

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

№3
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»

- Рапацкий Ю.Л., Копп В.Я., Заморёнов М.В., Липка В.М.* 3
Исследование надежности процесса накатывания наружной резьбы
- Пантюхина Е.В., Прейс В.В., Хачатурян А.В.* 16
механические дисковые бункерные загрузочные устройства для стержневых деталей с неявно выраженными ключами ориентации
- Карлов А.Г.* 26
Обоснование актуальности и алгоритма системной подготовки специалистов проектирования инновационной техники и технологий

Секция «Моделирование автоматизированных производственных систем»

- Бахадиров Г.А., Хуррамов Ш.Р., Абдукаримов А., Носиров М.И.* 43
Моделирование контактного взаимодействия листового материала при обработке на многооперационной машине
- Винограденко А.М., Васильев В.А., Веселовский А.П., Меженев А.В.* 50
Диагностирование и идентификация технического состояния распределенных радиоэлектронных систем
- Заморёнов М.В.* 67
Исследование процесса функционирования системы асинхронной репликации данных

Секция «Системы управления и информационные технологии в современном производстве»

- Марданов М.Дж., Рзаев Р.Р.* 75
Методы многокритериальной оценки альтернатив в логическом базисе нейронных сетей

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

- Балакин А.И., Копп В.Я., Балакина Н.А.* 86
Влияние пределов изменения случайной величины на ее энтропию
- Кудрявченко И.В., Карлусов В.Ю.* 92
Измерение параметров движения мобильных объектов с «коллективным» поведением
- Акулов П.А., Петрешин Д.И., Сырых А.Д.* 100
Автоматизация испытаний электрических соединителей
- Волошина Н.А., Балакина Н.А.* 107
Исследование динамических характеристик плоских эжекторных

СЕКЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА, ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

УДК 621.822

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ НАРУЖНОЙ РЕЗЬБЫ

Рапацкий Ю.Л.¹, Копп В.Я.¹, Заморёнов М.В.¹, Липка В.М.²

Аннотация. Рассматривается автоматизированный технологический процесс получения наружных крепежных резьб наиболее распространенных диаметров резьбонакатыванием на двухроликовых резьбонакатных станках с радиальной подачей. Предложена математическая модель надежности процесса резьбонакатывания, учитывающая влияние взаимосвязанных отказов на вероятность изготовления бракованных деталей с резьбой.

Ключевые слова. Накатывание наружной резьбы, взаимосвязанные отказы, надежность процесса резьбонакатывания.

Наиболее широко распространены в современном машиностроении, в т.ч. в автомобильной промышленности, а также в судостроении и других отраслях, резьбовые соединения (РС) М6...М20 с шагом 1,0 мм (для М6, М8), 1,25 мм (для М10, М12), 1,5-2,0 мм (для М14...М20). [1] Наряду с другими видами крепежных деталей, болты и шпильки с метрическими резьбами массово применяются при сборке изделий машиностроения (ИМ), а также в процессе их эксплуатации, обслуживания и ремонта. Наиболее эффективным способом получения высококачественных крепежных резьбовых деталей (РД) с наружной резьбой (НР) является накатывание роликами на двухроликовых станках с радиальной подачей. [1,3,6,7,8]. Вместе с тем, как показали многочисленные эксперименты, [2,3,4,6,7] обеспечение стабильного качества РД с НР при высокой производительности и минимальных затратах на резьбонакатные инструменты является сложной задачей, которая в полной мере не решена. Нестабильное качество РД приводит к релаксации и разрушению РД, раскрытию стыков РС и отказам ИМ. Фактические величины зазоров между сопрягаемыми резьбовыми поверхностями при свинчивании и затяжке РС являются случайными величинами, значения которых во многих случаях по технологическим и организационным причинам не соответствуют расчетным посадкам [3]. В ряде публикаций, в частности, в [9], предложены упрощенные математические модели надежности процесса резьбонакатывания, но они построены в предположении независимости всех возникающих отказов, что существенно снижает точность результатов

и затрудняет их практическое применение.

Цель исследования: построение и анализ математической модели надежности автоматизированного технологического процесса накатывания наружных резьб на двухроликовом резьбонакатном станке с радиальной подачей.

Как показали экспериментальные исследования [2,3], наибольшее влияние на качество РД с НР оказывает процесс резьбонакатывания, а также наследственная информация [4], передаваемая заготовкам при технологическом наследовании в ходе предшествующих этапов процесса изготовления, среди которых особое значение имеет операция шлифования. Одним из важнейших факторов, определяющих качество деталей с НР, является состояние рабочей поверхности резьбонакатных роликов (РР). Все дефекты и отклонения формы и размеров рабочей поверхности РР, неизбежно воспроизводятся при накатывании резьбы на заготовках РД с НР. Отклонения от расчетных технологических параметров, как правило, приводят к катастрофическому износу РР, который при нормальных условиях эксплуатации не возникает. На **Рис.1** показаны резьбонакатные ролики с выраженными следами ускоренного износа и повреждениями рабочей поверхности.



Рис.1 – Резьбонакатные ролики со следами повреждений и разрушений рабочих поверхностей в процессе эксплуатации

Теоретическое значение ориентировочной стойкости T_P (тыс. заготовок) роликов для двухроликовых станков, работающих с радиальной подачей, можно определить по формуле [5,6]

$$T_P = T_T K_M K_C K_\Phi K_T K_D, \quad (1)$$

где T_T – базовая стойкость инструмента; K_M – коэффициент, характеризующий изменение стойкости в зависимости от предела прочности и твердости материала заготовки; K_C – коэффициент, характеризующий изменение стойкости в зависимости от марки инструментальной стали; K_Φ – коэффициент, характеризующий изменение стойкости в зависимости от способа формообразования резьбового профиля на нём; K_T – коэффициент, характеризующий изменение стойкости в зависимости от размера обрабатываемой резьбы; K_D – коэффициент, учитывающий влияние диаметра РР на его стойкость.

Наиболее характерные примеры различных видов брака наружной резьбы, вызванных взаимосвязанными отказами в процессе резьбонакатывания, показаны на **Рис.2**, слева направо: неполная высота профиля резьбы; смятие вершин резьбы; не выдержана длина резьбы и, вместе с тем, выкрашивание ниток резьбы в месте совпадения с фаской заготовки; не выдержана длина резьбы, отклонение диаметра резьбы и вместе с тем выкрашивание ниток резьбы в месте совпадения с фаской заготовки; отслаивание металла; неравномерная высота профиля по длине и окружности; не выдержана длина резьбы с полным профилем; конусность а также овальность резьбы; разброс диаметров резьбы (при одной наладке); трещины на резьбе. Как видно из **Рис.2**, отказы процесса резьбонакатывания, приводящие к выпуску РД с НР, непригодных для сборки РС, могут проявляться не только по отдельности, но и в различных, достаточно опасных сочетаниях. В ходе производственных экспериментов проводились наблюдения за работой резьбонакатных станков, осуществлялась визуальная оценка и выборочные измерения в процессе изготовления крупных партий (более 10000 деталей) геометрических и точностных параметров РР и РД с НР, что позволило достоверно установить взаимосвязи между причинами отказов и их следствиями. Особенностью процесса резьбонакатывания является его высокая производительность, вследствие чего и внезапные, и параметрические отказы во многих случаях не вызывают остановку оборудования, а приводят к массовому выпуску бракованных деталей, что обнаруживается при последующем контроле. Вместе с тем, такие виды брака РД с НР, как микротрещины в резьбе, не обнаруживаются обычными средствами технического контроля, применяемыми в производственных условиях, а проявляются внезапными разрушениями РС, возникающими в процессе сборки, приемосдаточных испытаний либо в ходе эксплуатации ИМ. Взаимосвязь между возможными в ходе процесса резьбонакатывания отказами представлена на **Рис.3**, а в формализованном и упрощенном виде – на **Рис.4**. Граф на **Рис.4** содержит формализованные взаимосвязи возможных внезапных и параметрических отказов, возникновение которых невозможно прогнозировать и предотвратить при технологической подготовке производства и техническом обслуживании резьбонакатного оборудования. Анализ результатов производственных экспериментов, представленный на **Рис.3,4** показал, что расчетная стойкость РР, определяемая по формуле (1) [5,6], далеко не всегда может быть достигнута в реальных условиях эксплуатации [11,12,13]. Во многих случаях поступление на позицию резьбонакатывания одной либо нескольких заготовки завышенного диаметра либо избыточной твердости вызывает аварийные повреждения рабочей поверхности РР (сколы, выкрашивания, смятия), что, при отсутствии сплошного автоматического контроля, приводит к выпуску бракованных РД, вплоть до замены роликов.



Рис.2 – Наиболее характерные примеры различных видов брака наружной резьбы, вызванных взаимосвязанными отказами в процессе резьбонакатывания

Накатывание резьбы на двухроликовых станках является высокоэффективным и, вместе с тем, сложным, многопараметрическим, стохастическим технологическим процессом [1,4,6,7,8,10,11,12,13]. Надёжность технологического процесса резьбонакатывания зависит от ряда взаимосвязанных факторов, важнейшими из которых являются точность диаметра и формы заготовки, в том числе размеры её фаски, твердость и пластичность материала, правильность установки заготовки на станок и степень износа либо повреждения резьбонакатных роликов, соблюдение технологических режимов [2,3,5,6,7,9,11]. Одним из важнейших этапов технологического процесса изготовления РД с НР, определяющих их качество, а также стойкость РР, как показали производственные эксперименты, является круглошлифовальная операция, окончательно формирующая диаметр заготовки и определяющая отклонения её формы от цилиндричности (бочкообразность, конусность и др.) [6,12,14].

Ввиду большой сложности полного описания надежности технологического процесса резьбонакатывания, в литературных источниках, как правило, не рассматриваются отказы, возникающие в результате совместного влияния отклонения параметров, либо неисправности оборудования на качество готовых деталей с наружной резьбой [9].

Для построения математической модели технологический процесс резьбонакатывания будем рассматривать как дискретную систему, граф состояний которой показан на **Рис.5**.

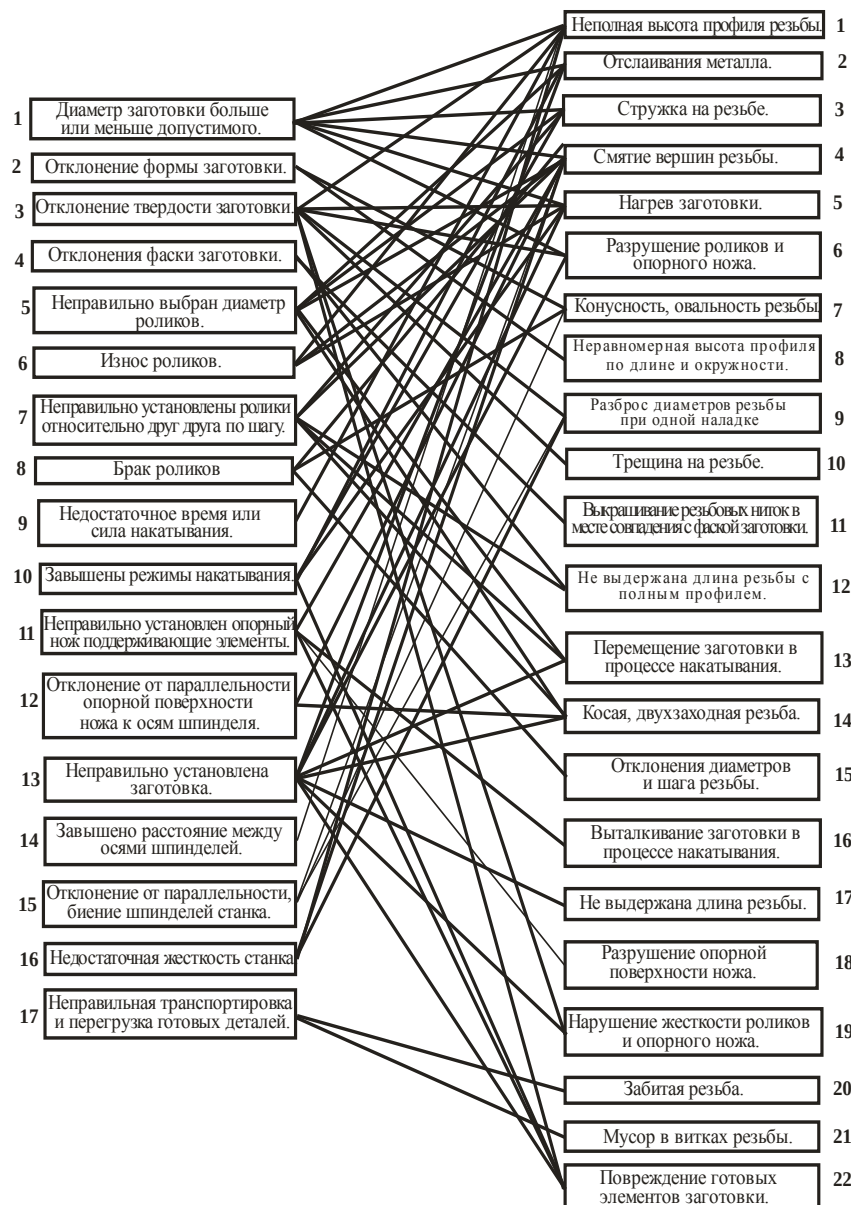


Рис.3 – Анализ результатов производственных экспериментов по выявлению причин возникновения взаимосвязанных отказов в процессе накатывания наружной резьбы на двухроликовом резьбонакатном станке с радиальной подачей

Для рассматриваемой системы введем следующие состояния: S_0 - станок исправен, параметры резьбовых деталей соответствуют всем требованиям; S_1 - диаметр заготовки больше или меньше допустимого; S_2 – недопустимые отклонения формы заготовки; S_3 - неравномерная твердость и пластичность заготовок в одной партии; S_4 - отклонения размеров и формы фаски на заготовке; S_5 – недопустимый износ роликов; S_6 - отклонения от параллельности опорной поверхности ножа и осей шпинделя; S_7 - неправильная установка заготовки; S_8 - завышенное расстояние между осями шпинделей; S_9 - отклонение от параллельности и биение шпинделей станка; S_{10} - недостаточная жесткость станка.

