	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4	Группа 5	Группа 6
a_1	$A_1 \rightarrow A_2$	$A_2 \rightarrow A_7$	$A_3 \rightarrow A_{2,4,5}$	$A_4 \rightarrow A_5$	$A_5 \rightarrow A_3$	$A_7 \rightarrow A_{3,5}$
a_2	$A_1 \rightarrow A_{5,7}$	$A_2 \rightarrow A_{2,7}$	$A_3 \rightarrow A_2$	$A_4 \rightarrow A_{1,4,5}$	$A_5 \rightarrow A_{3,4}$	$A_7 \rightarrow A_4$
a_3	$A_1 \rightarrow A_3$	$A_2 \rightarrow A_5$	$A_3 \rightarrow A_{5,6}$	$A_5 \rightarrow A_{3,6,7}$	$A_6 \rightarrow A_{2,4}$	$A_7 \rightarrow A_2$
a_4	$A_1 \rightarrow A_2$	$A_2 \rightarrow A_6$	$A_3 \rightarrow A_{3,4}$	$A_4 \rightarrow A_{3,4}$	$A_6 \rightarrow A_{6,7}$	$A_7 \rightarrow A_3$

Шаг 5: *Дефаззификация выходов прогностической модели НВР.* Для дефаззификации нечётких выходов прогностической модели НВР воспользуемся правилами С. Чена [6], суть которых состоит в следующем. Пусть нечётким аналогом ФП $F(t-1)$ на текущий месяц $(t-1)$ является НМ A_i . Тогда прогноз на следующий месяц определяется в соответствии с правилами:

- 1) если существует однозначная связь в локализованной по A_i группе, например, $A_i \rightarrow A_k$, где A_k с наибольшей степенью принадлежности включает интервал u_k , то прогнозом являться середина отрезка u_k ;
- 2) если A_i не связано каким-либо отношением, т.е. $A_i \rightarrow \emptyset$ и A_i с наибольшей степенью принадлежности включает интервал u_i , тогда прогнозом являться середина отрезка u_i ;
- 3) если существует локализованная по A_i многозначная связь, например, $A_i \rightarrow A_{1,2}, \dots, A_n$, где НМ $A_1, A_2, \dots, A_n$ с наибольшими степенями принадлежности включают соответственно интервалы $u_1, u_2, \dots, u_n$, то в этом случае прогноз определяется как $F(t) = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / n$, где $m_1, m_2, \dots, m_n$ – середины соответствующих отрезков $u_1, u_2, \dots, u_n$.

Например, как видно из **Таблицы 2**, нечётким аналогом ФП «Денежные средства» за январь является НМ A_1 , которое образует только одну связь: $A_1 \rightarrow A_2$ (**Таблица 3**). Поэтому, применяя 1-ое правило, получим прогноз: $258 = (255 + 261) / 2$, подразумевая, что интервал $u_2 = [255; 261]$ принадлежит A_2 с наибольшей степенью принадлежности.

Рассмотрим другой случай. За 12-й месяц ФП «Денежные средства» для ЮЛ a_3 описан в виде НМ A_4 , который с наибольшей степенью включает интервал $u_4 = [976; 984]$, но не является предикатом, т.е. $A_4 \rightarrow \emptyset$. Поэтому прогнозом на следующий месяц будет среднее значение интервала u_4 , а именно: $980 = (976 + 984) / 2$.

И, наконец, рассмотрим случай на применение 3-го правила. Пусть необходимо составить прогноз на октябрь по показателю «Денежные средства» для ЮЛ a_1 . Т.к. нечётким аналогом этого показателя для сентября является A_3 , на базе которого установлена группа отношений $A_3 \rightarrow A_2, A_4, A_5$ (**Таблица 3**), то прогнозом на октябрь будет среднее арифметическое от середин отрезков $u_2 = [255; 261]$, $u_4 = [267; 273]$ и $u_5 = [273; 279]$, а именно: $268 = [(255 + 261) / 2 + (267 + 273) / 2 + (273 + 279) / 2] / 3$.

Таким образом, применяя указанные правила дефаззификации ко всем выходам нечётких моделей ВР по всем ФП для заявленных ЮЛ получены чёткие прогностические модели. В частности, для ВР ФП «Денежные средства» полученные прогнозы сведены в **Таблица 4**.

Таблица 4. – Прогнозирование ФП «Денежные средства» ЮЛ

№	a_1		a_3		a_3		a_4	
	Факт	Прогноз	Факт	Прогноз	Факт	Прогноз	Факт	Прогноз
1	250		960		955		1230	
2	259	258	1007	1001	973	972	1236	1237
3	286	288	984	985	992	992	1267	1269
4	266	270	983	980	967	972	1271	1273
5	271	268	961	980	991	988	1276	1273
6	279	276	993	1001	1004	991	1242	1245
7	263	264	981	981	964	964	1245	1249
8	277	268	990	980	989	988	1243	1249

9	264	264	978	981	974	991	1242	1249
10	257	268	965	969	991	992	1253	1249
11	289	288	966	989	997	991	1254	1249
12	276	270	1006	989	977	972	1246	1249

Оценка текущей и перспективной кредитоспособности юридических лиц. Для текущей оценки кредитоспособности в качестве базовых ИД выберем значения ФП на 12-й месяц, а для перспективной оценки применим соответствующие прогнозы, представленные в таблице 4. Однако, в начале на основании (1) вычислим значения ФК F_j ($j=1\div 5$), характеризующих кредитоспособность ЮЛ на текущий 12-й и прогнозируемый 13-й месяцы. Расчётные и нормативные значения по ФК приведены в **Таблице 5**.

Таблица 5. – Значения ФК по результатам ФП ЮЛ

ФК	a_1		a_2		a_3		a_4		Норм. значения
	12	13	12	13	12	13	12	13	
F_1	0.1743	0.1706	0.1065	0.1079	0.0863	0.0890	0.1326	0.1327	[0.1; 0.25]
F_2	1.3342	1.3286	0.7127	0.7148	0.6005	0.6027	0.5698	0.5691	[0.5; 1]
F_3	2.8262	2.8204	2.2673	2.2711	1.8719	1.8726	1.2669	1.2658	[1; 2.5]
F_4	0.7522	0.7520	0.7191	0.7193	0.7110	0.7109	0.6830	0.6833	0.6
F_5	0.2847	0.2850	0.1162	0.1161	1.5002	1.4996	0.1208	0.1214	[0; 2]

Первичный анализ расчётных значений ФК относительно соответствующих нормативных показателей показывает, что все заявленные ЮЛ могут претендовать на получение кредита, а значит, составляют множество допустимых альтернатив $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$. Тогда многокритериальную оценку текущей и перспективной кредитоспособности ЮЛ a_k ($k=1\div 4$), предусматривающую обработку с применением математического аппарата нечётких множеств полученной на начальном этапе исходной информации в виде **Таблицы 5**, осуществим нечётким методом максиминной свёртки в три этапа.

Этап 1. Построение функций принадлежности, соответствующих оценочным понятиям: ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫЙ (F_1 – коэффициент абсолютной ликвидности), ЖЕЛАЕМЫЙ (F_2 – промежуточный коэффициент покрытия), ДОПУСТИМЫЙ (F_3 – общий коэффициент покрытия), НАИБОЛЬШИЙ (F_4 – коэффициент финансовой независимости), НАИЛУЧШИЙ (F_5 – коэффициент рентабельности покрытия). Построение таких функций, как правило, проводят эксперты. Мы же поступим иначе. Полагая интервалы нормативных значений ФК универсумами, в качестве соответствующих им функций принадлежности выберем Гауссовские функции вида [9]:

$$\mu_{F_j}(a) = \exp\{-(a - a_{j0})^2 / \sigma_j^2\}, \quad (2)$$

восстанавливающие НМ, описывающие обозначенные оценочные понятия F_j ($j=1\div 5$), где a_{j0} и σ_j^0 являются соответственно центрами и плотностями распределения ближайших элементов. Графики этих функций представлены на **Рис.1**.