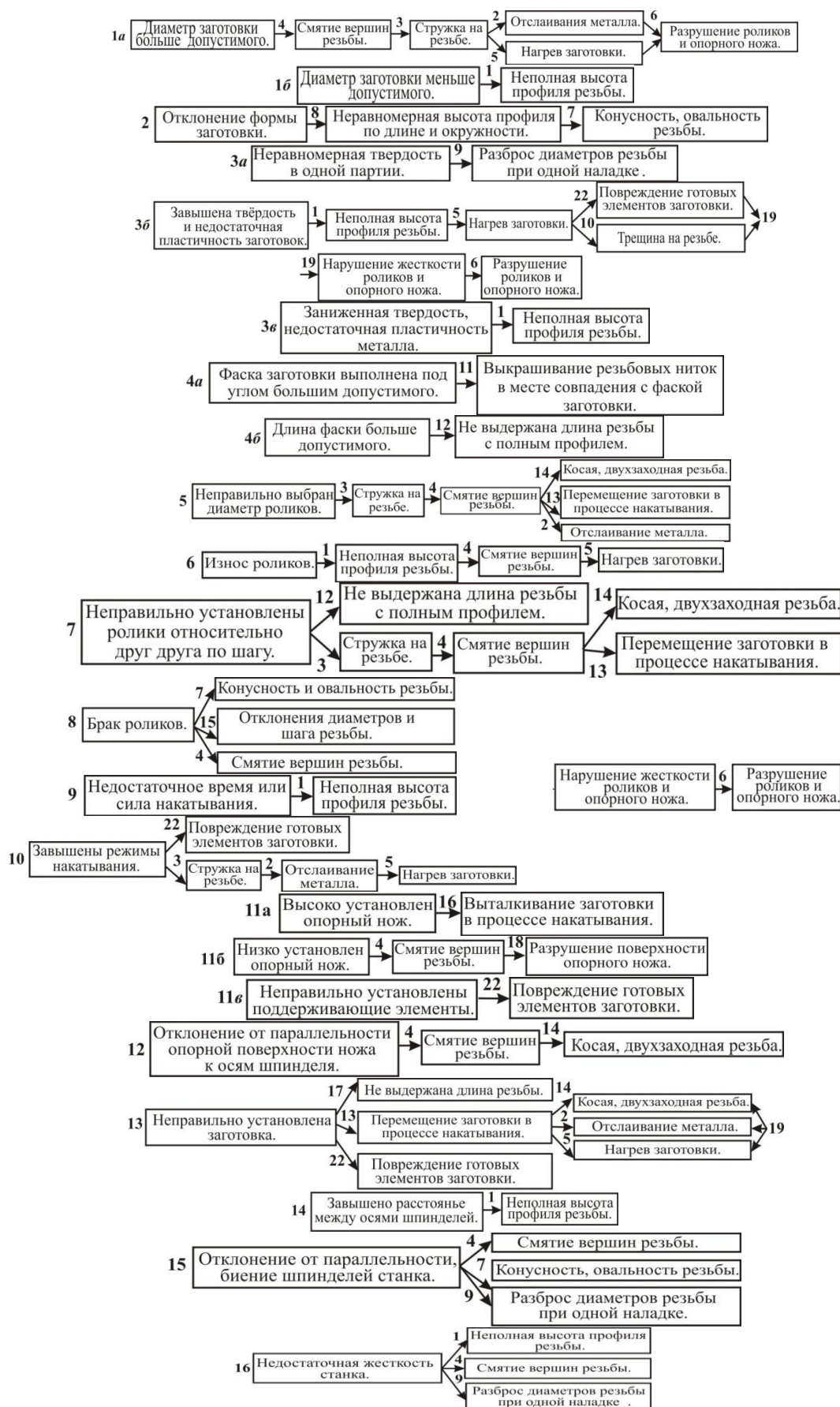


Рис.4 — Анализ взаимосвязанных отказов при накатывании резьбы

На **Рис.5**, соответственно, обозначены: λ_{01} и λ_{21} – интенсивности потоков отказов, связанных с отклонением диаметра заготовки; λ_{02} – интенсивность потока отказов, связанного с отклонением формы заготовки; λ_{03} – интенсивность потока отказов, связанного с неравномерной твердостью и пластичностью заготовок в одной партии; λ_{04} и λ_{24} – интенсивность потоков отказов, связанных с отклонением размеров и формы фаски на заготовке; λ_{75} – интенсивность потока отказов, связанного с недопустимым износом роликов; λ_{06} – интенсивность потока отказов, связанного с отклонением от параллельности опорной поверхности ножа и осей шпинделя; λ_{07} – интенсивность потока отказов, связанного с неправильной установкой заготовки; λ_{08} – интенсивность потока отказов, связанного с завышенным расстоянием между осями шпинделей; λ_{89} – интенсивность потока отказов, связанного с отклонением от параллельности и биением шпинделей станка; λ_{910} – интенсивность потока отказов, связанного с недостаточной жесткостью станка. Интенсивности потоков восстановлений системы после отказов соответственно обозначены на **Рис.5**: μ_{10} – μ_{80} , μ_{98} , μ_{109} .

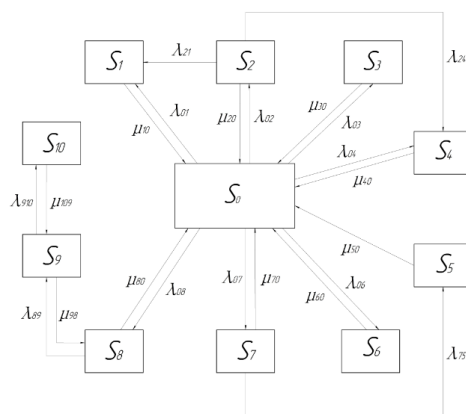


Рис.5 – Граф состояний технологической системы резбонакатывания

Граф состояний технологического процесса резбонакатывания построен на основе анализа обобщенных экспериментальных результатов, представленных на **Рис.3,4**, путем структурных упрощений, позволяющих избежать необходимости составления и решения излишне громоздкой системы уравнений. Предполагая, аналогично модели, предложенной в [9], потоки отказов и восстановлений простейшими, а время безотказной работы t_0 и время восстановления работоспособности после отказа t_v , распределенными по экспоненциальному закону, используя методику, приведенную в [10], запишем для рассматриваемого процесса систему уравнений Колмогорова:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_0 \cdot (\lambda_{01} + \lambda_{02} + \lambda_{03} + \lambda_{04} + \lambda_{06} + \lambda_{07} + \lambda_{08}) = \\ = P_1 \cdot \mu_{10} + P_2 \cdot \mu_{20} + P_3 \cdot \mu_{30} + P_4 \cdot \mu_{40} + \\ + P_5 \cdot \mu_{50} + P_6 \cdot \mu_{60} + P_7 \cdot \mu_{70} + P_8 \cdot \mu_{80}; \\ P_1 \cdot (\lambda_{21} + \lambda_{01}) = P_0 \cdot \mu_{10}; \\ P_2 \cdot (\lambda_{02} + \lambda_{24}) = P_0 \cdot \mu_{20}; \\ P_3 \cdot \lambda_{03} = P_0 \cdot \mu_{30}; \\ P_4 \cdot (\lambda_{04} + \lambda_{24}) = P_0 \cdot \mu_{40}; \\ P_5 \cdot \lambda_{75} = P_0 \cdot \mu_{50}; \\ P_6 \cdot \lambda_{06} = P_0 \cdot \mu_{60}; \\ P_7 \cdot (\lambda_{07} + \lambda_{75}) = P_0 \cdot \mu_{70}; \\ P_8 \cdot (\lambda_{08} + \lambda_{89}) = P_0 \cdot \mu_{80} + P_9 \cdot \mu_{98}; \\ P_9 \cdot (\lambda_{89} + \lambda_{910}) = P_8 \cdot \mu_{98} + P_{10} \cdot \mu_{109}; \\ P_{10} \cdot \lambda_{910} = P_9 \cdot \mu_{109}. \end{array} \right. \quad (2)$$

Для решения системы уравнений Колмогорова (2) и расчета финальных вероятностей пребывания рассматриваемой системы в состояниях $S_0 \dots S_{10}$, используем экспериментальные данные об интенсивностях потоков отказов и восстановлений, представленные в **Таблицах 1, 2**.

Таблица 1. – Экспериментальные значения интенсивностей потоков отказов, ч⁻¹

λ_{01}	λ_{02}	λ_{03}	λ_{04}	λ_{06}	λ_{07}
10^{-3}	10^{-4}	10^{-3}	5×10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}
λ_{08}	λ_{21}	λ_{24}	λ_{75}	λ_{89}	λ_{910}
10^{-4}	10^{-3}	5×10^{-3}	2×10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}

Таблица 2. – Экспериментальные значения интенсивностей потоков восстановлений после отказов, ч⁻¹

μ_{10}	μ_{20}	μ_{30}	μ_{40}	μ_{50}
2,0	1,5	1,25	2,0	0,5
μ_{60}	μ_{70}	μ_{80}	μ_{98}	μ_{109}
4,0	8,0	1,7	1,0	0,25

Для решения системы уравнений Колмогорова (2), необходимо любое из уравнений системы заменить условием нормировки:

$$P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} = 1, \quad (3)$$

где $P_0 \dots P_{10}$ – финальные вероятности пребывания системы в состояниях

$S_0...S_{10}$ – соответственно.

Решая систему уравнений (2) с учетом условия нормировки (3), возможно определить значения финальных вероятностей $P_0...P_{10}$ пребывания исследуемого технологического процесса в состояниях $S_0...S_{10}$, в зависимости от исходных данных, полученных при анализе результатов производственного эксперимента.

Решение системы уравнений производилось в программной среде Maple, пример результатов расчета для одного набора исходных данных с точностью до 10^{-4} представлен в **Таблице 3**.

Таблица 3. – Результаты вычисления финальных вероятностей пребывания технологического процесса резбонакатывания в исправном и отказовых состояниях

P_0	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
0,9411	$4,9971 \times 10^{-3}$	$9,8692 \times 10^{-4}$	$9,9941 \times 10^{-3}$	$2,4986 \times 10^{-2}$	$4,9971 \times 10^{-5}$
P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	
$2,9971 \times 10^{-3}$	$1,2493 \times 10^{-2}$	$4,9971 \times 10^{-4}$	$2,9971 \times 10^{-6}$	$3,7592 \times 10^{-5}$	

Анализ полученных результатов. Производственные эксперименты позволили установить, что отказы, проявляющиеся в процессе накатывания, могут быть как независимыми друг от друга, так и взаимосвязанными, причем роль последних в появлении бракованных РД следует обязательно учитывать. Надежность РР характеризуется их стойкостью, т.е. способностью накатать максимальное количество РД, соответствующих стандарту по параметрам точности резьбы. [6,8] Экспериментально подтверждено, что при накатывании резьбы на заготовках, имеющих форму и размеры в пределах заданных допусков, при условии стабильности значений твердости и пластичности материала, соответствующих стандарту, стойкость РР может достигать значений, близких к теоретическим, определенным по (1), а также при малых величинах интенсивностей потоков отказов λ_{02} и λ_{89} . [6,8,11,12] Полученная математическая модель может использоваться при анализе имеющихся резервов повышения качества и производительности процесса накатывания НР. Расчеты по предложенной модели позволили предложить ряд практических рекомендаций. Если по результатам эксперимента и расчетов вероятность ускоренного износа либо повреждения РР относительно высока (порядка 10^{-2}), что неизбежно вызывает появление бракованных РД, целесообразно проанализировать возможные варианты замены инструмента на ролики, имеющие большую стойкость.

Если в результате расчетов вероятность неправильной установки заготовки значительна, необходимо принять меры по обеспечению

контроля ее положения на позиции накатывания резьбы. Если подача заготовок производится вручную, целесообразно применение автоматизированной загрузочной системы. [10] В ряде случаев может быть рекомендована замена или реновация резьбонакатного оборудования, в частности, при его недостаточной жесткости, нестабильной силе либо времени накатывания. [3,8,11]

Предложенная математическая модель надёжности процесса резьбонакатывания с учетом взаимосвязанных отказов позволяет производить расчет вероятностей пребывания исследуемого технологического процесса в работоспособном и отказовых состояниях, что дает возможность оценивать и прогнозировать, в частности, долю годных РД с НР в партии продукции.

Направление дальнейших исследований связано с анализом и исследованием возможностей использования резервов повышения качества и производительности процесса получения НР накатыванием. На основе полученных результатов могут быть поставлены и решены практические задачи оптимального распределения ограниченных средств на модернизацию резьбонакатного оборудования с целью повышения качества РД с НР. [15].

Библиографический список

1. Рапацкий Ю.Л. Анализ факторов, вызывающих релаксацию и разрушение резьбовых соединений в изделиях машиностроения/ Ю.Л. Рапацкий. В.М. Липка //Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2017. – № 4-1. – С.75-81.
2. Липка В.М. Повышение качества и надежности резьбовых соединений в условиях серийного производства силовых агрегатов для легковых автомобилей / В.М. Липка, В.Я. Копп, Ю.Л. Рапацкий // Вестник СевНТУ. Сер.: Машиноприборостроение и транспорт: сб. науч. тр. – Севастополь, 2013. - Вып.139. - С. 154-160.
3. Якухин В.Г., Ставров В.А. Изготовление резьб.– Справочник: М.: Машиностроение, 1989 -192 с.
4. Липка В.М. Анализ воздействия технологической наследственности при изготовлении деталей с резьбой на надежность резьбовых соединений в судовых машинах и механизмах/ В.М. Липка, Ю.Л. Рапацкий // Ушаковские чтения: Материалы Пятой Межвузовской научно-практической конференции (Севастополь, 22-23 февраля 2018 г.). – Севастополь: ООО «ПК КИА», 2018.- с.61-69
5. Якухин В.Г. Оптимальная технология изготовления резьб.— М.: Машиностроение, 1985. — 184 с.
6. Киричек А.В., Афонин А.Н. Резьбонакатывание.: Библиотека технолога. - М.: Машиностроение, 2009.-312 с.
7. Киричек А.В., Афонин А.Н. Технология изготовления резьбы на

резьбонакатном инструменте // Известия ТулГУ. Серия Инструментальные и метрологические системы. 2005, Вып. 1. Ч. 1. - С. 189-192.