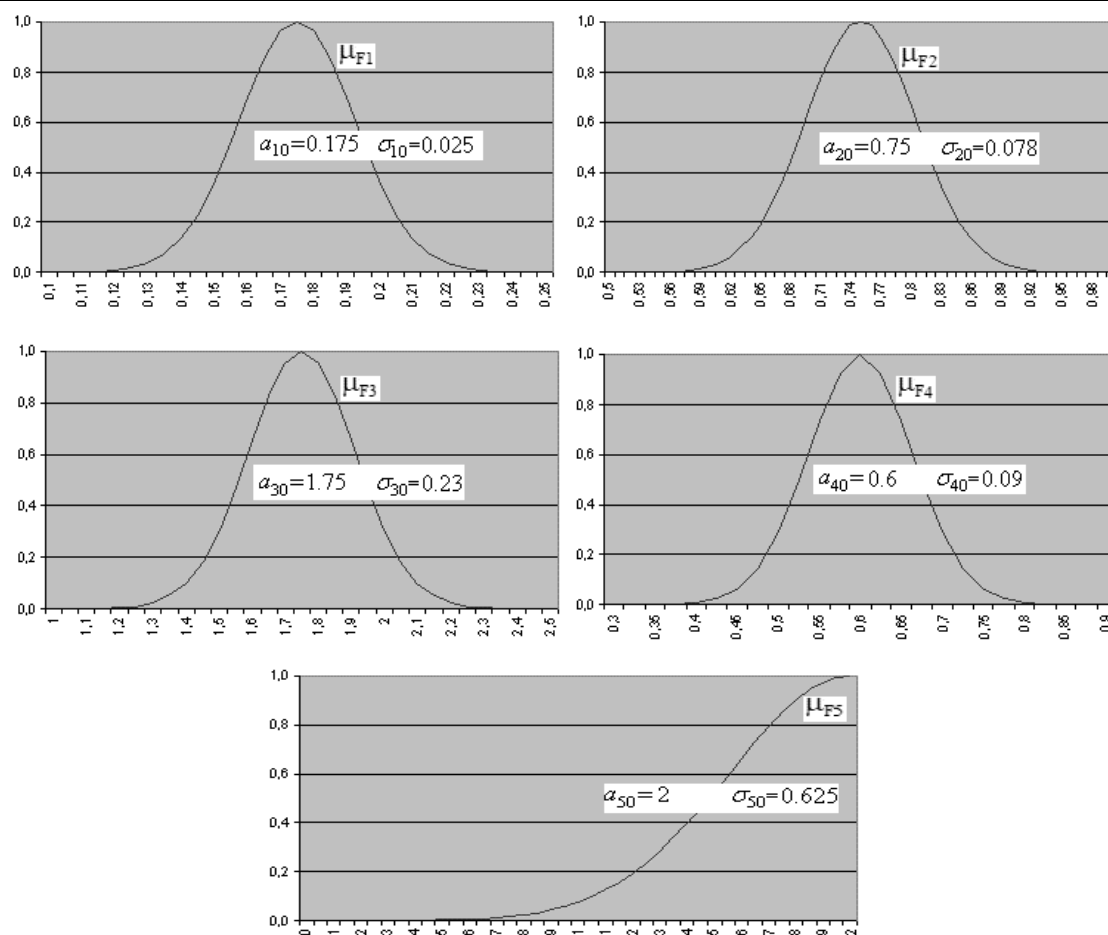


Рис.1 – Функции принадлежности НМ F_j ($j=1 \div 5$)

Этап 2. Определение конкретных значений функций принадлежности по критериям качества F_j ($j=1 \div 5$). Отправляясь от текущих и прогнозных значений ФК (Таблица 5) и вычисленных на их основе соответствующих значений Гауссовских функций принадлежности $\mu_{F_j}(a)$ вида (2), сформируем НМ для описания качественных критериев F_j качества на текущий 12-й и прогнозный 13-й месяцы: $F_j(12)$ и $F_j(13)$. В качестве подмножеств универсума $\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$ эти НМ имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 F_1(12) &= \{0.9993/a_1; 0.0005/a_2; 0.0000/a_3; 0.0561/a_4\}, \\
 F_1(13) &= \{0.9696/a_1; 0.0007/a_2; 0.0000/a_3; 0.0573/a_4\}, \\
 F_2(12) &= \{0.0000/a_1; 0.7956/a_2; 0.0253/a_3; 0.0048/a_4\}, \\
 F_2(13) &= \{0.0000/a_1; 0.8155/a_2; 0.0282/a_3; 0.0046/a_4\}, \\
 F_3(12) &= \{0.0000/a_1; 0.0063/a_2; 0.7553/a_3; 0.0121/a_4\}, \\
 F_3(13) &= \{0.0000/a_1; 0.0059/a_2; 0.7525/a_3; 0.0119/a_4\}, \\
 F_4(12) &= \{0.0572/a_1; 0.1734/a_2; 0.2185/a_3; 0.4271/a_4\}, \\
 F_4(13) &= \{0.0578/a_1; 0.1724/a_2; 0.2189/a_3; 0.4246/a_4\}, \\
 F_5(12) &= \{0.0005/a_1; 0.0001/a_2; 0.5275/a_3; 0.0001/a_4\}, \\
 F_5(13) &= \{0.0005/a_1; 0.0001/a_2; 0.5268/a_3; 0.0001/a_4\}.
 \end{aligned}$$

Этап 2. Свёртка полученной информации для выявления лучшей альтернативы. Согласно [1] множество оптимальных альтернатив R определяется путём пересечения НМ, содержащих оценки альтернатив по качественным критериям оценки. Тогда, исходя из того, что рассматриваемые

нами качественные критерии оценки кредитоспособности ЮЛ F_j ($j=1\div5$) имеют одинаковую важность, то правило выбора лучшей альтернативы будет иметь вид:

$$R = F_1 \cap F_2 \cap F_3 \cap F_4 \cap F_5, \mu_R(a_k) = \min_j \{\mu_{F_j}(a_k)\}, k = \overline{1, 4}. \quad (3)$$

При этом оптимальной считается альтернатива с максимальной степенью принадлежности к множеству R . Тогда, для текущей и перспективной оценок платёжеспособности ЮЛ множество оптимальных альтернатив формируется на основании (3) соответственно, как:

$R(12) = \{\min\{0.9993; 0.0000; 0.000003; 0.0572; 0.0005\}, \min\{0.0005; 0.7956; 0.0063; 0.1734; 0.000113\}, \min\{0.0000; 0.0253; 0.7553; 0.2185; 0.5275\}, \min\{0.0561; 0.0048; 0.0121; 0.4271; 0.000119\}\},$

$R(13) = \{\min\{0.9696; 0.0000; 0.000007; 0.0578; 0.0005\}, \min\{0.0007; 0.8155; 0.0059; 0.1724; 0.000119\}, \min\{0.0000; 0.0282; 0.7525; 0.2189; 0.5268\}, \min\{0.0573; 0.0046; 0.0119; 0.4246; 0.0001\}\}$

или более конкретно:

$R(12) = \{0/a_1; 0.000113/a_2; 0.000003/a_3; 0.000119/a_4\},$

$R(13) = \{0/a_1; 0.000113/a_2; 0.000007/a_3; 0.000119/a_4\}.$

Тогда, результирующие векторы, компоненты которых определяют приоритетность альтернатив на текущий 12-й и прогнозный 13-й месяцы, имеют следующие виды:

$\max \mu_{R(12)}(a_k) = \max\{0; 0.000113; 0.000003; 0.000119\},$

$\max \mu_{R(13)}(a_k) = \max\{0; 0.000113; 0.000007; 0.000119\}.$

Наилучшей считается альтернатива (ЮЛ), характеризующаяся наибольшим значением соответствующей компоненты этого вектора. На текущий месяц таковой является $a_4 \rightarrow 0.000119$, и далее по убыванию: $a_2 \rightarrow 0.000113$; $a_3 \rightarrow 0.000003$ и $a_1 \rightarrow 0$. Аналогичный расклад имеет место и на прогнозируемый период.

Заключение. Предлагаемая в статье методика оценки текущей и перспективной оценки кредитоспособности ЮЛ основана на применении нечётких моделей временных рядов и нечётких методов многокритериальной оценки. Представленная нечёткая модель ВР является арифметической, т.е. достаточно тривиальной по сравнению с существующими другими аналитическими моделями слабо структурированных временных рядов. Тем не менее, и с помощью этой модели можно строить краткосрочные прогнозы кредитоспособности ЮЛ и проводить оценку не только для следующего месяца, как это было сделано, но и на год вперёд.

Полученные оценки ни в коей мере не претендуют на оптимальность, т.к. используемые в максиминной свёртке Гауссовские ФП не были оптимизированы. Основная цель данной методики – это искусственное формирование временного логического базиса для текущего и перспективного сравнения альтернатив в задаче нахождения наиболее кредитоспособного ЮЛ.

Благодарность. Автор выражает свою искреннюю признательность руководству Института систем управления Национальной Академии Наук Азербайджана и лично своему научному руководителю, доктору технических Автоматизация и измерения в машино- приборостроении: научный журнал, 2018

наук, профессору Рзаеву Рамину Рза оглы за оказанную помощь при проведении данного исследования и написании настоящей статьи.

Библиографический список

1. Андрейченков А.В., Андрейченкова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
2. Song, Q., Chisson, B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part I // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – №62. – P. 1–8.
3. Song, Q., Chisson, B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 269–277.
4. Song, Q., Chisson, B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part II // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 1–9.
5. Chen, S.M. Forecasting enrollments based on fuzzy time series // Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – №81. – P. 311–319.
6. Chen, S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems: An int. Journal. – 2002. – №33. – P. 1–16.
7. Narenda, Kumar et el. Fuzzy time series forecasting of wheat production // International Journal on Computing Science and Engineering. – 2010. – Vol. 2. – №3. – P. 635–640.
8. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.
9. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Andreychenkov A.V.. Andreychenkova O.N. Analiz. sintez. planirovaniye resheniy v ekonomike. – M.: Finansy i statistika. 2000. – 368 s.
2. Song, Q.. Chisson. B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part I // Fuzzy Sets and Systems. – 1994. – №62. – R. 1–8.
3. Song. Q.. Chisson. B.S. Fuzzy time series and its models // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 269–277.
4. Song. Q.. Chisson. B.S. Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part II // Fuzzy Sets and Systems. – 1993. – №54. – P. 1–9.
5. Chen. S.M. Forecasting enrollments based on fuzzy time series // Fuzzy Sets and Systems. – 1996. – №81. – P. 311–319.
6. Chen. S.M. Forecasting enrollments based on high-order fuzzy time series // Cybernetics and Systems: An int. Journal. – 2002. – №33. – P. 1–16.
7. Narenda. Kumar et el. Fuzzy time series forecasting of wheat production // International Journal on Computing Science and Engineering. – 2010. – Vol. 2. – №3. – R. 635–640.
8. Zadeh. L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.
9. Rzaev R.R. Analiticheskaya podderzhka prinyatiya resheniy v organizatsionnykh sistemakh. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing. 2016. – 306 s.

*Шихалиева Гаджар Муса кызы, докторант, h.shixaliyeva@gmail.com,
Азербайджан, Баку, Институт систем управления НАН Азербайджана*

**FORECASTING THE CREDITWORTHINESS OF LEGAL ENTITIES ON THE
BASIS OF FUZZY MODELING OF TIME SERIES OF THEIR FINANCIAL
INDICATORS**

H. M. Shixaliyeva

The methodology for assessing the prospective creditworthiness of legal entities under uncertainty is considered on the base of fuzzy models predicting semi-structured time series of financial indicators and fuzzy method of multi-criteria choice of alternatives.

Key words: financial indicators of creditworthiness, fuzzy time series, fuzzy set, fuzzy relation, fuzzy conclusion.

*Shixaliyeva Hajar Musa, candidate for a degree, h.shixaliyeva@gmail.com,
Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.*

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОЦЕССА МАРКИРОВАНИЯ ДОКУМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЁТКОГО АНАЛИЗА КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ СВЕДЕНИЙ

Сулейманова А.Н.

***Аннотация.** В рамках автоматизированной информационно-аналитической системы поддержки процесса маркирования документов предлагается использовать механизм нечёткого вывода для предварительной классификации и обработки экспертных заключений из удалённых источников относительно степени конфиденциальности сведений, подлежащих включению в будущий документ, и использовать их для последующей агрегации с целью выявления консолидированной оценки уровня секретности конкретного документа.*

***Ключевые слова.** Фактор конфиденциальности, экспертная оценка, нечёткое множество, система нечёткого вывода*

Введение. Существующие подходы к процедуре установления степени конфиденциальности сведений, подлежащих включению в будущие документы (КД), основываются на применении эвристических знаний (в частности, системы предпочтений) руководителя службы КД (РКД), ответственного за присвоение грифа конфиденциальности. Однако сама процедура выявления контекстных знаний, системы предпочтений РКД является очень сложной и, потому, требует привлечение консультанта в процессе оценки, синтеза и выбора решения из множества альтернативных вариантов.

Другим способом аналитической поддержки процесса выбора обоснованных решений может стать нечёткий анализ факторов конфиденциальности (ФК) сведений с использованием экспертного опроса методом шкальных оценок. В процессе принятия решений относительно степени конфиденциальности сведений, подлежащих включению в оцениваемый документ, предварительные экспертные оценки конфиденциальности документов, как правило, выражаются всевозможными термами, которые могут быть описаны в виде нечётких множеств (НМ), восстанавливаемых с помощью соответствующих функций принадлежности (ФП). Для упорядочения оцениваемых экспертами ФК, а значит и НМ, отражающих их степени предпочтительности, в статье применяется метод нечёткого вывода.

Концепция информационной системы поддержки процесса маркирования документов. Выявление данных, знаний и системы предпочтений РКД для присвоения грифа конфиденциальности сведений (ГКС), подлежащих включению в будущие документы, осуществляется путём сбора экспертной информации, объём которой, в конечном итоге, оказывается весьма существенным. При этом, объём экспертной информации относительно конфиденциальности сведений, тем больше, чем выше размерность множества критериев оценки и объём сведений, подлежащих идентификации на их

конфиденциальность. Кроме того, разработка универсальных анкет, охватывающих документооборот в экономической, технической, социальной, управленческой и других видах деятельности, невозможна. Следовательно, и в этом случае требуется перманентное участие консультанта, направляющего последовательность рассуждений РКД в процессе сбора экспертной информации, что ведёт к нарушению принципа конфиденциальности и необходимой документальности информации. Таким образом, решение задачи присвоения ГКС в привычном режиме не позволяет организовать сбор и обработку исходной информации даже от нескольких экспертов. Поэтому разработка информационной системы поддержки маркирования документов из разных областей (ИСПМД), позволяет существенно ускорить проведение данной процедуры и, значит, повысить её качество (**Рис.1**).

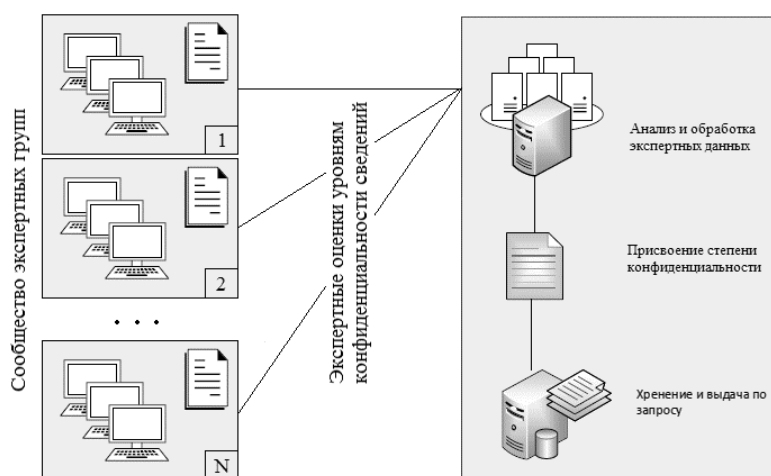


Рис.1 – Архитектура ИСПМД

При разработке ИСПМД необходимо учитывать требования к эксплуатационным характеристикам диалоговой системы [1]: 1) адаптация РКД к диалоговой системе ИСПМД должна происходить на естественном языке, что предопределяет наличие в системе элемента искусственного интеллекта; 2) единообразие вычислительных и опросных процедур, а также терминологии в независимости от сферы документооборота; 3) определение последовательности предоставления информации и возможность получения по мере необходимости углублённой информации; 4) возможность к обучению по мере расширения компетенции РКД, эвристических знаний и накопления опыта в эксплуатации. Данные требования обеспечивают как адаптацию РКД к диалоговой системе, так и обратный процесс адаптации системы, учитывающей уровень возросшей компетенции РКД и, тем самым, позволяет минимизировать его умственную нагрузку путём снижения числа вопросов, сокращения их формулировок и т.д. В результате, система обеспечит существенно большую степень объективности присваиваемого ГКС.

Традиционный тривиальный подход. Степень конфиденциальности (*DC*) сведений, подлежащих включению в оцениваемый документ, традиционно определяется путём сопоставления выявленного экспертом уровня конфиденциальности сведений с заданным максимальным уровнем в системе

применяемых критериев оценки конфиденциальности. Соответствующий показатель может быть вычислен по формуле [4]:

$$DC = \left(\sum_{i=1}^K \alpha_i \frac{c_{ri}}{c_{di}} \right) / \left(\max_i \left\{ \sum_{i=1}^K \alpha_i \frac{c_{ri}}{c_{di}} \right\} \right), \quad (2)$$

где K – число критериев оценки конфиденциальности; α_i – вес i -го критерия оценки конфиденциальности, определяющий степень его важности; c_{di} – максимальный уровень конфиденциальности (УК) сведений согласно i -му критерию оценки конфиденциальности; c_{ri} – выявленный экспертом УК сведений согласно i -му критерию оценки конфиденциальности. Определение весов α_i и оценки отношения выявленного экспертом уровня конфиденциальности сведений с заданным максимальным уровнем в системе применяемых критериев оценки конфиденциальности: $c_i = c_{ri}/c_{di}$, проводится с использованием экспертного опроса методом шкальных оценок. Обобщённый показатель консолидированного мнения всех экспертов относительно c_i : должен удовлетворять стремлению [4]:

$$\sum_{i=1}^n w_i c_i \rightarrow \max, \quad \sum_{i=1}^n w_i = 1, \quad (3)$$

где w_i – значение весового коэффициента функции c_i . Тогда результирующим значением отношения выявленного экспертом уровня конфиденциальности сведений к заданному максимальному уровню в системе применяемых критериев оценки конфиденциальности (c_i) определяется в виде усреднения:

$c_i = \sum_{j=1}^m c_{ij} / m$, где m – число привлечённых экспертов; c_{ij} – оценка уровня

конфиденциальности сведений со стороны j -го эксперта. При этом, степень согласованности (W) мнений групп экспертов в целом по совокупности всех ФК определяется как [4]:

$$W = \frac{12}{K^2 - K} \sum_{i=1}^K \left(c_i - \frac{K+1}{2} \right)^2. \quad (3)$$

Обобщение мнений экспертов относительно значений α_i , определяющих относительную важность i -го критерия оценки конфиденциальности, осуществляется аналогично.

Классификация оценок влияния ФК сведений на УК документа. Оценка степени конфиденциальности сведений, подлежащих включению в оцениваемый документ, являясь многокритериальной процедурой, подразумевает применение композиционного правила агрегирования оценки по каждому ФК x_i ($i=1 \div 6$). Поэтому для оценки влияния ФК выберем пять оценочных понятия: u_1 – «НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ»; u_2 – «ОЩУТИМОЕ»; u_3 – «СУЩЕСТВЕННОЕ»; u_4 – «ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ»; u_5 – «ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ», характеризующих их степень влияния на УК документа. Проще говоря, под

множеством $C = (u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$ будем понимать совокупность признаков, по которым классифицируются значимости ФК. Тогда для классификации оценок влияния ФК на УК документа за основу следующие непротиворечивые рассуждения, которые могут и должны быть согласованы с РКД:

r_1 – «Если в документе присутствуют ФК x_1, x_2 и x_3 , то их совокупное влияние на УК существенное»;

r_2 – «Если в добавок к указанным ФК имеет место и x_6 , то в совокупности их влияние на УК будет более чем существенным»;

r_3 – «Если в добавок к условиям, оговоренным в r_2 , имеет место фактор x_5 , то совокупное влияние всех ФК на УК будет очень существенным»;

r_4 – «Если в документе присутствуют все ФК, т.е. $x_1 \div x_6$, то совокупное влияние их на УК будет чересчур существенным»;

r_5 – «Если же в документе присутствуют факторы x_1, x_2, x_3 и x_4 , а остальные: x_5 и x_6 – нет, то все равно совокупное влияние ФК на УК будет существенным»;

r_6 – «Если же в документе отсутствуют факторы x_1, x_2, x_4 и x_5 , то совокупное влияние ФК на УК будет несущественным».