8. Якухин В.Г. Высокотехнологичные методы металлообработки.: Учебник – под ред. О.В. Таратынова. – М.: МГИУ, 2011. –362 с.

9. Липка В.М. Повышение надежности резьбовых соединений при сборке автомобильных силовых агрегатов/ В.М. Липка, Ю.Л. Рапацкий // Высокие технологии в машиностроении: сб. науч. трудов. –Харьков, НТУ «ХПИ», 2012. – Вып.1 (22). – с. 199-210.

10. Пашков Е.В. Транспортно-накопительные и загрузочные системы в сборочном производстве/ Е.В. Пашков, В.Я. Копп, А.Г. Карлов. –К.:УМК ВО,1992 –536с.

11. Афонин А.Н. Схемы деформирования при накатывании резьб / А.Н. Афонин, А.В. Киричек // Известия ОрелГТУ. Сер. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: сб. науч. тр. — Орел, 2009. — Вып. 6/278 (577). — С. 39–42.

12. Киричек А.В. Определение диаметра заготовок под накатывание резьбы с помощью систем 3D моделирования / А.В. Киричек, А.Н. Афонин // СТИН. — 2005. — №6. — С. 28–30.

13. Липка В.М. Оценка влияния параметров резьбовых крепежных изделий на качество сборки силовых агрегатов автомобилей / В.М. Липка, Ю.Л. Рапацкий // Вестник СевНТУ. сер. Машиноприборостроение и транспорт: сб. науч. тр. – Севастополь, 2010. – вып. 107. – С. 121-127.

14. Кремень З.И. Технология шлифования в машиностроении/З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин: под общ.ред. З.И. Кремня. — СПб.: Политехника, 2007 – 424 с.

15. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем: монография. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — 700 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Rapatskiy YU.L. Analiz faktorov, vyzyvayushchikh relaksatsiyu i razrusheniye rez'bovykh soyedineniy v izdeliyakh mashinostroyeniya/ YU.L. Rapatskiy. V.M. Lipka //Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii. – 2017. – № 4-1. – S.75-81.

2. Lipka V.M. Povysheniye kachestva i nadezhnosti rez'bovykh soyedineniy v usloviyakh seriynogo proizvodstva silovykh agregatov dlya legkovykh avtomobiley / V.M. Lipka, V.YA. Kopp, YU.L. Rapatskiy // Vestnik SevNTU. Ser.: Mashinopriborostroyeniye i transport: sb. nauch. tr. – Sevastopol', 2013. - Vyp.139. - S. 154-160.

3. Yakukhin V.G., Stavrov V.A. Izgotovleniye rez'b.– Spravochnik: M.: Mashinostroyeniye, 1989 -192 s.

4. Lipka V.M. Analiz vozdeystviya tekhnologicheskoy nasledstvennosti pri izgotovlenii detaley s rez'boy na nadezhnost' rez'bovykh soyedineniy v sudovykh

- mashinakh i mekhanizmaxh/ V.M. Lipka, YU.L. Rapatskiy // Ushakovskiyecheniya: Materialy Pyatoy Mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Sevastopol', 22-23 fevralya 2018 g.). – Sevastopol': ООО «PK KIA», 2018.- s.61-69
- 5.Yakukhin V.G. Optimal'naya tekhnologiya izgotovleniya rez'b.— M.: Mashinostroyeniye, 1985. — 184 s.
6. Kirichek A.V., Afonin A.N. Rez'bonakatyvaniye.: Biblioteka tekhnologa. - M.: Mashinostroyeniye, 2009.-312 s.
7. Kirichek A.V., Afonin A.N. Tekhnologiya izgotovleniya rez'by na rez'bonakatnom instrumente // Izvestiya TulGU. Seriya Instrumental'nyye i metrologicheskiye sistemy. 2005, Vyp. 1. CH. 1. - S. 189-192.
8. Yakukhin V.G. Vysokotekhnologichnyye metody metalloobrabotki.: Uchebnik – pod red. O.V. Taratynova. – M.: MGIU, 2011. –362 s.
9. Lipka V.M. Povysheniye nadezhnosti rez'bovykh soyedineniy pri sborke avtomobil'nykh silovykh agregatov/ V.M. Lipka, YU.L. Rapatskiy // Vysokiye tekhnologii v mashinostroyenii: sb. nauch. trudov. –Khar'kov, NTU «KHPI», 2012. – Vyp.1 (22). – s. 199-210.
10. Pashkov Ye.V. Transportno-nakopitel'nyye i zagruzochnyye sistemy v sborochnom proizvodstve/ Ye.V. Pashkov, V.YA. Kopp, A.G. Karlov. – K.:UMK VO,1992 –536s.
11. Afonin A.N. Skhemy deformirovaniya pri nakatyvanii rez'b / A.N. Afonin, A.V. Kirichek // Izvestiya OrelGTU. Ser. Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii: sb. nauch. tr. — Orel, 2009. — Vyp. 6/278 (577). — S. 39–42.
12. Kirichek A.V. Opredeleniye diametra zagotovok pod nakatyvaniye rez'by s pomoshch'yu sistem 3D modelirovaniya / A.V. Kirichek, A.N. Afonin // STIN. — 2005.— №6. — S. 28–30.
- 13.Lipka V.M. Otsenka vliyaniya parametrov rez'bovykh krepezhnykh izdeliy na kachestvo sborki silovykh agregatov avtomobiley / V.M. Lipka, YU.L. Rapatskiy // Vestnik SevNTU. ser. Mashinopriborostroyeniye i transport: sb. nauch. tr. – Sevastopol', 2010. – vyp. 107. – S. 121-127.
14. Kremen' Z.I. Tekhnologiya shlifovaniya v mashinostroyenii/Z.I. Kremen', V.G. Yur'yev, A.F. Baboshkin: pod obshch.red. Z.I. Kremnya. — SPb.: Politekhnik, 2007 – 424 s.
15. Kopp V.YA. Modelirovaniye avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem: monografiya. — Sevastopol': SevNTU, 2012. — 700 s.

Рапацкий Юрий Леонидович, к.т.н., доцент, директор Центра оценки качества образования, u.l.rapatskiy@mail.ru, +7(978)7679650, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

Копп Вадим Яковлевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры

*«Приборные системы и автоматизация технологических процессов»,
v_kopp@mail.ru, +7(978)7420007, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО
«Севастопольский государственный университет»*

*Заморенов Михаил Вадимович, к.т.н., доцент кафедры
«Информационные технологии и компьютерные системы», zamik@mail.ru,
+7(978)7420003, Россия, Севастополь, ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет»*

*Липка Виктория Михайловна, магистр, ст. преподаватель,
аспирант, lipka.vita@yandex.ru, +7(978)7673271, Россия, Севастополь,
Филиал «ГМУ им. Адм. Ф.Ф. Ушакова» в г. Севастополь*

INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF THE OUTSTANDING PROCESS

Yu. L. Rapatskiy, V. Ya. Kopp, M. V. Zamorenov, V. M. Lipka

The automated technological process of obtaining external fastening threads of the most common diameters by thread rolling on double-roller thread rolling machines with radial feed is considered. A mathematical model of reliability of the thread-rolling process is proposed, which takes into account the effect of interrelated failures on the probability of manufacturing defective parts with thread.

Key words: rolling of external threads, interconnected failures, reliability of thread-rolling process.

Rapatskiy Yuri Leonidovich, candidate of technical sciences, associate professor, Director of the Center for Educational Quality Assessment, u.l.rapatskiy@mail.ru, +7(978)7679650, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Kopp Vadim Yakovlevich, doctor of technical sciences, professor, professor of department "Instrumental systems and automation of technological processes", v_kopp@mail.ru, +7(978) 7420007, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Zamorenov Mikhail Vadimovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Information Technologies and Computer Systems", zamik@mail.ru, +7(978) 7420003, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

Lipka Viktoria Mikhailovna, Master of Engineering Technology, Senior lecturer, post-graduate student, lipka.vita@yandex.ru, +7 (978) 7673271, Russia, Sevastopol, Branch "SMU n.a. Adm. F.F. Ushakov "in the city of Sevastopol

МЕХАНИЧЕСКИЕ ДИСКОВЫЕ БУНКЕРНЫЕ ЗАГРУЗОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СТЕРЖНЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ С НЕЯВНО ВЫРАЖЕННЫМИ КЛЮЧАМИ ОРИЕНТАЦИИ

Пантюхина Е.В.¹, Прейс В.В.², Хачатурян А.В.³

Аннотация. Рассмотрены усовершенствованные конструкции, особенности функционирования и проектирования механических дисковых бункерных загрузочных устройств с радиальными гнездами и кольцевым ориентатором, с зубьями и кольцевым ориентатором, с тангенциальными гнездами и гребенкой, предназначенных для автоматической загрузки стержневых деталей формы тел вращения с неявной выраженными ключами ориентации в сборочные линии.

Ключевые слова. Автоматическая загрузка, бункерное загрузочное устройство, ключи ориентации.

Одной из наиболее сложных задач создания автоматизированных сборочных линий в машино- и приборостроении является автоматическая загрузка собираемых деталей.

Основным элементом системы автоматической загрузки (САЗ) является бункерное загрузочное устройство (БЗУ), которое обеспечивает автоматическое извлечение (захват) из «навала» единичной детали, приведение её в ориентированное положение и выдачу ориентированной детали в приемник САЗ. При автоматизированной сборке многоэлементных изделий, требующей загрузки собираемых деталей несколькими параллельно работающими БЗУ, правильный выбор их рациональной конструкции во многом определяет надежность и производительность всей сборочной линии.

Стержневые детали формы тел вращения с явно выраженными ключами ориентации (смещение центра масс, асимметрия внешней или внутренней формы) надежно загружаются известными и широко распространенными конструкциями механических дисковых БЗУ: с радиальными и тангенциальными профильными карманами, зубчатых. Однако, при загрузке деталей с неявно выраженными ключами ориентации (**Рис.1**) производительность и надежность работы указанных БЗУ резко снижаются.

С целью обеспечения высокой производительности и надежности механических дисковых БЗУ при автоматической загрузке деталей формы тел вращения с неявно выраженными ключами ориентации авторами были

предложены усовершенствованные конструкции ранее известных механических дисковых БЗУ.

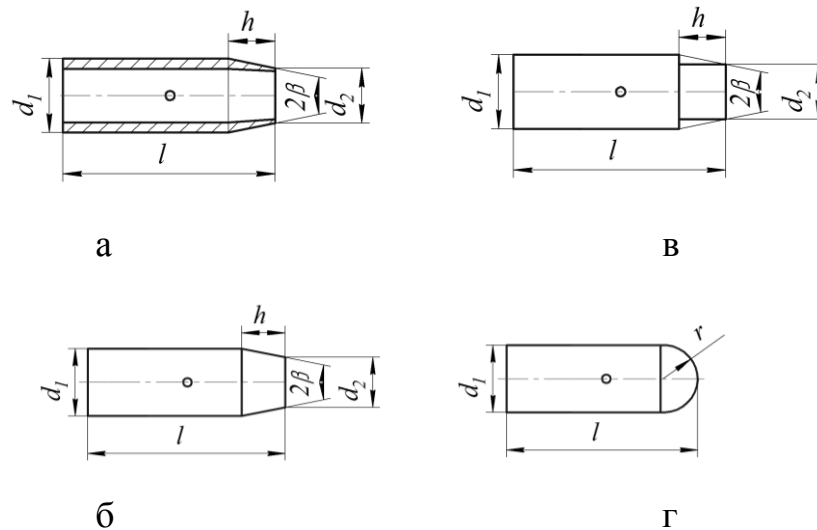


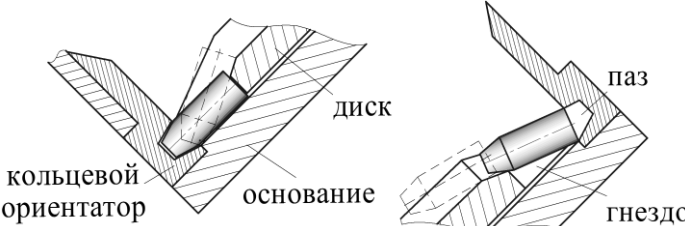
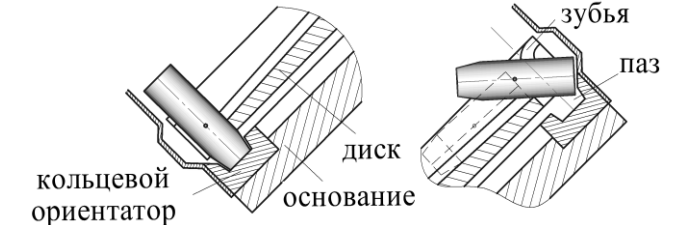
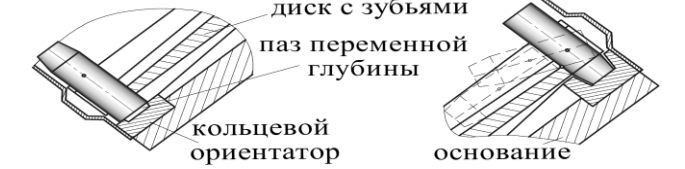
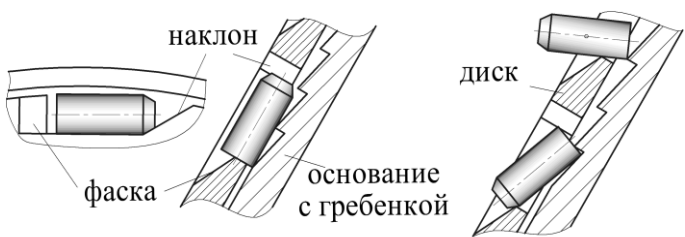
Рис.1 – Основные типы деталей с неявно выраженными ключами ориентации: а – тип I (с коническим торцом, полая); б – тип II (с коническим торцом, сплошная); в – тип III (ступенчатая); г – тип IV (со сферическим торцом)

Основная идея усовершенствования конструкций БЗУ заключалась в применении группового ориентирующего элемента – селектора, обеспечившего повышение надежности удаления из захватывающих органов (гнезд, карманов) неправильно запавших деталей [1].

В **Таблице 1** представлены схемы захвата и ориентирования деталей формы тел вращения с неявно выраженными ключами ориентации в усовершенствованных конструкциях механических дисковых БЗУ и области их применения по типам загружаемых деталей.

Усовершенствованное БЗУ с радиальными профильными гнездами и групповым кольцевым ориентатором (патент № 64977 РФ), в котором функции захвата и ориентирования разделены, предназначено для захвата деталей типов I, II, III (**Рис.1**) без смещения центра масс и с основными геометрическими параметрами: $3 \leq l/d_1 \leq 5$; $0,6 \leq d_2/d_1 \leq 0,9$; $2\beta \leq 30^\circ$. Принцип работы БЗУ (п. 1.1, **Таблица 1**) заключается в том, что при вращении диска детали, засыпанные в бункер, западают в радиальные пазы и движутся в сторону профильных гнезд. Если деталь движется в сторону гнезда асимметричным торцом вперед, то она, скользя по фаске, западает в него полностью, так как поперечное сечение паза кольцевого ориентатора соответствует профилю асимметричного торца детали. В противном случае деталь западает в гнездо не полностью и при дальнейшем вращении диска в верхней части бункера под действием силы тяжести и сбрасывателя выпадает обратно в бункер.

Таблица 1. – Схема захвата и ориентирования деталей с неявно выраженной асимметрией формы в усовершенствованных БЗУ

Тип БЗУ	Схема захвата и ориентирования деталей в усовершенствованных БЗУ		Тип деталей (Рис.1)
1. С радиальными гнездами и кольцевым ориентатором	1.1. С профильными гнездами		Тип I, II, III $2\beta \leq 30^\circ$; $3 \leq \frac{l}{d_1} \leq 5$; $0,6 \leq \frac{d_2}{d_1} \leq 0,9$
	1.2. С открытыми прямоугольными гнездами		
2. С зубьями и кольцевым ориентатором	2.1. С постоянной глубиной паза		Тип I, II, III, IV $2\beta \leq 30^\circ$; $2 \leq \frac{l}{d_1} \leq 3$; $0,6 \leq \frac{d_2}{d_1} \leq 0,9$; $r \geq 0,5d_1$
	2.2. С постоянной глубиной		
	2.3. С переменной глубиной		
3. С тангенциальными гнездами	3.1. С гребенкой		Тип I, II $2\beta \leq 30^\circ$; $1,5 \leq \frac{l}{d_1} \leq 3$; $0,25 \leq \frac{h}{l} \leq 0,3$

С целью повышения надежности работы данного БЗУ при подаче деталей с высоким коэффициентом трения, при котором возможно их заклинивание в гнездах диска и в пазу кольцевого ориентатора, была предложена его модернизация (патент № 164711 РФ). В модернизированной конструкции БЗУ (п. 1.2, **Таблица 1**) радиальные гнезда во вращающемся диске выполнены прямоугольными и открытыми в сторону кольцевого

ориентатора. Такое выполнение гнезд значительно упрощает конструкцию вращающегося диска БЗУ и снижает трудоемкость его изготовления, а также упрощает установку кольцевого ориентатора.

Для загрузки стержневых деталей типов I, II, III, IV (**Рис.1**) с геометрическими параметрами: $2 \leq l/d_1 \leq 3$; $0,6 \leq d_2/d_1 \leq 0,9$; $2\beta \leq 30^\circ$; $r \geq 0,5d_1$, была предложена усовершенствованная конструкция дискового зубчатого БЗУ с групповым кольцевым ориентатором (патент № 100942 РФ). Принцип работы БЗУ (п. 2.1, **Таблица 1**) заключается в том, что если деталь движется к гнезду асимметричным торцом вперед, то она погружается в него полностью, так как поперечное сечение паза кольцевого ориентатора соответствует профилю ее асимметричного торца. В противном случае деталь опирается на верхний край паза кольцевого ориентатора, ширина верхней части которого не превышает диаметр d_1 , и поэтому западает в гнездо не полностью. При дальнейшем вращении диска деталь в верхней части бункера под действием силы тяжести выпадает обратно в бункер.

С целью повышения надежности дискового зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором при загрузке деталей с высоким коэффициентом трения и соотношением размеров $l/d_1 \approx 2$ была предложена его модернизация (патент № 106577 РФ). В модернизированной конструкции (п. 2.2, **Таблица 1**) в верхней части бункера установлен копир, который имеет форму сегмента окружности с торцевым криволинейным профилем. Угол его подъема совпадает с направлением вращения диска с гнездами и зубьями. Копир «подхватывает» детали, запавшие в гнездо цилиндрическим торцом, и способствует их надежному удалению из гнезда.

В процессе испытаний опытных образцов усовершенствованной и модернизированной конструкций дисковых зубчатых БЗУ был выявлен их общий недостаток, а именно, повышенный износ кольцевого ориентатора, обусловленный трением асимметричных торцов деталей о внутреннюю поверхность паза практически по всей окружности кольцевого ориентатора и, как следствие, снижение надежности работы БЗУ.

С целью устранения указанного недостатка было предложено в конструкциях дисковых зубчатых БЗУ (п. 2.3, **Таблица 1**) плавно изменять сечение паза кольцевого ориентатора по направлению вращения диска (патент № 159403 РФ). При этом в нижней части бункера глубина паза минимальна и не превышает одной четверти высоты асимметричного торца детали, а в верхней части бункера не превышает его высоты торца детали.

Для загрузки деталей типов I, II (**Рис.1**) с геометрическими параметрами: $1,5 \leq l/d_1 \leq 3$; $0,25 \leq h/l \leq 0,3$; $2\beta \leq 30^\circ$, была предложена усовершенствованная конструкция дискового БЗУ с тангенциальными гнездами (патент № 158620 РФ). В усовершенствованной конструкции

(п. 3.1, **Таблица 1**) под вращающимся диском в верхней части бункера установлена гребёнка с чередующимися выступами. При вращении диска детали западают в гнезда в двух положениях. Правильно ориентированная деталь западает в гнездо так, что ее асимметричный торец опирается на соответствующий профилю ее торца наклон и в верхней части бункера, проходя через гребенку, не западают в ее впадины и остаются в гнезде. Не правильно ориентированные детали, проходя через гребёнку, цилиндрическим торцом западают во впадины и при движении диска асимметричным торцом скользят по фаске и под действием силы тяжести сбрасываются обратно в бункер.

Методика проектирования усовершенствованных конструкций механических дисковых БЗУ, разработанная авторами, базируется на классических работах известных советских ученых: Медвидя М.В. [2] и Прейса В.Ф. [3].

Сравнительный анализ двух исторически сложившихся подходов к математическому описанию фактической производительности $\Pi_{\text{БЗУ}}$ механического БЗУ, изложенных в вышеупомянутых работах, привел авторов к идее соединить их положительные качества в одном комплексном подходе, на основе которого математические модели фактической производительности рассмотренных выше конструкций механических дисковых БЗУ искали в виде [4,5]

$$\Pi_{\text{БЗУ}} = 60 \frac{v}{t} \eta, \quad (1)$$

$$\eta = \left\{ 1 - \left[1 - (p_{ip})_{\max} \right]^m \left[1 - (p_{ip})_{\min} \right]^k \right\} \cdot p_c \cdot \left[1 - \left(\frac{v}{v_{\max}} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где v – окружная скорость движения захватывающих органов; t – шаг захватывающих органов; η – коэффициент выдачи БЗУ; $(p_{ip})_{\max}$, $(p_{ip})_{\min}$ – максимальное и минимальное значения вероятности нахождения загружаемой детали на пути захватывающего органа в положении, благоприятном для захвата; m – число деталей, которое может разместиться на свободном от них участке в нижней части бункера БЗУ; k – число деталей, которое может разместиться в зоне захвата в нижней части бункера БЗУ; D – диаметр диска с захватывающими органами; ϕ_3 – угол, определяющий зону захвата деталей; p_c – вероятность того, что захвату не мешает взаимосцепляемость деталей; $v_{\max}$ – предельная скорость движения захватывающих органов, при которой захват деталей становится невозможным.

Были разработаны математические модели фактической производительности для всех усовершенствованных конструкций механических дисковых БЗУ, рассмотренных выше (**Таблица 1**) [6-8].

В частности, для механического зубчатого дискового БЗУ с групповым кольцевым ориентатором (п. 2.1, **Таблица 1**) при загрузке деталей со сферическим торцом (**Рис.1,г**) получили следующие математические выражения [9]:

$$(p_{ip})_{\max} = \frac{1}{\pi} p_k \left[\arctg \left(\frac{d_1}{2(l - x_{ц.м.} - 0,5d_1)} \right) - \arcsin \frac{\mu}{\operatorname{tg} \alpha_{бун}} \right], \quad (3)$$

$$(p_{ip})_{\min} = \frac{1}{\pi} p_k \left(\arcsin \frac{B}{\sqrt{l_1^2 + d_1^2}} - \arctg \frac{d_1}{l_1} \right), \quad (4)$$

$$p_k = \frac{1}{2} + \frac{x_{ц.м.}}{\sqrt{4x_{ц.м.}^2 + d_1^2}}, \quad (5)$$

$$p_c = 1 - \frac{\arctg \mu}{\pi} \cdot \frac{0,9 + 1,4 \frac{l}{d_1}}{1 + 2 \frac{l}{d_1}}. \quad (6)$$

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{B}{d_1} - \frac{1}{4}} \sqrt{gd_1}. \quad (7)$$

где d_1 – диаметр цилиндрической части загружаемой детали (**Рис.1**); l – общая длина детали; $x_{ц.м.}$ – расстояние координаты центра масс детали от её цилиндрического основания; l_1 – длина цилиндрического торца детали; μ – коэффициент трения деталей об элементы конструкции БЗУ; $\alpha_{бун}$ – угол наклона бункера к горизонту; B – ширина сквозного паза.

На **Рис.2** в виде графиков представлены результаты компьютерного моделирования зависимостей фактической производительности (1) и коэффициента выдачи (2) зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором от окружной скорости вращающегося диска с гнездами при различных значениях коэффициента трения для деталей со сферическим торцом. Моделирование проводилось в стандартной программной среде *MathCad* с использованием полученных математических выражений (3) – (7). Параметры детали: $l/d_1 = 3$; $d_1 = 0,01$ м; $x_{ц.м.} = l/2$; длина $l_1 = l - 0,5d_1$; коэффициент трения скольжения $\mu = 0,3; 0,4; 0,5$. Параметры БЗУ: диаметр диска $D = 0,370$ м; число гнёзд $k = 58$; зазор по шагу $\Delta t = 0,125d_1$; угол наклона бункера БЗУ $\alpha_{бун} = 45^\circ$.

Анализ графиков показывает, что для деталей со сферическим торцом производительность зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором при уменьшении коэффициента трения на 0,1 снижается в среднем на 10 %.

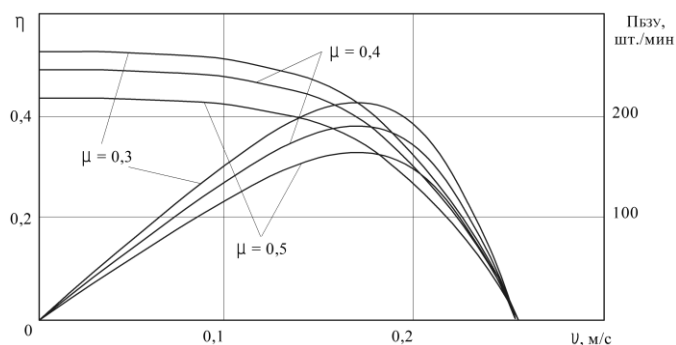


Рис.2. – Графики зависимостей коэффициента выдачи и фактической производительности зубчатого БЗУ с кольцевым ориентатором от окружной скорости вращающегося диска с гнездами для деталей со сферическим торцом при различных коэффициентах трения

Сравнение результатов компьютерного моделирования зависимостей фактической производительности и коэффициента выдачи механического дискового БЗУ с результатами экспериментальных исследований показали их хорошую сходимость [10].

Результаты теоретических и экспериментальных исследований усовершенствованных конструкций механических дисковых БЗУ были положены в основу учебных пособий, рекомендованных УМО вузов по университетскому политехническому образованию для подготовки специалистов в профильных вузах [11,12].

Разработанные авторами математические модели фактической производительности являются теоретической основой создания в дальнейшем системы автоматизированного проектирования механических дисковых БЗУ для разнообразных осесимметричных деталей формы тел вращения, имеющих неявно выраженную асимметрию по торцам.