В приведённых высказываниях входными характеристиками будем считать наличие (или отсутствие) ФК x_k ($k=1 \div 6$), а выходной характеристикой y – степень их влияния на УК документа. Тогда, определив соответствующие термы ЛП x_k ($k=1 \div 6$) и y , на базе приведённых высказываний построим нечёткие импликативные правила в виде:

r_1 : «Если x_1 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_3 =ИМЕЕТ МЕСТО, то y =СУЩЕСТВЕННОЕ»;

r_2 : «Если x_1 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_3 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_6 =ИМЕЕТ МЕСТО, то y =БОЛЕЕ ЧЕМ СУЩЕСТВЕННОЕ»;

r_3 : «Если x_1 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_3 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_5 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_6 =ИМЕЕТ МЕСТО, то y =ОЧЕНЬ СУЩЕСТВЕННОЕ»;

r_4 : «Если x_1 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_3 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_4 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_5 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_6 =ИМЕЕТ МЕСТО, то y =ЧЕРЕСЧУР СУЩЕСТВЕННОЕ»;

r_5 : «Если x_1 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_3 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_4 =ИМЕЕТ МЕСТО и x_5 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и x_6 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то y =СУЩЕСТВЕННОЕ»;

r_6 : «Если x_1 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и x_2 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и x_4 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО и x_5 =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, то y =НЕСУЩЕСТВЕННОЕ».

Выходную ЛП y зададим на дискретном множестве $J = \{0; 0.1; \dots; 1\}$. Тогда $\forall j \in J$ используемые в правилах $r_1 \div r_6$ термы опишем в виде НМ с соответствующими функциями принадлежности (ФП) [5]: Y_1 =СУЩЕСТВЕННОЕ: $\mu_{Y_1}(j)=j$; Y_2 =БОЛЕЕ ЧЕМ СУЩЕСТВЕННОЕ: $\mu_{Y_2}(j)=j^{1/2}$; Y_3 =ОЧЕНЬ СУЩЕСТВЕННОЕ: $\mu_{Y_3}(j)=j^2$; Y_4 =ЧЕРЕСЧУР СУЩЕСТВЕННОЕ: $\mu_{Y_4}(j)=1$, если $j=1$ и $\mu_{Y_4}(j)=0$, если $j<1$; Y_0 =НЕСУЩЕСТВЕННОЕ: $\mu_{Y_0}(j)=1-j$. Согласно подходу, описанному в [6], фазсификацию термов в левых частях правил осуществим с помощью Гауссовской ФП: $\mu(u_i)=\exp\{-(u_i-1)^2/\sigma_j^2\}$ ($j=1 \div 5$), восстанавливающей нечёткие подмножества дискретного универсума $(u_1, u_2, u_3, u_4, u_5)$, где $u_i=(d_{i-1}+d_i)/2$ ($i=1 \div 5$). В данном случае значения для параметров σ_j подбираются, исходя из степени важности ФК. Путём простого преобразования: $x=d_0+t(d_5-d_0)$ ($t \in [0; 1]$), отрезок $[d_0; d_5]$ всегда можно легко трансформировать в отрезок $[0; 1]$. Поэтому, оценивая

наличие ФК с точки зрения их значимости, градированных в масштабе $[0; 1]$, где $d_i=0.2i$ ($i=0\div5$), все термы из левых частей правил $r_1\div r_6$ запишем в виде следующих НМ, полагая, что значимость изменений с возрастанием их порядкового номера растёт:

ИМЕЕТ МЕСТО (x_1): $A=\{0.0013/u_1; 0.0183/u_2; 0.1299/u_3; 0.4797/u_4; 0.9216/u_5\}$;

ИМЕЕТ МЕСТО (x_2): $B=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.3679/u_4; 0.8948/u_5\}$;

ИМЕЕТ МЕСТО (x_3): $C=\{0.0063/u_1; 0.0468/u_2; 0.2096/u_3; 0.5698/u_4; 0.9394/u_5\}$;

ИМЕЕТ МЕСТО (x_4): $D=\{0.0183/u_1; 0.0889/u_2; 0.2910/u_3; 0.6412/u_4; 0.9518/u_5\}$;

ИМЕЕТ МЕСТО (x_5): $E=\{0.0392/u_1; 0.1409/u_2; 0.3679/u_3; 0.6977/u_4; 0.9608/u_5\}$;

ИМЕЕТ МЕСТО (x_6): $F=\{0.0687/u_1; 0.1979/u_2; 0.4376/u_3; 0.7427/u_4; 0.9675/u_5\}$.

С учётом этих формализмов правила $r_1\div r_6$ запишутся как:

r_1 : «Если $x_1=A$ и $x_2=B$ и $x_3=C$, тогда $y=Y_1$ »;

r_2 : «Если $x_1=A$ и $x_2=B$ и $x_3=C$ и $x_6=F$, тогда $y=Y_2$ »;

r_3 : «Если $x_1=A$ и $x_2=B$ и $x_3=C$ и $x_5=E$ и $x_6=F$, тогда $y=Y_3$ »;

r_4 : «Если $x_1=A$ и $x_2=B$ и $x_3=C$ и $x_4=D$ и $x_5=E$ и $x_6=F$, тогда $y=Y_4$ »;

r_5 : «Если $x_1=A$ и $x_2=B$ и $x_3=C$ и $x_4=D$ и $x_5=\neg E$ и $x_6=\neg F$, тогда $y=Y_1$ »;

r_6 : «Если $x_1=\neg A$ и $x_2=\neg B$ и $x_4=\neg D$ и $x_5=\neg E$, тогда $y=Y_0$ ».

Для левых частей этих правил определим НМ M_i ($i=1\div6$) путём нахождения минимума значений соответствующих ФП в следующем виде:

$M_1=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.3679/u_4; 0.8948/u_5\}$;

$M_2=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.3679/u_4; 0.8948/u_5\}$;

$M_3=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.3679/u_4; 0.8948/u_5\}$;

$M_4=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.3679/u_4; 0.8948/u_5\}$;

$M_5=\{0.0001/u_1; 0.0043/u_2; 0.0622/u_3; 0.2573/u_4; 0.0325/u_5\}$;

$M_6=\{0.9608/u_1; 0.8591/u_2; 0.6321/u_3; 0.3023/u_4; 0.0392/u_5\}$.

Тогда правила запишутся в ещё более компактной форме, а именно:

r_1 : «Если $x=M_1$, то $Y=Y_1$ »; r_2 : «Если $x=M_2$, то $Y=Y_2$ »;

r_3 : «Если $x=M_3$, то $Y=Y_3$ »; r_4 : «Если $x=M_4$, то $Y=Y_4$ »;

r_5 : «Если $x=M_5$, то $Y=Y_1$ »; r_6 : «Если $x=M_6$, то $Y=Y_0$ ».

Преобразования этих правил с помощью импликации Лукасевича $\mu_D(u, j)=\min\{1; 1-u+j\}$ на $D=U\times J$ для каждой пары $(u, j)\in D$ позволили получить нечёткие отношения в виде матриц $R_1, R_2, \dots, R_6$, пересечение которых по средствам применения операции $\min$ по всем соответствующим элементам в итоге дало следующее общее функциональное решение:

$$R = \begin{bmatrix} & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.9999 & 0.9999 & 0.9992 & 0.9492 & 0.8792 & 0.7892 & 0.6792 & 0.5492 & 0.3992 & 0.2292 & 0.0392 \\ 0.9957 & 0.9957 & 0.9957 & 0.9957 & 0.9809 & 0.8909 & 0.7809 & 0.6509 & 0.5009 & 0.3309 & 0.1409 \\ 0.9378 & 0.9378 & 0.9378 & 0.9378 & 0.9378 & 0.9378 & 0.9378 & 0.8779 & 0.7279 & 0.5579 & 0.3679 \\ 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6321 & 0.6977 \\ 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.1052 & 0.9608 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Согласно [6] нечёткий вывод относительно k -го УК ($k=1\div5$) в зависимости от соответствующего ФК отражается в виде НМ E_k с соответствующими значениями ФП из k -ой строки матрицы R . В частности, вывод относительно наличия ФК 1-го уровня интерпретируется в виде НМ: $E_1=\{0.9999/0; 0.9999/0.1;$

0.9999/0.2; 0.9492/0.3; 0.8792/0.4; 0.7892/0.5; 0.6792/0.6; 0.5492/0.7; 0.3992/0.8; 0.2292/0.9; 0.0392/1}. Тогда, устанавливая α -уровневые множества $E_{1\alpha}$ и, вычисляя соответствующие им мощности $M(E_{1\alpha})$ по формуле

$$M(E_{1\alpha}) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n i_j, i \in E_{1\alpha}, \text{ имеем:}$$

- для $0 < \alpha < 0.0392$: $\Delta\alpha = 0.0392$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.5$;
- для $0.0392 < \alpha < 0.2292$: $\Delta\alpha = 0.19$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.8, 0.9\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.45$;
- для $0.2292 < \alpha < 0.3992$: $\Delta\alpha = 0.17$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.7, 0.8\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.40$;
- для $0.3992 < \alpha < 0.5492$: $\Delta\alpha = 0.15$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.6, 0.7\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.35$;
- для $0.5492 < \alpha < 0.6792$: $\Delta\alpha = 0.13$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; \dots, 0.5, 0.6\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.30$;
- для $0.6792 < \alpha < 0.7892$: $\Delta\alpha = 0.11$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; 0.3, 0.4, 0.5\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.25$;
- для $0.7892 < \alpha < 0.8792$: $\Delta\alpha = 0.09$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; 0.3, 0.4\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.20$;
- для $0.8792 < \alpha < 0.9492$: $\Delta\alpha = 0.07$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2; 0.3\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.15$;
- для $0.9492 < \alpha < 0.9992$: $\Delta\alpha = 0.05$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1; 0.2\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.10$;
- для $0.9992 < \alpha < 0.9999$: $\Delta\alpha = 0.0007$, $E_{1\alpha} = \{0; 0.1\}$, $M(E_{1\alpha}) = 0.05$.