Библиографический список

1. Давыдова Е.В. Бункерное загрузочное устройство для деталей с неявно выраженной асимметрией торцов / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2007. – № 9. – С. 28-33.
2. Медвидь М.В. Автоматические ориентирующие загрузочные устройства / М.В. Медвидь. – М.: Машгиз, 1963. – 299 с.
3. Автоматизация загрузки прессов штучными заготовками / В.Ф. Прейс, И.С. Бляхеров, В.В. Прейс, Н.А. Усенко; Под ред. В.Ф. Прейса. – М.: Машиностроение, 1975. – 280 с.
4. Давыдова Е.В. Аналитическая модель производительности бункерного загрузочного устройства с радиальными гнездами и кольцевым

- ориентатором / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении и приборостроении. – 2009. – № 11. – С. 23-30.
5. Давыдова Е.В. Автоматическая загрузка стреловых предметов обработки с неявно выраженной асимметрией по торцам / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс. Под ред. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – 112 с.
 6. Давыдова Е.В. Теоретические основы проектирования дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2013. – № 7. – С. 8-14.
 7. Бурцев Д.В. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с радиальными профильными гнездами / Д.В. Бурцев, Е.В. Давыдова, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 9. – С. 33-36.
 8. Давыдова Е.В. Математическая модель производительности дискового бункерного загрузочного устройства с тангенциальными профильными гнездами / Е.В. Давыдова, В.В. Прейс, К.Н. Провоторова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 10. – С. 7-10.
 9. Давыдова Е.В. Математическая модель производительности механического дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с параметрическими отказами / Е.В. Давыдова, А.В. Дружинина, В.В. Прейс // Сборка в машиностроении, приборостроении. – № 10. – 2015. – С. 11-15.
 10. Дружинина А.В. Регрессионные модели коэффициента выдачи дискового зубчатого бункерного загрузочного устройства с кольцевым ориентатором / А.В. Дружинина, В.В. Прейс // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2014. – Вып. 6. – С. 82-87.
 11. Прейс В.В. Автоматические загрузочно-ориентирующие устройства. Ч. 1. Механические бункерные загрузочные устройства: учебное пособие для вузов / В.В. Прейс, Н.А. Усенко, Е.В. Давыдова: под ред. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2006. – 125 с.
 12. Системы автоматической загрузки штучных предметов обработки в технологические машины-автоматы: учебное пособие / Н.А. Усенко, В.В. Прейс, Е.В. Давыдова, Е.С. Бочарова; под ред. проф. В.В. Прейса. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2013. – 310 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Davydova E.V. Bunkernoe zagruzochnoe ustrojstvo dlya detalej s neyavno vyrazhennoj asimmetriej torcov / E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sbornik v mashinostroenii i priborostroenii. – 2007. – № 9. – С. 28-33.
2. Medvid' M.V. Avtomaticheskie orientiruyushchie zagruzochnye ustrojstva / M.V. Medvid'. – М.: Mashgiz, 1963. – 299 с.

3. Avtomatizaciya zagruzki pressov shtuchnymi zagotovkami / V.F. Prejs, I.S. Blyaherov, V.V. Prejs, N.A. Usenko; Pod red. V.F. Prejsa. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 280 s.
4. Davydova E.V. Analiticheskaya model' proizvoditel'nosti bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s radial'nymi gnezdami i kol'cevim orientatorom / E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii i priborostroenii. – 2009. – № 11. – S. 23-30.
5. Davydova E.V. Avtomaticheskaya zagruzka strezhnevyyh predmetov obrabotki s neyavno vyrazhennoj asimmetriey po torcam / E.V. Davydova, V.V. Prejs. Pod red. V.V. Prejsa. – Tula: Izd-vo TulGU, 2009. – 112 s.
6. Davydova E.V. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya diskovogo zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s kol'cevim orientatorom / E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2013. – № 7. – S. 8-14.
7. Burcev D.V. Matematicheskaya model' proizvoditel'nosti diskovogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s radial'nymi profil'nymi gnezdami / D.V. Burcev, E.V. Davydova, V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2014. – № 9. – S. 33-36.
8. Davydova E.V. Matematicheskaya model' proizvoditel'nosti diskovogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s tangencial'nymi profil'nymi gnezdami/ E.V. Davydova, V.V. Prejs, K.N. Provotorova // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – 2014. – № 10. – S. 7-10.
9. Davydova E.V. Matematicheskaya model' proizvoditel'nosti mekhanicheskogo diskovogo zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s parametricheskimi otkazami / E.V. Davydova, A.V. Druzhinina, V.V. Prejs // Sborka v mashinostroenii, priborostroenii. – № 10. – 2015. – S. 11-15.
10. Druzhinina A.V. Regressionnye modeli koehfficienta vydachi diskovogo zubchatogo bunkernogo zagruzochnogo ustrojstva s kol'cevim orientatorom / A.V. Druzhinina, V.V. Prejs // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2014. – Vyp. 6. – S. 82-87.
11. Prejs V.V. Avtomaticheskie zagruzochno-orientiruyushchie ustrojstva. CH. 1. Mekhanicheskie bunkernye zagruzochnye ustrojstva: uchebnoe posobie dlya vuzov / V.V. Prejs, N.A. Usenko, E.V. Davydova; pod red. V.V. Prejsa. – Tula: Izd-vo TulGU, 2006. – 125 s.
12. Sistemy avtomaticheskoy zagruzki shtuchnyh predmetov obrabotki v tekhnologicheskie mashiny-avtomaty: uchebnoe posobie / N.A. Usenko, V.V. Prejs, E.V. Davydova, E.S. Bocharova; pod red. prof. V.V. Prejsa. – Tula: Izd-vo TulGU, 2013. – 310 s.

Пантюхина Елена Викторовна, канд. техн. наук, доц., elen-davidova@mail.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Прейс Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, rabota-preys@yandex.ru, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

Хачатурян Алена Вадимовна, аспирант, Россия, Тула, Тульский государственный университет,

**MECHANICAL DISC HOPPER OF THE LOADING DEVICE FOR A
ROD PARTS WITH AN IMPLICIT EXPRESSION OF KEY ORIENTATION**

E.V. Pantyukhina, V.V. Preis, A.V. Khachaturian

Considers advanced designs, methods of operation and design of mechanical bunker disk boot device with radial slots and an annular, with the annular teeth and an, the tangential slots, and comb, designed for automatic feeding rod parts of the form of bodies of revolution with implicit keys pronounced orientation in the Assembly line.

Key words: automatic feeding, hopper feeding device, orientation keys.

Pantyukhina Elena Viktorovna, candidate of technical science, docent, elen-davidova@mail.ru, Russia, Tula, Tula state university,

Preis Vladimir Viktorovich, doctor of technical science, professor, manager of department, rabota-preys@yandex.ru, Russia, Tula, Tula state university,

Khachaturian Alena Vadimovna, post-graduate student, Russia, Tula, Tula state University

ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ И АЛГОРИТМА СИСТЕМНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИННОВАЦИЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Карлов А.Г.¹

Аннотация. *Представлена информация о путях и средствах решения актуальных задач, обеспечивающим стабильный рост производительности, как в мировой экономике, так и в РФ. Для этого необходимо делать ставку на «прорывные» технологии и «радикальные» инновации, которые в современных условиях позволяют достичь нового качества производственно-технологических процессов, а также перейти к выпуску продуктов, «закрывающих» старые и «открывающих» новые сектора и отрасли. Одной из наиболее важных проблем при этом становится дефицит кадров высшей квалификации, способных самостоятельно генерировать эти «радикальные» инновации. Для ускорения времени подготовки таких кадров предлагается алгоритм системной подготовки магистров инновационного проектирования.*

Ключевые слова. *Новая промышленная революция, венчурная компания, робототехника, передовые производственные технологии, автоматизированное конструирование и проектирование, сквозная система знаний, новая технология мышления, метаязык, технология инновационного проектирования, прорывные исследования, Продвинутый Мастер Проектирования Инноваций (Advanced Master in Innovative Design), Общая теория сильного мышления (OTCM).*

Эксперты отмечают, что ведущие страны мира вступают в крупнейший за всю историю человечества технологический переход, когда низкая оценка труда и богатство природных ресурсов перестают быть основными факторами роста. Все эти изменения называют «новой промышленной революцией». Иначе ее называют «технологическая революция». В ее основе лежит переход от массового производства стандартизированной продукции к гибкому высокопроизводительному производству. Особенностью такого производства является индивидуализированная (кастомизированная) продукция.

Базовыми, «сквозными» технологическими процессами для всех подобных видов производств становятся автоматизация и роботизация, а также интеллектуализация производственных процессов. Именно эти технологии должны обеспечить принципиально иное качество роста.

Специалисты подчеркивают, что в этот период развития экономики мира перед Россией стоит сложная задача: требуется обеспечить устойчивый рост уровня производительности труда и практически одновременно выйти на максимальные темпы ее роста для полной

реализации потенциала национальной экономики. Одним из основных резервов для повышения производительности остается технологическая модернизация производств. Это подразумевает, в том числе, введение в эксплуатацию новой техники, усовершенствование действующего оборудования, внедрение комплексной автоматизации [1].

Возможности дальнейшего роста производительности в нынешних условиях экономического и технологического уклада очень близки к насыщению, к своему максимуму, как в традиционном производстве, так и в непроизводственных секторах. Для сохранения конкурентоспособности и достижения высоких темпов производительности в настоящее время необходимо, прежде всего, реализовать научно-технологическую и инновационную политику, которая проводится индустриально развитыми странами и рядом новых индустриальных держав. Цель таких комплексных мер – стимулирование разработки и внедрения передовых технологий, производительность которых существенно превышает характеристики традиционных.

Взрывное развитие и распространение новых технологий, их проникновение во все сферы человеческой деятельности уже приводят к динамичным и глубоким изменениям глобальных рынков, структуры и характера современного промышленного производства, экономики и социальной сферы.

По прогнозам, пик новой промышленной революции (масштабирование «прорывных» технологий и смена архитектуры рынков) придется на 2020–2030-е годы. Многочисленные исследования показывают, что передовые технологии будут очень быстро разворачиваться и оказывать системное повсеместное влияние [1].

По этой причине, одной из основных целей для России на период до 2035 года может стать продуктивное включение в новую технологическую революцию, осуществление необходимого для этого структурного маневра в экономике и социальной системе. 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].

Упомянутый в докладе [1] комплекс мероприятий, сведенный в проект (программу) национального уровня «Российская технологическая революция», должен обеспечить в долгосрочной перспективе экономический рост в стране на уровне не ниже 4% ВВП в год.

Очевидно, что переход нашей страны к новой модели социально-экономического развития, основанной на передовых производственных технологиях и экспоненциальном росте степени их использования, потребует столь же динамичных изменений в подготовке кадров высшей квалификации, способных генерировать радикальные инновационные

проекты, дающие возможность реализовывать эти самые прорывные технологии.

Пока, к сожалению, ситуация с результативностью инновационного проектирования нашими специалистами далека от реальной потребности экономики нашей страны в условиях перехода к уже происходящей во многих странах четвертой промышленной революции.

Обратимся к фактам. Одна из проблем России: низкий уровень активности промышленных компаний в осуществлении инновационной деятельности. Так например, показатель затрат на НИОКР промышленных предприятий находится на очень низком уровне – в 2015 году, по данным ОЭСР, он составлял всего 0,3% ВВП. Для сравнения, аналогичный показатель в Китае был равен 1,54% ВВП, в США – 1,79% ВВП, в Японии – 2,72%. В абсолютном измерении затраты на НИОКР промышленных предприятий в Китае и США почти в 30 раз превышают объем затрат в российской промышленности [1].

Так, по данным «Российской венчурной компании», большинство (более 58%) российских компаний, осуществляющих технологические инновации, все еще предпочитают покупать готовые технологии и технологическое оборудование, и только 15% этих компаний заказывает или разрабатывает самостоятельно используемые ими технологические решения. Россия отстает как по количеству инновационных промышленных предприятий, которое составляет 11% (у стран-лидеров – 60%), так и по занятости населения в высокотехнологичных и наукоемких отраслях (4% и 6% соответственно) [1].

Сложность ситуации усугубляется тем, что доля инновационных товаров в общем объеме экспорта организаций промышленного производства в России по итогам 2016 года составила 8,7%. А вот, например, в странах-лидерах инноваций (США, Германия, Южная Корея, Китай) продукты высокой сложности занимают 50% и более в общем объеме экспорта страны.

Удручает и разрыв между Россией и странами-лидерами новой технологической революции в части зарегистрированных патентов в таких сферах, как робототехника, новые материалы, аддитивные технологии и других. Отставание в количестве патентов в разы, что сказывается на развитии соответствующих новых рынков. Так, доля России на мировом рынке аддитивных технологий, по данным ВИАМ, в 2016 году составила около 1,7%. При этом в целом на исследования и разработки в России ежегодно расходуется порядка 1,10% ВВП (2015 год). Эта цифра достаточно сильно отличается от показателей стран-лидеров технологической революции (3–4% ВВП) [1]. И, как следствие, один из важнейших показателей новой технологической революции – количество выданных патентов (страна происхождения заявителя) таков: в 2015 году в Китае

выдано патентов 279 501, в США – 257 108, в Южной Корее – 109 107, в Германии – 86849, а в России только 24 998 [1].

В мире есть немало примеров преодоления кризисных ситуаций и достаточно динамичного продвижения процессов, способствующих быстрого роста эффективности прорывных технологий. Так, например, можно привести опыт концерна General Electric. Они создали концепт brilliant factory. Это единая интеллектуальная система конструирования, проектирования, изготовления, поставки, распределения и сервисной поддержки продукта. Виртуальное проектирование и производство, реализованные в рамках данного концепта, обеспечивают снижение производственных затрат на 10–50%, сокращение времени производственных процессов — на 20–70% и рост прибыли — на 10–50%. «Умный завод» (автоматизация производства, цифровое прототипирование, информатизация, управление, основанное на предсказательных моделях). Это обеспечивает четырехкратное сокращение времени технологических процессов, рост выводов новых продуктов на рынок на 50–70%, рост прибыли — в два раза. Оптимизация цепочки поставок в рамках цифрового производства (анализ данных в режиме реального времени, наблюдаемость и предсказуемость технологических процессов, подключенность к индустриальному Интернету всех производственных объектов) обеспечивают пятикратный рост предсказуемости производственных процессов, 40%-е снижение временных затрат на них, сокращение единиц используемого оборудования на 7–15% [1].

Индустриально развитые страны (США, Германия, Великобритания, Япония, Китай, Южная Корея и др.) приняли решение о развертывании новой технологической революции в виде государственной политики. Кроме того, эти государства хотят сосредоточить у себя ключевые универсальные (цифровые) платформы, агрегирующие так называемые «стратегические данные» и алгоритмы их обработки. Так в Японии запущен уже 5-й пятилетний план развития науки, технологий и инноваций (2016–2020) [1].

Китай с 2015 года реализует программы «Сделано в Китае–2025» и «Интернет+». Кроме того, в июле 2017 года в КНР был утвержден «Национальный план стимулирования технологических разработок в сфере искусственного интеллекта» [2].

Подобные программы имеются в Германии (с 2012 года «Индустрия 4.0» (Industrie 4.0) [3]. Это один из десяти «проектов будущего» в рамках «Плана действий по реализации обновленной федеральной Стратегии в области высоких технологий.