Тогда точечную оценку нечёткого выхода E_1 получим в виде:

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0.9999} \int_0^{0.9999} M(E_{1\alpha}) d\alpha = \frac{1}{0.9999} [0.5 \cdot 0.0392 + \\ + 0.45 \cdot 0.19 + 0.4 \cdot 0.17 + 0.35 \cdot 0.15 + 0.3 \cdot 0.13 + 0.25 \cdot 0.11 + 0.2 \cdot 0.09 + \\ + 0.15 \cdot 0.07 + 0.1 \cdot 0.05 + 0.05 \cdot 0.0007] = 0.3257.$$

Аналогичными действиями устанавливаем точечные оценки и для остальных выходов: при уровне оценочного понятия u_2 – $F(E_2) = 0.3647$; u_3 – $F(E_3) = 0.4350$; u_4 – $F(E_4) = 0.5470$; u_5 – $F(E_5) = 0.9453$. В данном случае, значение $F(E_1) = 0.3257$ является верхней границей интервала, внутри которого оценка ФК характеризуется как «ИМЕЕТ НЕСУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ». Аналогичным образом выход: $F(E_2) = 0.3647$ является верхней границей для оценки ФК как «ИМЕЕТ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ»; $F(E_3) = 0.4350$ является верхней границей для оценки «ИМЕЕТ БОЛЕЕ ЧЕМ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ»; $F(E_4) = 0.5470$ является верхней границей для оценки «ИМЕЕТ ОЧЕНЬ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ»; $F(E_5) = 0.9453$ является верхней границей для оценки «ИМЕЕТ ЧЕРЕСЧУР СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ». Тогда, выбрав в качестве критерия формирования итоговой оценки равенство:

$$E = \frac{F(E_k)}{F_{\max}} \times 100, k = 1 \div 5, \quad (4)$$

где $F(E_k)$ – оценка k -го уровня наличия и влияния ФК (в широком смысле и любая другая оценка), $F_{\max} = F(E_5) = 0.9453$, в принятых допущениях получим обоснованную шкалу для оценки уровня конфиденциальности документа в масштабе отрезка $[0; 100]$, а именно: A=(57.86; 100]; B=(46.01; 57.86]; C=(38.58; 46.01]; D=(34.45; 38.58]; E=[0.00; 34.45].

Оценивание УК документов методом нечёткого вывода. Теперь представим, что экспертному сообществу предлагается по пятибалльной системе

протестировать 10 документов: a_k ($k=1\div 10$) на предмет оценки степени влияния ФК x_i ($i=1\div 6$) на уровень их секретности. Предположим, что на основе консолидированных (усреднённых) экспертных заключений, удовлетворяющих требованиям (2) и согласованных согласно равенству (3), и применения к критерия итоговой оценки (1), для документов a_k ($k=1\div 10$) получены итоговые взвешенные оценки УК, которые сведены в **Таблицу 1**.

Таблица 1. – Классификация a_k по УК на основе экспертных оценок

№	Весовой коэффициент оценки ФК						Итоговая оценка (%)	Гриф конфиденциальности
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6		
	0.261	0.207	0.177	0.159	0.122	0.074		
a_1	4.67	4.67	4.80	4.53	4.47	4.67	93.27	A
a_2	3.87	4.47	4.47	4.20	4.27	4.47	85.19	B
a_3	3.47	3.80	4.13	4.07	4.07	4.13	77.22	C
a_4	2.80	2.80	2.87	3.00	3.40	3.00	58.27	D
a_5	2.00	2.40	2.73	2.27	2.73	2.47	47.90	E
a_6	4.47	4.60	4.67	4.73	4.47	4.53	91.62	A
a_7	3.87	4.20	4.07	4.60	4.00	4.27	81.91	B
a_8	1.67	1.87	2.07	2.07	1.87	2.07	37.78	E
a_9	3.20	3.60	3.13	3.80	3.60	3.60	68.09	C
a_{10}	2.53	2.33	2.67	2.47	2.60	2.80	50.84	D

Чтобы построить систему нечёткого логического вывода относительно оценок УК сведений в документах a_k ($k=1\div 10$), прошедших первичную экспертную экспертизу по пятибалльной системе оценивания на предмет влияния ФК x_i ($i=1\div 6$) (**Таблицу 1**), воспользуемся конструкцией вербальной модели, сформулированной выше посредством высказываний $r_1\div r_6$. В этом случае для термов из их левых частей правил вида $r_1\div r_6$ процедура фаззификации применена несколько иначе, а именно: каждый терм отражён в виде нечёткого подмножества конечной совокупности оцениваемых альтернатив (в нашем случае документов) $\{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$ в следующем виде: $A_i = \{\mu_{A_i}(a_1)/a_1; \mu_{A_i}(a_2)/a_2; \dots; \mu_{A_i}(a_{10})/a_{10}\}$, где $\mu_{A_i}(a_k)$ ($k=1\div 10$) – значение ФП НМ A_i , устанавливающего на сколько документ a_k соответствует критерию оценки A_i . В качестве такой функции нами выбрана Гауссовская ФП вида: $\mu_{A_i}(a_k) = \exp\{-[e_i(a_k)-5]^2/\sigma_i^2\}$, где $e_i(a_k)$ – усреднённая экспертная оценка по пятибалльной шкале относительно степени влияния i -го ФК на УК документа a_k ($k=1\div 10$); σ_i^2 – плотность расположения ближайших элементов, которую мы выбираем единой для всех случаев процесса фаззификации, как равной 4. Тогда, полагая уровни влияния ФК x_i ($i=1\div 6$) как ЛП, их максимально критичные термы, в частности, «ОЧЕНЬ БОЛЬШОЕ» представим в виде соответствующих нечётких подмножеств A_i дискретного универсума $U = \{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$ следующим образом:

$A_1 = \{0.9731/a_1; 0.7267/a_2; 0.5570/a_3; 0.2982/a_4; 0.1054/a_5; 0.9322/a_6; 0.7267/a_7; 0.0625/a_8; 0.4449/a_9; 0.2176/a_{10}\};$

$A_2 = \{0.9731/a_1; 0.9322/a_2; 0.6977/a_3; 0.2982/a_4; 0.1845/a_5; 0.9608/a_6; 0.8521/a_7; 0.0864/a_8; 0.6126/a_9; 0.1683/a_{10}\};$

$A_3=\{0.9900/a_1; 0.9322/a_2; 0.8276/a_3; 0.3217/a_4; 0.2758/a_5; 0.9731/a_6; 0.8056/a_7; 0.1169/a_8; 0.4172/a_9; 0.2574/a_{10}\};$

$A_4=\{0.9463/a_1; 0.8521/a_2; 0.8056/a_3; 0.3679/a_4; 0.1552/a_5; 0.9819/a_6; 0.9608/a_7; 0.1169/a_8; 0.6977/a_9; 0.2019/a_{10}\};$

$A_5=\{0.9322/a_1; 0.8753/a_2; 0.8056/a_3; 0.5273/a_4; 0.2758/a_5; 0.9322/a_6; 0.7788/a_7; 0.0864/a_8; 0.6126/a_9; 0.2369/a_{10}\};$

$A_6=\{0.9731/a_1; 0.9322/a_2; 0.8276/a_3; 0.3679/a_4; 0.2019/a_5; 0.9463/a_6; 0.8753/a_7; 0.1169/a_8; 0.6126/a_9; 0.2982/a_{10}\}.$

Тогда с учётом этих формализмов и представленных выше формальных описаний термов из правых частей правил, базовая нечёткая модель оценивания запишется в следующем виде:

r_1 : «Если $x_1=A_1$ и $x_2=A_2$ и $x_3=A_3$, то $y=Y_1$ »;

r_2 : «Если $x_1=A_1$ и $x_2=A_2$ и $x_3=A_3$ и $x_6=A_6$, то $y=Y_2$ »;

r_3 : «Если $x_1=A_1$ и $x_2=A_2$ и $x_3=A_3$ и $x_5=A_5$ и $x_6=A_6$, то $y=Y_3$ »;

r_4 : «Если $x_1=A_1$ и $x_2=A_2$ и $x_3=A_3$ и $x_4=A_4$ и $x_5=A_5$ и $x_6=A_6$, то $y=Y_4$ »;

r_5 : «Если $x_1=A_1$ и $x_2=A_2$ и $x_3=A_3$ и $x_4=A_4$ и $x_5=\neg A_5$ и $x_6=\neg A_6$, то $y=Y_1$ »;

r_6 : «Если $x_1=\neg A_1$ и $x_2=\neg A_2$ и $x_4=\neg A_4$ и $x_5=\neg A_5$, то $y=Y_0$ ».