Во Франции с 2013 года запущена программа «Новая промышленная Франция» [4]. В рамках этой программы реализуются проекты по 10 перспективным технологическим направлениям развития индустрий и технологий будущего.

В США приняты «Стратегия инновационного развития» [5] и «Национальный стратегический план развития передовых промышленных технологий США» [6].

Учитывая мировой опыт, глубоко осмыслив глобальные вызовы, у нас в стране также принята важнейшая комплексная программа. Очевидно, что происходящие в мире изменения окажут глубокое влияние на развитие нашей страны. Вызов участия в новой технологической революции является одним из главных социально-экономических и исторических вызовов для России в первой половине XXI века. Российской экономике необходимо обеспечить рост производительности труда в таких масштабах, которые позволят в кратчайшие сроки ликвидировать отставание по данному показателю от стран-лидеров и не уступать им в будущем [1].

У нашей страны имеется целый ряд предпосылок для продуктивного включения в новую технологическую революцию. Одна из них — накопленный опыт осуществления инновационной и научно-технологической политики. Яркий пример этому — достижения мирового уровня в развитии оборонно-промышленной отрасли. В Послании Президента Федеральному Собранию 1 марта 2018 года отмечено, что Россия сегодня — одна из ведущих держав с мощным внешнеэкономическим и оборонным потенциалом.

Мы все с гордостью восприняли информацию нашего Президента о том, что в России разработаны и постоянно совершенствуются весьма скромные по цене, но в высшей степени эффективные системы преодоления ПРО, которыми оборудуются все наши межконтинентальные баллистические ракетные комплексы [8].

"В мире активно проектируются и создаются беспилотные системы вооружений. Могу сказать, что в России разработаны беспилотные подводные аппараты, способные двигаться на большой глубине. Я бы сказал, на очень большой глубине и на межконтинентальной дальности со скоростью кратно превышающей скорость подводных лодок, самых современных торпед и всех видов даже самых скоростных надводных кораблей", - сказал президент [8].

Президент РФ пояснил, что уже достигнуты существенные результаты в создании лазерного оружия. "И это уже не просто теория или проекты, и даже не просто начало производства. С прошлого года в войска уже поступают боевые лазерные комплексы", - сказал Владимир Путин.

И далее в Послании Президент России Путин В.В. сказал: «В мире сегодня накапливается громадный технологический потенциал, который позволяет совершить настоящий рывок в повышении качества жизни людей, в модернизации экономики, инфраструктуры и государственного управления. Насколько эффективно мы сможем использовать колоссальные возможности технологической революции, как ответим на её вызов, зависит

только от нас. И в этом смысле ближайшие годы станут решающими для будущего страны. Подчеркну это: именно решающими».

Все эти и иные обстоятельства были учтены при реализации Национальной технологической инициативы (НТИ) [7]. Ее запуск в 2015 году стал результатом выполнения поручения, которое было озвучено Президентом России в рамках Послания Федеральному Собранию Российской Федерации 4 декабря 2014 года. НТИ представляет собой долгосрочную комплексную программу. Она основана на государственно-частном партнерстве и направленную на поддержку лидерства российских компаний на высокотехнологичных рынках. Они будут определять структуру мировой экономики в ближайшие 15–20 лет (к 2035 году объем каждого из них должен превысить 100 млрд. долл. США). Перечень этих рынков обозначен в цитируемом выше экспертно-аналитическом докладе [1].

Инициатива рассчитана на то, что к 2035 году на высокотехнологичный бизнес будет приходиться половина российской экономики, что обеспечит присутствие России в числе десяти крупнейших технологических держав. Количество высокопрофессиональных специалистов, занятых на новых рынках, должно превысить 10 млн. человек. Показатели НТИ рассчитаны так, чтобы обеспечить в пять раз более высокий уровень производительности в новых секторах и рынках, чем в традиционных низко технологичных отраслях [1].

Грандиозные планы, однако, для успешной реализации НТИ и вытекающих отсюда задач, логично обосновать и реализовать столь же инновационные изменения в содержании подготовки кадров высшей квалификации и образования периода новой промышленной революции. Каким же чудесным образом в короткий срок в нашей стране должны появиться миллионы высококлассных творческих специалистов и начать генерировать инновационные идеи?

По мнению экспертов, для успешной реализации НТИ, управление проектами должно будет осуществляться на основе одной интеллектуальной платформы. Если нет общих пронизывающих, сквозных систем знаний, единых стандартов, то кооперация и синхронизация не выстроятся [9]. Существует горизонтальное и вертикальное разделение труда. Горизонтальное — это разделение труда по производству продукта, а вертикальное — это разделение труда по производству всех тех знаний, которые нужны для производства этого продукта.

Невозможно произвести продукт без типового проекта, а это тип знаний. До Форда не было типового проекта автомобиля, каждый производитель делал свой ремесленный продукт. По этой причине автомобиль был таким дорогим: он делался из разных деталей и был ремонтонепригоден, найти комплектующие было невозможно, и Форд об этом пишет: сломанный автомобиль стоял возле какого-нибудь богатого ранчо, демонстрируя достаток владельца, в нём играли дети, протирая кожаные сиденья [9].

Поэтому сейчас нужен новый тип знаний, новая технология мышления, которая станет достаточно массовой и сквозным элементом войдёт в систему деятельности по производству любого нового продукта. В ходе «нулевой» промышленной революции такой технологией стала инженерно-конструкторская деятельность, в ходе первой - проектирование, в ходе второй — исследование. У той технологии мышления, которая становится ведущей, сегодня также есть свое название — «программирование» (только не нужно сводить к компьютерному программированию, это только один из видов), как подчеркивает в своей лекции Петр Щедровицкий [9].

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 [9].

Многие эксперты сходятся во мнении, что в целом образование — это формирование картины мира. Владеть картиной мира — значит видеть причинно-следственные связи между явлениями. У нас огромное число молодых людей не имеют никакой картины мира. Функция образования, традиционно закрепленная за университетами, — сформировать картину мира, а не готовить к «деятельности». Готовить к «деятельности» должно ПТУ или высшая инженерная школа. И у «образования», и у «подготовки» есть свои особые важные задачи, но готовить к включению в систему разделения труда нужно по возможности быстро и дешево. А вот картина мира так быстро не формируется [9].

В цитируемой выше лекции утверждается, что в мире сегодня существует лишь десяток-другой учебных заведений, которые пытаются бежать вперед. Однако сохранение лидерства в той или иной области знания даже для таких учебных заведений остаётся существенным вызовом и требует построения новой кооперации и новой системы разделения труда в самой сфере подготовки кадров и образования.

Один из шагов алгоритма системной подготовки специалистов инновационного проектирования в университетах такого уровня, которые будут иметь и адекватную картину мира и навыки работать в коллективах,

где эффективно решаются междисциплинарные проблемы, это подготовка образовательных программ магистров соответствующего универсального профиля. Такие выпускники ВУЗов должны будут обладать компетенциями решения проблем высшей степени сложности и для любой отрасли промышленности.

Старт такому системному внедрению в образовательный процесс в зарубежных университетах дала команда тризовцев из Минска в 2001 году. Мастер ТРИЗ Хоменко Н. и Кучерявый Д. были приглашены в Страсбург во Францию в Университет INSA. Хоменко Н.Н. создал проект «Джонатан Ливингстон». Он стал его научным руководителем и постоянно поддерживал проект, в том числе и финансово. Это был первый опыт в мире в области применения ТРИЗ-педагогике как для высшего, так для среднего и начального образования.

С 2004 по 2009 в Страсбурге на базе Университета INSA Н. Хоменко работал научным руководителем уникальной программы: «Продвинутый Мастер Проектирования Инноваций» (Advanced Master in Innovative Design) для специалистов и руководителей проектных отделов и научно-исследовательских центров. Программа была аккредитована международной ассоциацией вузов Conference Des Grand Ecoles.

Это был первый опыт в мире в области образования, который позволил обеспечить образовательный и научный уровень Магистра Проектирования Инноваций инвариантно к профилю первоначального технического образования. И этот опыт был одобрен Министерством образования Франции.

Эта программа успешно работает и позволяет в относительно короткий срок подготовить Магистра Проектирования Инноваций с эффективным творческим выходом, который ожидают от такого выпускника Университета промышленные компании, профинансировавшие подобный образовательный цикл.

Поступать в такую магистратуру могут дипломированные бакалавры самых разнообразных технических и технологических направлений. Как правило, инновационные решения, предложенные такими магистрами в своих выпускных квалификационных работах (ВКР магистра) становятся объектом интеллектуальной собственности промышленной компании, которая инвестировала подобное повышение квалификации бакалавра.

Теоретической основой образовательной программы подготовки Advanced Master in Innovative Design в Университете Страсбурга INSA стали ОТСМ-ТРИЗ-технологии.

Хочу напомнить, что в середине семидесятых годов период построения Классической ТРИЗ был, в основном, завершен. В свою очередь встал вопрос о дальнейшей эволюции ТРИЗ, расширении области применения инструментария ТРИЗ за пределы технических проблем. 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 Генриха Альтшуллера - 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.

Среди базовых инструментов ОТСМ – аксиомы. Первая аксиома – аксиома модели. Она гласит: «Мы мыслим моделями». Под аксиомой подразумевается то, что берем без доказательств. Все последующие утверждения будут строиться на том, что мы мыслим моделями и их описанием. На этом строится теория. Следствие из аксиомы моделей – всякая модель порочна изначально, она неполна и лишь приблизительно описывает реальный объект [10, 11].

Отсюда выводы: «Моделью является модель некоторой системы, если модель отвечает на вопросы относительно системы с заданной степенью точности» Если с помощью нашей модели мы можем получить ответы на свои вопросы, то она хорошая. Если не можем, то должны корректировать модель. Потому что если любое описание конечно, а любой объект можно описывать бесконечно, то имеет смысл говорить о том, что модель применима для данного объекта только в данной конечной ситуации [10, 11].

Вторая аксиома – аксиома первопричины проблемы: «Первопричина состоит в том, что всякая ситуация возникает в силу объективных закономерностей».

Ситуация развивается по объективным законам, но в конкретное время, в конкретном месте, конкретные значения перестают нас устраивать. Противоречие возникает на стыке объективного процесса и наших субъективных оценок этого процесса (**Рис.1**). Это базовые аксиомы. Что вытекает из аксиом? Из первой аксиомы вытекает, что если мы создаем самую общую схему мышления, то оперируем с самыми разными задачами и элементами, то должны быть модели этих объектов и описание этих элементов. Причем они должны быть универсальными, не зависящими от предметной области. Чтобы модели, которые мы будем разрабатывать, были универсальные, т.е. модель, разработанная в ОТСМ, должна годиться как для психологии, так и для теоретической механики [11].



Рис.1 – Аксиома корня проблемы.Перевод кадра из презентации Н. Хоменко

Среди инструментов искусственного интеллекта существовала модель: Объект – атрибут - значение атрибута. Николай Хоменко предложил применять этот термин в ОТСМ-ТРИЗ. В инженерной аудитории это проходило, но в детском саду (при реализации адаптированных к возрасту терминов «сильного мышления» в рамках проекта «Джонатан Ливингстон») у воспитателей просто крыша ехала от слова “атрибут”. Поэтому Хоменко Н. сделал замену – вместо объекта был взят элемент, вместо атрибута – имя признака, а вместо значения атрибута – значение признака. Это интуитивно понятные вещи (Рис.2) [11].

Когда говорят – помидор красный, то используют эту модель. А можно сказать, что помидор имеет признак цвет и значение этого признака красный. Так обычно не говорят, но для решения задач это полезно. Таким маневром удастся уйти от классических названий противоречий и той технологии ТРИЗ, которые жестко привязаны к технике.

Можно положить цвет, как элемент, который имеет набор признаков: насыщенность, распределенность в пространстве и другие. Каждый из них имеет свое значение. Можно взять цвет красный, т.е. это значение признака в одной модели. И потом ввести для него еще признаки: насыщенность, наличие других цветов. Таким образом, каждый может быть каждым. Конкретная модель определяется конкретной ситуацией. В одном случае возьмем так, а в другом по-другому. Нет абсолютных элементов - они определяются ситуацией, ситуацией и еще раз ситуацией. Нет абсолютных имен и значений (Рис.3) [11].

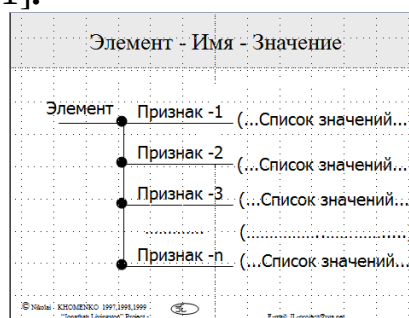


Рис. 2 – Модель «Элемент – Имя признака – Значение признака». Перевод кадра презентации Н. Хоменко

Как же в итоге определить решателю, подвести итоги разбора проблемы, какие критерии могут дать сигнал, что решение подходит к финалу (или полуфиналу)?

Сильные решения должны соответствовать объективным законам, по которым развивается система. Сильные решения должны соответствовать тем конкретным условиям, в которых возникла проблема, и использовать для решения конкретные ресурсы, имеющиеся в задаче, и только их. Сильные решения должны разрешать противоречия [11].

Известные компании такие как, Boeing, Peugeot-Citroen, Nissan, Renault, Salomon, Proctor & Gamble, Samsung Electronics, Mitsubishi, SAAB, Master Food, LG Electronics, Исследовательские Центры Европы и Азии, успешно применяют ТРИЗ-технологии. Этот список можно значительно расширить. По данным [10], около 100 компаний, лидирующих в разных областях и работающих в разных регионах мира, которые производят продукты-бренды, попадают в этот список. По данным других авторов таких компаний сейчас уже более 2000. Что объединяет все эти компании? Почему в продолжение этого списка попадают университеты из Европы и США, Японии и Южной Кореи, и даже школы и детские сады?

Все эти компании, исследовательские центры, университеты и школы инженеров имеют разный профиль деятельности и расположены в разных странах на разных континентах.

Все эти организации используют ОТСМ-ТРИЗ для проведения исследований и разработки новых продуктов; повышения качества и снижения себестоимости продукции; обучения и подготовки кадров, способных решать сложные проблемы.

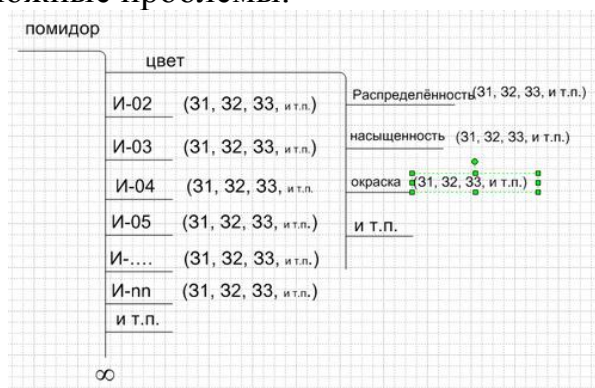


Рис.3 – Пример модели «Элемент – Имена признаков – Значения признаков» (перевод кадра из шаблона visio Н. Хоменко)

Эксперименты по раннему обучению ТРИЗ ведутся на территории бывшего СССР уже более 40 лет и дают позитивные результаты. Но образование на базе ТРИЗ вступает в конфликт с официальной образовательной системой [10, 11]. В чем суть этого конфликта?

В современном нам обществе профессионал – это человек, изучивший во время учебы и накопивший в течение своей жизни некоторое множество

типовых решений проблем из своей области. На этом построено большинство учебных курсов и тренингов современной системы образования, цель которой – показать, какие есть типовые проблемы и как их обычно решают специалисты в той или иной области. Чем больше примеров, тем лучше.

Примерно так же тысячи лет назад мастера передавали свой опыт подмастерьям... Как видим, с тех пор мало что изменилось. Бывает даже наоборот – преподаватели сами имеют небольшой опыт практической работы.

Фундаментом такого образования служит опыт типовых решений предыдущих поколений профессионалов, накопленный и систематизированный. Соответственно, чем лучше мы хотим подготовить специалиста, и чем больше знаний накоплено в профессиональной области, тем дольше должно быть обучение, тем сильнее должна быть память у студентов, чтобы удерживать все типовые решения. То есть эволюция образования идет в сторону интенсификации и автоматизации процесса перебора вариантов с целью подобрать подходящий вариант для возникшей проблемы. С точки зрения подхода Хоменко Н.Н. и его единомышленников, задача может быть переформулирована следующим образом: обеспечить выход на типовое решение типовой проблемы в данной предметной области [10, 11].

Очевидно, 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 [12, 13].

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. И эти системные подходы не убивают творчество, а лишь переводят его на качественно новую ступень, дают качественно иное понимание того, что есть творчество [14].

Таким образом, ОТСМ-ТРИЗ соответствует еще одному требованию к методологии анализа и решения сложных проблем: заменяет случайный перебор вариантов системой шагов и этапов, на которых четко задается направление движения мысли решателя. Причем отличительной

особенностью этих новых технологий инновационного мышления является то, что эти шаги и система их выполнения базируются на объективных научных законах эволюции систем [15]. Такой подход открывает возможности для непрерывного совершенствования инструментов развития творческого мышления студентов и специалистов, что позволяет повышать эффективность процессов инновационного проектирования техники и технологии.

О нюансах можно говорить долго, но объемы данной статьи не позволяют автору представить все процедуры применения ОТСМ-ТРИЗ для достижения финального результата. Поэтому рекомендую читателям обратиться к базовым источникам информации о новых технологиях инновационного мышления или начать обучение в ВУЗе, где практикуют применение ОТСМ-ТРИЗ-технологий для решения проблем, используют современный и эффективный софт, построенный на основе этих технологий. Например, такой как Solving Mill, который разработан авторами на русском языке, но имеются и применяются версии на английском и китайском. Авторский коллектив, который разработал и применяет такой софт возглавляет представитель Минской школы ТРИЗ, Мастер ТРИЗ, к.т.н. Шпаковский Николай Андреевич [16]. Этот софт был многократно апробирован при решении множества реальных производственных компаний. Среди них Samsung Electronics, Posco (Республика Корея) и других.

При проведении Всероссийского инженерного конкурса (ВИК-2016) в Санкт-Петербурге на базе этого софта финалисты конкурса решали реальные производственные проблемы корпорации Росэлектроника и довольно успешно справились с трудными задачами. Конкурс ВИК-2016 в номинации Кубок инженеров готовили Шпаковский Н.А. и Карлов А.Г. [17]. Они же были модераторами. Предварительный тренинг участников этого конкурса по применению софта Solving Mill был минимальный по времени, а дисциплина ТРИЗ в учебных программах большинства ВУЗов РФ отсутствовала. Тем не менее, жюри Кубка инженеров высоко оценила творчество финалистов.

Выводы:

- обоснована актуальность подготовки специалистов инновационного проектирования техники и технологий на основе концепции управления проектами посредством единой интеллектуальной платформы;
- функция образования, традиционно закрепленная за университетами будущего, - сформировать картину мира, а не готовить к «деятельности»;
- для построения эффективного алгоритма обучения навыкам инновационного мышления сейчас нужен новый тип знаний, новая технология мышления, которая станет достаточно массовой и сквозным

элементом войдёт в систему деятельности по производству любого нового продукта;

- эффективный алгоритм системной подготовки специалистов инновационного проектирования техники и технологий должен включать в себя мировой опыт создания и реализации образовательных программ Магистров Проектирования Инноваций, способных генерировать изобретательские решения инвариантные по отношению к базовому направлению подготовки бакалавров.

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. Made in China 2025 // The State Council of China. — 2015.
3. The New High-Tech Strategy. Innovations for Germany // Federal Ministry of Education and Research of Germany (BMBF). — 2014.
4. La Nouvelle France Industrielle // Ministère de l'Economie et des Finances. — 2015.
5. Strategy for American Innovation // US National Economic Council, US Office of Science and Technology Policy. — 2015.
6. A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing // Executive Office of the President, US National Science and Technology Council. — 2012.
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2016 г. № 317 «О реализации Национальной технологической инициативы».
8. Россия в ответ на ПРО создает новейшие системы вооружения. URL: <https://rg.ru/2018/03/01/putin-rf-v-otvet-na-razvertyvanie-pro-sozdaet-novejshie-sistemy-vooruzhenia.htm>.
9. 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.
10. 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>
11. N. Khomenko. «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>
12. 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.

13. Н. Хоменко, Дж. Кук. Решение изобретательской задачи с использованием модели из ОТСМ-ТРИЗ «КЛЕЩИ» URL: <http://otsm-triz.org>

14. Хоменко Н.Н., Аштиани М. Классическая ТРИЗ и ОТСМ как теоретическая основа инструментов для решения нестандартных проблем. / URL: http://www.jlproj.org/this_bibl/KNN_ETRIA.RUS11.pdf

15. 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.

16. Шпаковский Н.А., Новицкая Е.Л. ТРИЗ. Практика целевого изобретательства. Учебник. - М.: Форум, 2011. - 336 с. - (Высшее образование).

17. В Политехе наградили победителей III Всероссийского инженерного конкурса. 18 ноября 2016 г. Наука и инновации. URL: http://www.spbstu.ru/structure/media_tsentr_spbpu/

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. Made in China 2025 // The State Council of China. — 2015.

3. The New High-Tech Strategy. Innovations for Germany // Federal Ministry of Education and Research of Germany (BMBF). — 2014.

4. La Nouvelle France Industrielle // Minist?re de l'Economie et des Finances. — 2015.

5. Strategy for American Innovation // US National Economic Council. US Office of Science and Technology Policy. — 2015.

6. A National Strategic Plan for Advanced Manufacturing // Executive Office of the President. US National Science and Technology Council. — 2012.

7. Postanovleniye Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 18 aprelya 2016 g. № 317 «O re-alizatsii Natsionalnoy tekhnologicheskoy initsiativy».

8. Rossiya v otvet na PRO sozdayet noveyshiy sistem voruzheniya. URL: <https://rg.ru/2018/03/01/putin-rf-v-otvet-na-razvertyvanie-pro-sozdaet-novejshie-sistemy-vooruzheniya.htm>.

9. 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.

10. Khomenko N.N. Resheniye problem s pozitsiy OTSM-TRIZ (50 str.) / Arkhiv N.N. Khomenko. Redaktery: Alla Nesterenko. Galina Terekhova / Dep. v ChOUNB 20.10.12 № 3558. URL: <http://otsm-triz.org>

11. N. Khomenko. «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>

12. 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 zhivyykh sistem - IX". Pod red. V.P. Gocha. - Sevastopol: Izdatel Karpin. 2006. s. 302-309.

13. N. Khomenko. Dzh. Kuk. Resheniye izobretatelskoy zadachi s ispolzovaniyem modeli iz OTSM-TRIZ «KLEShchI» URL: <http://otsm-triz.org>

14. 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

15. 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.

16. Shpakovskiy N.A., Novitskaya E.L. TRIZ. Praktika tselevogo izobretatelstva. Uchebnik. - M.: Forum. 2011. - 336 s. - (Vyssheye obrazovaniye).

17. V Politekhe nagradili pobediteley III Vserossiyskogo inzhenerenogo konkursa. 18 noyabrya 2016 g. Nauka i innovatsii. URL: http://www.spbstu.ru/structure/media_tsentr_spbpu/

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

SUBSTANTIATION OF THE ACTUALITY AND ALGORITHM OF SYSTEM PREPARATION OF EXPERTS OF DESIGNING OF INNOVATIONS OF TECHNIQS AND TECHNOLOGIES.

Karlov A.G.

Providing stable growth of productivity and the information on ways and means of the decision of the actual problems is presented as in the Russian Federation and in the world economy. For this purpose it is necessary to do the

rate on «breakthrough» of technologies and "radical" innovations which in modern conditions allow to reach new quality of industrial-technological processes, and also to pass to release of the products "closing" old and "opening" new sector and branches. The staff deficit of the top skills becomes one of the most important problems thus, capable independently to generate these "radical" innovations. For acceleration of time of preparation of such experts the algorithm of system preparation of masters of innovative designing is offered.

Key words: new industrial revolution, the venture company, robotics, the advanced industrial technologies, the automated designing and designing, through system of the knowledge, new technology of thinking, meta language, technology of innovative designing, breakthrough researches, the Advanced Master in Innovative Design, the General theory of strong thinking (OTSM).

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

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ»

УДК 675.055

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОБРАБОТКЕ НА МНОГООПЕРАЦИОННОЙ МАШИНЕ

Бахадилов Г.А.¹, Хуррамов Ш.Р.², Абдукаримов А.³, Носиров М.И.⁴

Аннотация. Рассматривается задачу взаимодействия листового материала с валками, когда деформируемость взаимодействующих тел заданы реологическими моделями. Для чего, очаг деформации валков относительно линии соединяющей центры валков разделяется на две зоны. При этом принимается, что в первой зоне, т.е. до линии соединяющей центры валков, происходит одновременное сжатие контактирующих тел, а во второй зоне восстановление их деформации. Составляется уравнение кривой контакта валка. Уравнение кривой контакта валка зависит в основном от соотношения скоростей деформирования обрабатываемого материала и покрытия валка. С учетом определенных условий определено соотношение скоростей деформирования обрабатываемого материала и покрытия валка.

Ключевые слова. Листовой материал, кривая контакта, контактное взаимодействие, одновременное сжатие, соотношение скоростей деформирования.

В работе рассматривается вопрос контактного взаимодействия листового материала с валковой парой, при обработке на многооперационной машине с целью определения соотношения скоростей деформирования обрабатываемого материала и покрытия валка.

Валковые машины для механической обработки кож, где кожа в различных механических операциях (отжим, разводка, прокатка и др.) взаимодействует с валковыми парами, имеющими эластичные покрытия с различной твердостью, широко применяются в кожевенной промышленности [1].

Для улучшения условий труда и повышения качества выделки при механической обработке кож и шкур различной ширины нами рекомендована новая конструкция многооперационной валковой машины. Машина содержит валковые узлы закрепленные консольно на соответствующих осях вращения [2].

Процесс обработки материала в валковых машинах осуществляется в результате контактного взаимодействия валков с обрабатываемым материалом. Для силового анализа контактного взаимодействия в валковых

машинах необходимо разработать математической модели взаимодействия, т.е. уравнения кривых контакта валков.

Моделирование процесса взаимодействия листового материала с валками, имеющие эластичное покрытие, является сложной задачей и зависит от того, насколько полно в нем представлена деформируемость взаимодействующих тел. Накоплено большое количество экспериментальных данных о закономерности деформирования кожи, тканей, бумаги и других листовых материалов, обрабатываемых в валковых машинах, а также резины, технических сукон, моншонов и других материалов, используемых для покрытия валков. Анализ этих данных показал, что в основном деформируемость таких материалов описывается либо эмпирическими зависимостями $\sigma = A\varepsilon^n$, либо реологическими моделями $\sigma = E\varepsilon + \mu\dot{\varepsilon}$. Задача контактного взаимодействия листового материала с валками в случае, когда деформируемость взаимодействующих тел заданы эмпирическими зависимостями $\sigma = A\varepsilon^n$, была рассмотрена ранее [3]. Теперь будем рассматривать задачу взаимодействия листового материала с валками в случае, когда деформируемость взаимодействующих тел заданы реологическими моделями $\sigma = E\varepsilon + \mu\dot{\varepsilon}$.

Очаг деформации валков относительно линии центров разделим на зоны I и II (**Рис.1**). Будем считать, что в зоне I происходит одновременное сжатие контактирующих тел, а в зоне II восстановление их деформации. Взаимодействия обрабатываемого материала с каждым валком в очаги деформации происходит по кривой AE. Согласно [1] в кривой AE есть зоны скольжения отставания AB, прилипания BD и скольжения опережения DE. При этом часть зоны прилипания (отрезок BC) относится к зоне сжатия, а часть (отрезок CE) – восстановления, поэтому на них деформационные свойства контактирующих тел разные.