Преобразование этих правил в привычной манере в итоге дало решение R , отражающее на множестве J причинно-следственную связь между консолидированными экспертными оценками документов по ФК x_i ($i=1\div 6$) и соответствующими уровнями конфиденциальности.

	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
a_1	0.0269	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.9731
a_2	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.9322
a_3	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.4430	0.8056
a_4	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.7018	0.6273	0.5273
a_5	0.8946	0.8946	0.8946	0.8946	0.8758	0.7758	0.6758	0.5758	0.4758	0.3758	0.2758
a_6	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.0678	0.9819
a_7	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.2733	0.9608
a_8	0.9378	0.9378	0.9169	0.8169	0.7169	0.6169	0.5169	0.4169	0.3169	0.2169	0.1169
a_9	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.5828	0.6977
a_{10}	0.8317	0.8317	0.8317	0.8317	0.8317	0.7369	0.6369	0.5369	0.4369	0.3369	0.2369

Согласно вышеупомянутым рассуждениям, k -я строка матрицы R является нечётким выводом (множеством) относительно агрегированного УК для k -ой альтернативы (документа). Чтобы численно интерпретировать каждый из таких нечётких выводов применим описанную выше процедуру дефаззификации. Так, для нечёткого вывода E_1 относительно УК 1-го документа, т.е. для $E_1=\{0.0269/0; 0.0678/0.1; 0.0678/0.2; 0.0678/0.3; 0.0678/0.4; 0.0678/0.5; 0.0678/0.6; 0.0678/0.7; 0.0678/0.8; 0.0678/0.9; 0.0678/1\}$ имеем:

- для $0 < \alpha < 0.0269$: $\Delta\alpha=0.0269$; $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha})=0.50$;
- для $0.0269 < \alpha < 0.0678$: $\Delta\alpha=0.0410$; $E_{1\alpha}=\{0.1; 0.2; \dots; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha})=0.55$;
- для $0.0678 < \alpha < 0.9731$: $\Delta\alpha=0.9053$; $E_{1\alpha}=\{1\}$, $M(E_{1\alpha})=1.00$.

Точечной оценкой нечёткого вывода E_1 будет:

$$F(E_{1\alpha}) = \frac{1}{0.9731} \int_0^{0.9731} M(E_{1\alpha}) d\alpha =$$

$$= \frac{1}{0.9731} [0.5 \cdot 0.0269 + 0.55 \cdot 0.0410 + 1 \cdot 0.9053] = 0.9673.$$

Аналогичными действиями были установлены точечные оценки нечётких выводов относительно УК и для остальных документов: $a_2 - F(E_2)=0.8534$; $a_3 - F(E_3)=0.7250$; $a_4 - F(E_4)=0.4823$; $a_5 - F(E_5)=0.3753$; $a_6 - F(E_6)=0.9655$; $a_7 - F(E_7)=0.8578$; $a_8 - F(E_8)=0.2981$; $a_9 - F(E_9)=0.5823$; $a_{10} - F(E_{10})=0.3756$. В результате, путём простого умножения этих значений на 100 получим соотношение итоговых УК документов в масштабе $[0; 100]$.

Заключение. Сравнение полученных обоими методами результатов оценки УК альтернативных документов a_k ($k=1 \div 10$) представлен в **Таблице 2**, откуда видно, что оценки УК не везде совпадают, особенно, при сравнении УК по их маркерам. Последнее объясняется разными подходами к формированию шкалы градации итоговых оценок УК. Тем не менее, ранжирование документов по оценкам, полученным на основе нечёткого подхода, вызывает большее доверие, т.к. в данном случае при её формировании прослеживаются причинно-следственные связи между ФК и, собственно, УК. Что касается порядков соотношений итоговых оценок, то они достаточно схожи, за исключением результатов, полученных для альтернатив a_2 и a_7 .

Таблица 2. – Сравнение оценок уровней конфиденциальности

Док-т	Метод взвешенных оценок ФК			Метод нечёткого вывода		
	Оценка	УК	Порядок	Оценка	УК	Порядок
a_1	93.27	A	1	96.73	A	1
a_2	85.19	B	3	85.34	A	4
a_3	77.22	C	5	72.50	A	5
a_4	58.27	D	7	48.23	B	7
a_5	47.90	E	9	37.53	B	9
a_6	91.62	A	2	96.55	A	2
a_7	81.91	B	4	85.78	A	3
a_8	37.78	E	10	29.81	E	10
a_9	68.09	C	6	58.23	A	6
a_{10}	50.84	D	8	37.56	D	8

Таким образом, посредством применения механизма нечёткого вывода, стало возможным, во-первых, классифицировать оценки влияния факторов конфиденциальности сведений на уровень секретности документа, во-вторых, обобщать мнения экспертов о существующих факторах конфиденциальности и, наконец, в-третьих, консолидировать выводы всех экспертов относительно уровня конфиденциальности сведений, подлежащих включению в будущий документ.

Благодарность. Автор считает своим долгом выразить искреннюю 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. Алексенцев А.И. О классификации конфиденциальной информации по видам тайны // Безопасность информационных технологий. – 1999. – №3. – С. 65–71.
2. Алексенцев А.И. О составе защищаемой информации // Безопасность информационных технологий. – 1999. – №2. – С. 5–7.
3. Фатьянов А.А. Проблемы защиты конфиденциальной информации, не составляющей государственную тайну // Информационное общество. – 1997. – №1. – С. 48–56.
4. Рзаев, Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Aleksentsev A.I. O klassifikatsii konfidentsialnoy informatsii po vidam tayny // Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy. – 1999. – №3. – S. 65–71.
2. Aleksentsev A.I. O sostave zashchishchayemoy informatsii // Bezopasnost informatsionnykh tekhnologiy. – 1999. – №2. – S. 5–7.
3. Fatianov A.A. Problemy zashchity konfidentsialnoy informatsii. ne sostavlyayushchey gosudarstvennuyu taynu // Informatsionnoye obshchestvo. – 1997. – №1. – S. 48–56.
4. Rzayev. R.R. Analiticheskaya podderzhka prinyatiya resheniy v organizatsionnykh sistemakh. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 s.

Сулейманова Афет Низами кызы, докторант, jafa25@mail.ru, Азербайджан, Баку, Бакинский государственный университет

INFORMATION-ANALYTICAL SUPPORT FOR THE PROCESS OF MARKING DOCUMENTS USING A FUZZY ANALYSIS OF CONFIDENTIALITY OF DATA

A. N. Suleymanova

In the framework of the automated information-analytical system for supporting the process of document labeling, it is proposed to use the fuzzy inference for the preliminary classification and processing of expert opinions from remote sources regarding the degree of confidentiality of information to be included in the future document and use them for subsequent aggregation in order to identify a consolidated estimate the level of secrecy of a particular document.

Key words: confidentiality factor, expert conclusion, fuzzy set, fuzzy inference system.

Suleymanova Afet Nizami, candidate for a degree, jafa25@mail.ru, Azerbaijan, Baku, Baku State University.

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ
ГОРНЫХ ПОРОД ЭКСПРЕСС-МЕТОДОМ***

Корнеев В.А.¹

***Аннотация.** В статье рассмотрены отечественные измерительные средства для определения прочностных свойств горных пород в скважинах. Описан принципиально новый способ определения сопротивляемости горных пород хрупкому разрушению. Показаны его достоинства и предложено устройство для его реализации «Прочностномер ПСШ-1». Описана конструкция и технические особенности прибора «Прочностномер ПСШ-1».*

***Ключевые слова.** Прочность, коэффициент крепости, экспресс-метод, горная порода, прибор, контактная задача.*

Разработка месторождений полезных ископаемых является сложным технологическим процессом, основными операциями которого являются разрушение горных пород, а также поддержание инженерных сооружений в безопасном рабочем состоянии. В соответствии с Федеральными нормами и правилами в области промышленной безопасности [1,2,3] одним из важнейших показателей, служащих для принятия технологических решений, являются сведения о прочностных свойствах горных пород, слагающих массив. Определение их значений в различных точках массива посредством испытания извлеченных от туда кернов достаточно затруднительно. В связи с этим наиболее приемлемым решением становится оценка прочностных свойств массива экспресс-методами, за счет специальных устройств, осуществляющих испытание горных пород в местах их естественного залегания. Принцип действия таких приборов заключается в определении предела прочности на одноосное сжатие или коэффициента крепости горных пород по шкале М.М. Протоdjяконова посредством интерпретации диаграммы вдавливания различных инденторов в стенку или забой скважины.

Среди приборов, серийно выпускавшихся отечественной промышленностью для этих целей, наибольшее распространение получили гидравлические приборы БП-18 (рис.1-а), 70У01 (**Рис.1,б**), и приборы типа МГД (многоточечный гидравлический датчик с самописцем) (**Рис.1,в**) [4,5]. Приборы типа МГД выпускались на опытно-экспериментальном заводе ВНИМИ в многоточечном исполнении под шифром 8Д05 и в одноточечном под шифрами 71Д04 и СА17 [4].

* Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых - кандидатов наук № МК-6689.2018.8

К настоящему моменту выше перечисленные устройства морально и функционально устарели и не выпускаются промышленностью. Сложившаяся ситуация и потребность горного производства способствовали попыткам создать аналогичные приборы с учетом современных научно-технических достижений в области измерительных систем.

Одним из таких средств стало устройство для измерения свойств горных пород в скважинах приконтурного массива выработок, предложенное ОАО «Кузбасский научно-исследовательский институт шахтного строительства» [6] (Рис.1,г).

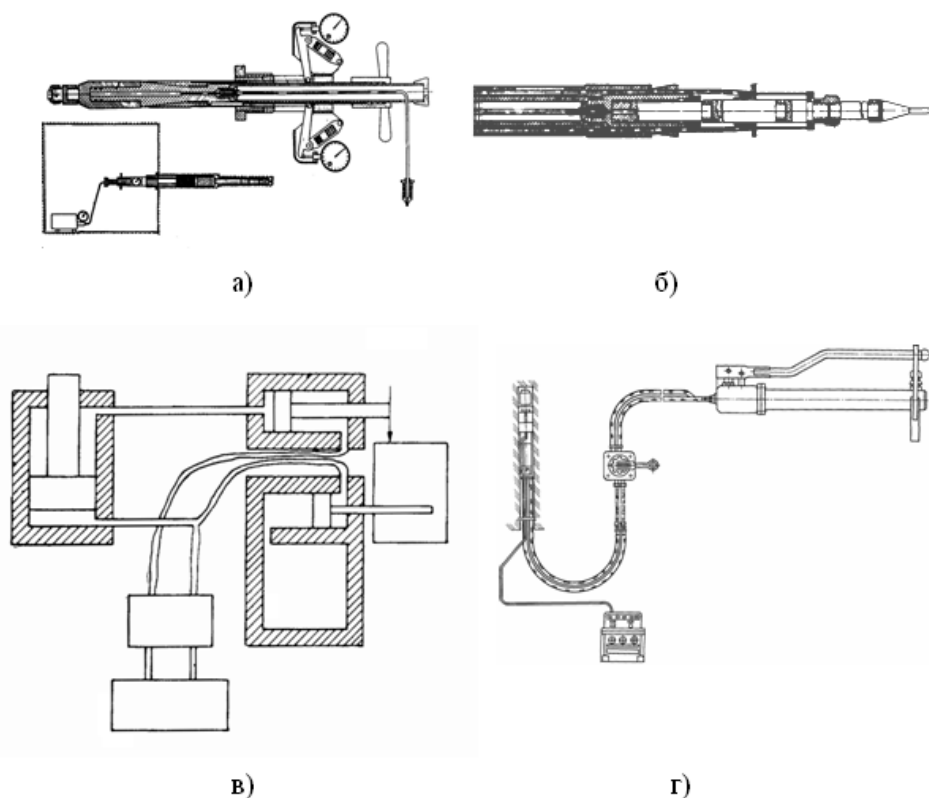


Рис.1 – Отечественные измерительные средства для определения прочностных свойств горных пород в скважинах

Разработчики прибора [6] предлагают определять прочностные свойства горных пород по специальной формуле, недостатком которой является использование эмпирического коэффициента, что значительно затрудняет процесс проведения исследований.

Разработка технических средств определения механических свойств горных пород экспресс-методом с принципиально иным подходом к интерпретации диаграммы вдавливания индентора осуществляется в Сибирском государственном индустриальном университете в рамках гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых - кандидатов наук (№ МК-6689.2018.8). В процессе проведения исследований было разработано устройство «Прочностномер ПСШ-1», приведенное на Рис.2,а.

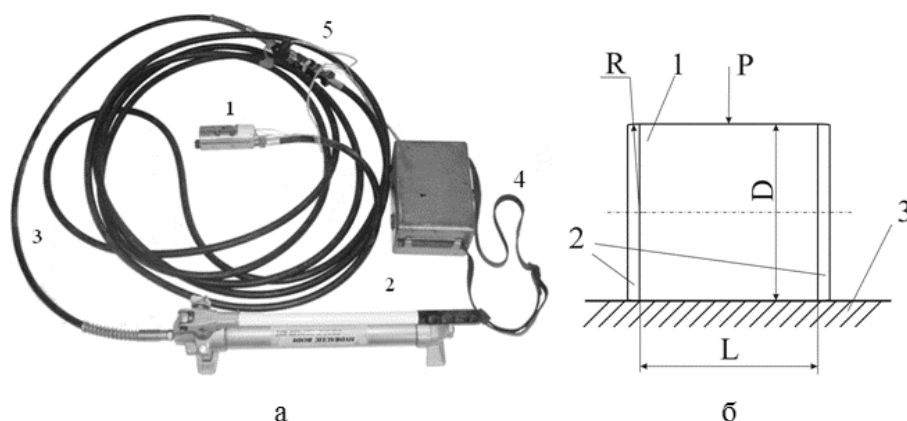


Рис.2 – Устройство «Прочностномер ПСШ-1»: а – внешний вид, б – используемый индентор

«Прочностномер ПСШ-1» состоит из измерительного гидроцилиндра 1, насоса 2, рукава высокого давления 3, измерительного блока 4 и датчика давления 5. Шток поршня измерительного гидроцилиндра оснащен индентором (Рис.2,б), взаимодействующим с горной породой при работе прибора. На Рис.2,б обозначено: 1 - тело индентора, выполненное в виде прямого кругового цилиндра диаметром D , равным его длине L ; 2 - торцы индентора, имеющие закругления радиусом R , равным радиусу прямого кругового цилиндра, составляющего тело 1 индентора, 3 – испытываемая горная порода, P – усилие, прикладываемое к индентору. Воздействие индентора на разрушаемую породу 3 осуществляется по образующей прямого кругового цилиндра, составляющего тело 1 индентора.

Конструктивные варианты исполнения прибора отличаются устройством измерительного гидроцилиндра, который может включать в себя гидроусилитель [7,8] для проведения исследований в особо крепких горных породах, а также обладать возможностью расклинивания в скважине при проведении измерений [9].

Устройство «Прочностномер ПСШ-1» реализует способ определения сопротивляемости горных пород хрупкому разрушению, разработанный автором статьи совместно с д.т.н., профессором Дворниковым Л.Т. [10].

Способ [10] может также применяться для оценки свойств горных пород на образцах. Для этого используется переносной ручной гидравлический пресс, к верхней плите которого прикрепляется индентор.

Достоинством способа является возможность достижения внедрения индентора в испытываемую горную породу при меньшем усилии в сравнении с существующими аналогами. Этот эффект обусловлен тем, что на начальном этапе проведения измерения взаимодействие индентора с горной породой осуществляется лишь по тонкой полосе контакта, представляющей собой образующую прямого кругового цилиндра, составляющего тело индентора (Рис.2,б). Эта особенность с одной стороны обеспечивает охват требуемого количества зерен горной породы для достижения приемлемой точности измерения (в сравнении с цилиндросферическими и коническими инденторами),

а с другой – возможность проведения исследований в скважинах, где не могут применяться инденторы с плоской контактной поверхностью.

Выполнение при этом торцов индентора с закруглениями позволяет исключить наличие концентратора напряжений. В результате этого становится возможным получать приемлемые результаты измерения без основательного обеспечения параллельности образующей цилиндра и горной породы.

На **Рис.3** представлена принципиальная схема системы сбора данных устройства «Прочностномер ПСШ-1». Измерительная часть устройства состоит из датчика давления ДМ5007АЕх и малогабаритного индуктивного датчика линейных перемещений RM25-T-SA-FB, размещенного в измерительном гидроцилиндре. В процессе работы прибора перемещение индентора передается на шток датчика RM25-T-SA-FB через имеющуюся между ними механическую связь. Датчик давления ДМ5007АЕх подключен к гидравлической системе прибора через тройник. Датчик давления ДМ5007АЕх подключен к гидравлической системе прибора через тройник.

В качестве устройства для регистрации показаний датчиков используется модуль сбора данных МСД-200, позволяющий осуществлять архивирование данных на карту память (MMC, SD, SDHC, microSD, microSDHC), что дает возможность обработки результатов измерений вне зоны их проведения. Помимо этого модуль имеет два интерфейса связи RS-485 (RS1-ЭВМ и RS2-Приборы) и один интерфейс связи USB-Device.

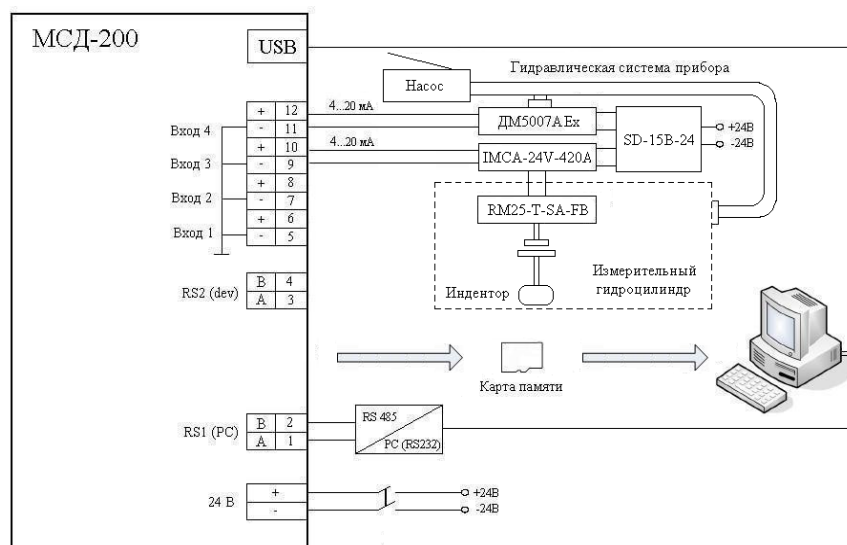


Рис.3 – Принципиальная схема системы сбора данных устройства «Прочностномер ПСШ-1»

Архивация данных в модуле осуществляется в виде файлов формата *.CSV. Визуализация результатов измерений, содержащихся в файлах, производится с использованием прилагаемого к модулю программного обеспечения «ОВЕН-МСД-200 Excel2003» или в редакторе Microsoft Excel. Максимальный объем информации, содержащейся в архиве, определяется используемой картой памяти. Модуль МСД-200 позволяет использовать карты памяти с объемом до 32 Гб. Конфигурирование модуля осуществляется через ЭВМ с использованием прилагаемого пакета «Конфигуратор МСД-200».

Взаимодействие модуля МСД-200 с датчиками производится по двум измерительным входам с использованием унифицированного токового сигнала 4..20 мА. При этом сигнал с датчика линейных перемещений передается в модуль через нормализатор сигнала IMCA-24V-420A.

Питание прибора осуществляется от аккумулятора напряжением 24 В через стабилизатор напряжения SD-15B-24, необходимый для обеспечения точности измерений при работе датчиков.

В настоящее время автором статьи осуществляется тарировка разработанного измерительного устройства и установление корреляционных связей между измеряемыми величинами и прочностными свойствами горных пород. Для интерпретации диаграммы вдавливания, фиксируемой прибором, предполагается использовать установленные эмпирические зависимости и теорию решения контактных задач, базирующуюся на работах И.Я. Штаермана, А.И. Лурье, С.Д. Пономарева и др. [11,12,13].

Библиографический список

- 1.Гарант. Информационно-правовое обеспечение. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах» (утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 декабря 2013 г. N 610) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ivo.garant.ru/#/document/70597944/paragraph/1:2> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 14.05.2018)
- 2.РД 05-328-99 Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 29 ноября 1999 г. № 87 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dokipedia.ru/document/4362894> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 14.05.2018)
- 3.РД 05-350-00 Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, (породы) и газа. Утверждена постановлением Госгортехнадзора России от 04.04.00 № 14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/geology/%D0%A0%D0%94%2005%E2%80%911350%E2%80%91100.pdf> . – Заглавие с экрана. – (дата обращения 14.05.2018)
- 4.Петухов, И.М. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля. – Л.: Печатный цех ВНИМИ, 1973. – 130 с.
- 5.А.с 288368 СССР, МПК G 01l 1/02. Многоточечный гидравлический датчик с самописцем / Г.Д. Морозов. – № 1380252/22-3 ; заявл. 26.11.69 ; опубл. 03.12.70.
- 6.Патент 2230904 РФ, МПК E21C39/00. Устройство для измерения свойств горных пород в скважинах приконтурного массива выработок / Ануфриев В.Е., Бузук В.В., Федоринин В.Н., Франкевич Г.С. – № 2001126040/03 ; заявл. 24.09.2001 ; опубл. 20.06.2004. – 6 с. : ил.

7. Патент № 2433266 РФ, МПК E21C39/00, G01N3/40. Погружной измеритель крепости горных пород / Л.Т. Дворников, В.А. Корнеев. – № 2010110978/03 ; заявл. 22.03.2010 ; опубл. 10.11.2011. – 5 с. : ил.
8. Патент 97765 РФ, МПК E21C 39/00 (2006.01). Устройство для измерения крепости горных пород / Корнеев В.А. – № 2010118862/03 ; заявл. 11.05.2010 ; опубл. 20.09.2010. – 2 с. : ил.
9. Патент 2624064 РФ, МПК E21C 39/00 (2006.01). Погружной измеритель энергоемкости разрушения горных пород / Корнеев В.А. – № 2016116664 ; заявл. 27.04.2016 ; опубл. 30.06.2017. – 4 с. : ил.
10. Заявка 2018114343 РФ, МПК E 21 C 39/00 (2006.01). Способ определения сопротивляемости горных пород хрупкому разрушению / Дворников Л.Т., Корнеев В.А. – заявл. 18.04.2018. – 6 с. : ил.
11. Штаерман, И.Я. Контактная задача теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1949. – 271 с.
12. Лурье, А.И. Пространственные задачи теории упругости. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1955. – 493 с.
13. Расчеты на прочность в машиностроении Том II / С.Д. Пономарев [и др.] ; под ред. С.Д. Пономарева. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958. – 974 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Garant. Informacionno-pravovoe obespechenie. Federal'nye normy i pravila v oblasti promyshlennoj bezopasnosti «Instrukciya po raschetu i primeneniyu ankernoj krepki na ugol'nyh shahtah» (utv. prikazom Federal'noj sluzhby po ehkologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru ot 17 dekabrya 2013 g. N 610) [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://ivo.garant.ru/#/document/70597944/paragraph/1:2> . – Zaglavie s ehkrana. – (data obrashcheniya 14.05.2018)
2. RD 05-328-99 Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornyh rabot na shahtah, razrabatyvayushchih ugol'nye plasty, sklonnye k gornym udaram. Utverzhdena postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 29 noyabrya 1999 g. № 87 [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://dokipedia.ru/document/4362894> . – Zaglavie s ehkrana. – (data obrashcheniya 14.05.2018)
3. RD 05-350-00 Instrukciya po bezopasnomu vedeniyu gornyh rabot na plastah, opasnyh po vnezapnym vybrosam uglya, (porody) i gaza. Utverzhdena postanovleniem Gosgortekhnadzora Rossii ot 04.04.00 № 14 [EHlektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/geology/%D0%A0%D0%94%2005%E2%80%9191350%E2%80%91100.pdf> . – Zaglavie s ehkrana. – (data obrashcheniya 14.05.2018)
4. Petuhov, I.M. Raschet i ehksperimental'naya ocenka napryazhenij v celikah i kraevykh chastyah plasta uglya. – L.: Pechatnyj cekh VNIMI, 1973. – 130 s.
5. A.s 288368 SSSR, MPK G 011 1/02. Mnogotochechnyj gidravlicheskiy datchik s samopiscem / G.D. Morozov. – № 1380252/22-3 ; zayavl. 26.11.69 ; opubl. 03.12.70.

6. Patent 2230904 RF, MPK E21C39/00. Ustrojstvo dlya izmereniya svojstv gornyh porod v skvazhinah prikonturnogo massiva vyrabotok / Anufriev V.E., Buzuk V.V., Fedorinin V.N., Frankevich G.S. – № 2001126040/03 ; zayavl. 24.09.2001 ; opubl. 20.06.2004. – 6 s. : il.
7. Patent № 2433266 RF, MPK E21C39/00, G01N3/40. Pogruzhnoj izmeritel' kreposti gornyh porod / L.T. Dvornikov, V.A. Korneev. – № 2010110978/03 ; zayavl. 22.03.2010 ; opubl. 10.11.2011. – 5 s.: il.
8. Patent 97765 RF, MPK E21S 39/00 (2006.01). Ustrojstvo dlya izmereniya kreposti gornyh porod / Korneev V.A. – № 2010118862/03 ; zayavl. 11.05.2010 ; opubl. 20.09.2010. – 2 s. : il.
9. Patent 2624064 RF, MPK E21S 39/00 (2006.01). Pogruzhnoj izmeritel' ehnergoemkosti razrusheniya gornyh porod / Korneev V.A. – № 2016116664 ; zayavl. 27.04.2016 ; opubl. 30.06.2017. – 4 s. : il.
10. Zayavka 2018114343 RF, MPK E 21 S 39/00 (2006.01). Sposob opredeleniya soprotivlyaemosti gornyh porod hrupkomu razrusheniyu / Dvornikov L.T., Korneev V.A. – zayavl. 18.04.2018. – 6 s. : il.
11. SHtaerman, I.YA. Kontaktnaya zadacha teorii uprugosti. – M.: Gostekhizdat, 1949. – 271 s.
12. Lur'e, A.I. Prostranstvennye zadachi teorii uprugosti. – M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo tekhniko-teoreticheskoy literatury, 1955. – 493 s.
13. Raschety na prochnost' v mashinostroenii Tom II / C.D. Ponomarev [i dr.] ; pod red. C.D. Ponomareva. – M.: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatel'stvo mashinostroitel'noj literatury, 1958. – 974 s.

Корнеев Виктор Александрович, канд. техн. наук, зав. лабораториями, korneev_va@list.ru, Россия, Новокузнецк, Сибирский государственный индустриальный университет

DEVICE FOR DETERMINING THE STRONG PROPERTIES OF MOUNTAIN ROCKS BY EXPRESS METHOD

V. A. Korneyev

In the article domestic measuring means for definition of strength properties of rocks in boreholes are considered. A fundamentally new method for determining the resistance of rocks to brittle fracture is described. Its advantages are shown and the device for its realization "PSSh-1" is offered. The design and technical features of the device " PSSh-1" are described.

Key words: strength, coefficient of strength, express method, rock, instrument, contact problem.

Korneyev Victor Aleksandrovich, candidate of technical sciences, head of Laboratories, korneev_va@list.ru, Russia, Novokuznetsk, Siberian State Industrial University

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал

Выпуск №4 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.

Севастополь 2018 г.