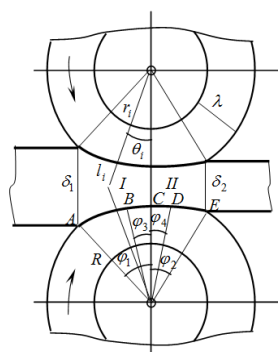


Рис.1 – Схема контактного взаимодействия в двухвалковом модуле

В связи с этим зону прилипания разделим на две участки (2 и 3), соответствующие отрезкам BC и CE, где C – точка, в которой пересекаются линия центров и кривая контакта. Поэтому кривая контакта AE имеет

участки 1, 2, 3 и 4 соответствующие отрезком AB, BC, CD и DE .

Пусть деформация контактирующих тел на этих участках определяются реологическими моделями

$$\sigma_i = E_k \varepsilon_i \pm \mu_k d\varepsilon_i / dt,$$

$$\sigma'_i = E'_k \varepsilon'_i \pm \mu'_k d\varepsilon'_i / dt, \quad i=1,2,3,4,$$

где k – индекс, означающий номер участка; $\sigma_i, \sigma'_i, \varepsilon_i, \varepsilon'_i, E_i, \mu_i, \mu'_i$ – соответственно, напряжения, деформация, модуль деформации, коэффициент вязкости покрытия вала и обрабатываемого материала. Знак (+) относится $k=1$, знак (–) относится $k=2$. Когда $i=1,2, k=1$ и когда $i=3,4, k=2$.

В кривой контакта выделим элементарный сектор, соответствующий углу θ_i . Представив покрытия вала и обрабатываемого материала, состоящими из бесконечно большого числа таких секторов, рассмотрим происходящие с ними изменения при переходе из положения, соответствующего углу θ_i , в новое, определяемое углом $\theta_i - d\theta_i$.

Из **Рис.1** следует, что

$$2(r_i \pm dr_i + l_i \pm dl_i) \cos(\theta_i \pm d\theta_i) = A. \quad (1)$$

Обозначая $dl_i / dr_i = m_k$, где m_k – отношение скорости деформирования обрабатываемого материала к скорости деформирования покрытия вала при сжатии ($k=1$) и восстановлении ($k=2$) и пренебрегая величинами высшего порядка малости, преобразуем (1) в дифференциальное уравнение

$$(1 + m_k) dr_i \frac{A \sin \theta_i}{2 \cos^2 \theta_i} d\theta_i = 0.$$

Решение уравнения находим с учетом начальных условий: $r_1 = R$ когда $\theta_1 = -\varphi_1$ и $r_2 = R$ когда $\theta_4 = \varphi_2$ и получим уравнение кривой контакта вала,

$$r_i = R + \frac{A_1}{1 + m_k} \left(\frac{1}{\cos \theta_i} - \frac{1}{\cos \varphi_k} \right), \quad i=1,2,3,4, \quad k=1,2, \quad (2)$$

где $-\varphi_1 \leq \theta_1 \leq -\varphi_3$, $-\varphi_3 \leq \theta_2 \leq 0$, $0 \leq \theta_3 \leq \varphi_4$, $\varphi_4 \leq \theta_4 \leq \varphi_2$, $A_1 = A/2$, здесь r_i, θ_i – полярные координаты; i – участка вала; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – углы между лучами OC и OA, OE, OB, OD , соответственно; A – расстояние между валами; R – радиус вала.

Из формулы (2) видно, что уравнение кривой контакта валка зависит в основном от соотношения скоростей деформирования обрабатываемого материала и покрытия валка.

Определяем отношение скоростей деформирования обрабатываемого материала и покрытия валка m_k .

Для любого времени t в кривых контакта справедливы следующие соотношения:

$$\Delta r_i + \Delta l_i = \Delta h_i,$$

$$\frac{dr_i}{dt} + \frac{dl_i}{dt} = \frac{dh_i}{dt}, \quad (3)$$

$$E_k \varepsilon_i \pm \mu_k d\varepsilon_i / dt = E'_k \varepsilon'_i \pm \mu'_k d\varepsilon'_i / dt, \quad (4)$$

где $h_i = r_i + l_i$, $\varepsilon_i = \frac{R - r_i}{\lambda}$, $\varepsilon'_i = \frac{l_{ko} - l_i}{l_{ko}}$, $l_{ko} = \frac{\delta_k}{2 \cos \varphi_k}$, здесь λ – толщина эластичного покрытия валка; δ_1 , δ_2 – начальная и конечная толщины обрабатываемого материала.

Уравнение (4) преобразуем к виду

$$\frac{\Delta r_i}{\lambda} E_k \pm \frac{dr_i / dt}{\lambda} \mu_k = \frac{\Delta l_i}{l_{ko}} E'_k \pm \frac{dl_i / dt}{l_{ko}} \mu'_k, \quad (5)$$

где $\Delta r_i = R - r_i$, $\Delta l_i = l_{io} - l_i$.

С учетом выражения $m_k = \frac{dl_i}{dr_i} = \frac{\Delta l_i}{\Delta r_i} = \frac{dl_i / dt}{dr_i / dt}$ из соотношений (3)

имеем

$$\Delta r_i = \Delta h_i / (1 + m_k), \quad \Delta l_i = m_k \Delta h_i / (1 + m_k),$$

$$dr_i / dt = (dh_i / dt) / (1 + m_k), \quad dh_i / dt = (dl_i / dt) m_k / (1 + m_k).$$

С учетом последнее из уравнения (5) получаем

$$\frac{\Delta h_i}{\lambda} E_k \pm \frac{\mu_k}{\lambda} \frac{dh_i}{dt} = m_k \frac{\Delta h_i}{l_{io}} E'_k \pm m_k \frac{\mu'_k}{l_{io}} \frac{dh_i}{dt}.$$

Откуда

$$m_k = \frac{l_{ko}}{\lambda} \left(\frac{E_k \cdot \Delta h_i \pm \mu_k dh_i / dt}{E'_k \cdot \Delta h_i \pm \mu'_k dh_i / dt} \right),$$

или заменив m_k средним значением m_{kc}

$$m_{kc} = \frac{\delta_k}{2\lambda \cos \varphi_k} \left(\frac{E_k \Delta h_{ic} \pm \mu_k (dh_i / dt)_c}{E'_k \Delta h_{ic} \pm \mu'_k (dh_i / dt)_c} \right).$$

Среднее значение Δh_{ic} и $(dh_i / dt)_c$ находим, используя теорему о среднем интегральном исчислении [4]:

$$\Delta h_{ic} = \frac{1}{\varphi_k} \int_0^{\varphi_k} h_{ko} \left(1 - \frac{\cos \varphi_k}{\cos \theta_i} \right) d\theta_i, \quad (dh_i / dt)_c = \frac{1}{\varphi_k} \int_0^{\varphi_k} \omega h_{ko} \cos \varphi_k \frac{\sin \theta_i}{\cos^2 \theta_i} d\theta_i,$$

или после интегрирования

$$\Delta h_{ic} = h_{ko} \left[1 - \frac{\cos \varphi_k}{2\varphi_k} \ln \frac{1 + \sin \varphi_k}{1 - \sin \varphi_k} \right], \quad (\Delta h_i / dt)_c = \frac{\omega h_{ko}}{\varphi_k} (1 - \cos \varphi_k),$$

где $h_{k0} = R + \delta_k / 2 \cos \varphi_k$; ω – угловая скорость вала.

Имея в виду $r_2 = r_3$ при $\theta_2 = \theta_3 = 0$, на основании выражения (3) находим

$$R + \frac{A_1}{1 + m_1} \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi_1} \right) = R + \frac{A_1}{1 + m_2} \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi_2} \right),$$

или после преобразования

$$\left(\frac{1 - \cos \varphi_1}{1 - \cos \varphi_2} \right) \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} = \frac{1 + m_1}{1 + m_2}.$$

Отсюда можно найти ограничения на выбор m_1 и m_2 .

Используя, очевидных соотношений между углами контакта

$$\varphi_1 \geq \varphi_2 (\cos \varphi_1 \leq \cos \varphi_2, 1 - \cos \varphi_1 \geq 1 - \cos \varphi_2),$$

откуда, искомое ограничение запишем так: $m_1 \geq m_2$.

Полученные выражения будут использованы при разработке методики определения параметров многооперационной машины для механической обработки листового материала.

Библиографический список

1. Бурмистров А.Г. Машины и аппараты производства кожи и меха – М.: КолосС, 2006. – С. 384 с.: ил.
2. Бахадиров Г.А. Разработка межоперационных транспортирующих устройств и механизмов для механической обработки кожевенного полуфабриката. Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения:

материалы междунар. науч. – техн. конф. Севастополь, 11-15 сентября 2017 г. / Севастопольский государственный университет; науч. ред. В.Я.Копп – Севастополь, СевГУ, 2017 – С. 30-31.

3. Бахадиров Г.А., Ризаев А.А., Хуррамов Ш.Р., Абдукаримов А. Математические модели взаимодействия материала с отжимными валами. XXI международная научно-техническая конференция. Прикладные задачи математики. Севастополь, 16-20 сентября 2013 г. – С. 4-8.
4. Зорич В. А. Математический анализ. Ч. I. – М.: Наука, 1997. – С. 568.

Bibliograficheskiy spisok

1. Durmistrov A.G. Mashiny i apparaty proizvodstva kozhi i mexa – М.: KolosS, 2006. – S. 384 s.: il.
2. Baxadirov G.A. Razrabotka mezhoperacionnyx transportiruyushhix ustrojstv i mexanizmov dlya mexanicheskoy obrabotki kozhevennogo polufabrikata. Avtomatizaciya i priborostroenie: problemy, resheniya: materialy mezhdunar. nauch. – техн. конф. Sevastopol, 11-15 sentyabrya 2017 g. / Sevastopolskiy gosudarstvennyj universitet; Nauch. red. V.Ya.Kopp – Svastopol, SevGU, 2017 – S. 30-31.
3. Baxadirov G.A., Rizaev AA., Xurramov Sh.R., Abdugarimov A. Matematicheskie modeli vzaimodejstviya materiala s otzhimnymi valami. XXI Mezhdunarodnaya nauchno-texnicheskaya konferenciya. Prikladnye zadachi matematiki. Sevastopol, 16-20 sentyabrya 2013 g. – S. 4-8.
4. Zorich V. A. Matematicheskij analiz. Ch. 1. – М.: Nauka, 1997. – S. 568.

Бахадиров Гайрат Атаханович, д-р техн. наук, проф., гл. научн. сотр., instmech@rambler.ru, Узбекистан, Ташкент, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (ул. Дурмон йули 31, г. Ташкент, 100125, Узбекистан).

Хуррамов Шавкат Рахматуллаевич, канд. техн. наук, доц., вед. научн. сотр., instmech@rambler.ru, Узбекистан, Ташкент, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (ул. Дурмон йули 31, г. Ташкент, 100125, Узбекистан).

Абдукаримов Абдусалам, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., зав. лаб., instmech@rambler.ru, Узбекистан, Ташкент, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (ул. Дурмон йули 31, г. Ташкент, 100125, Узбекистан).

Носиров Мурод Илхомович, мл. научн. сотр., instmech@rambler.ru, Узбекистан, Ташкент, Институт механики и сейсмостойкости сооружений им М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан (ул. Дурмон йули 31, г. Ташкент, 100125, Узбекистан).

CONTACT INTERACTION OF SHEET MATERIAL WHEN PROCESSING
ON MULTY FUNCTIONAL MACHINE
MODELING

Bahadirov G.A, Khurramov Sh.R., Abdugarimov A., Nosirov M.I.

The problem of interaction of sheet material with rolls is considered, when deformability of interacting bodies is given by rheological models. For what, the center of deformation of the rolls relative to the line connecting the centers of the rolls is divided into two zones. It is assumed that in the first zone, i.e. up to the line connecting the centers of the rolls, simultaneous compression of the contacting bodies occurs, and in the second zone, their deformation is restored. The equation of the roll contact curve is compiled. The equation of the contact curve of the roll depends mainly on the ratio of the rates of deformation of the material being processed and the coating of the roll. In view of certain conditions, the ratio of the rates of deformation of the material to be processed and the coating of the roll is determined.

Key words: sheet material, contact curve, contact interaction, simultaneous compression, ratio of deformation rates.

Bahadirov Gayrat Atahanovich, Dr. Tech. Sciences, prof., Ch. scientific staff, instmech@rambler.ru, Uzbekistan, Tashkent, Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after Urazbaev, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Durmon Yuli street, 31, Tashkent, 100125, Uzbekistan).

Khurramov Shavkat Rakhmatullaevich, PhD in tech. sciences, docent., Head scientific staff, instmech@rambler.ru, Uzbekistan, Tashkent, Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after Urazbaev, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Durmon Yuli street, 31, Tashkent, 100125, Uzbekistan).

Abdugarimov Abdusalam, PhD in tech. sciences, senior scientific. staff, Head. lab., instmech@rambler.ru, Uzbekistan, Tashkent, Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after Urazbaev, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Durmon Yuli street, 31, Tashkent, 100125, Uzbekistan).

Nosirov MurodI lkhomovich, junior scientific staff, instmech@rambler.ru, Uzbekistan, Tashkent, Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after Urazbaev, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan (Durmon Yuli street, 31, Tashkent, 100125, Uzbekistan).

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Винограденко А.М.¹, Васильев В.А.², Веселовский А.П.³, Меженев А.В.⁴

Аннотация. В материалах статье обоснована необходимость применения распределенной автоматизированной системы контроля и диагностики в рамках перехода на контракты жизненного цикла элементов территориально-разнесенных объектов управления военного назначения. Проведен анализ элементов распределенных радиоэлектронных систем как объектов контроля и диагностирования. Проведено моделирование объектов контроля и диагностирования, а также их математическое описание с использованием методов теории графов. Построен многоэтапный вероятностный граф переходов технических состояний элементов радиоэлектронных систем, отображающий вариационный ряд предпочтений каждого класса технического состояния объекта контроля. Причем, представленные графы используются для разработки и реализации алгоритмов принятия решения по каждому уровню разукрупнения диагностической модели радиоэлектронных систем. На основании анализа графов переходов для процессов определения технического состояния элементов радиоэлектронных систем на различных уровнях разукрупнения разработан алгоритм определения класса технического состояния. На основании требований к системе эксплуатационно-технических показателей распределенных радиоэлектронных систем разработана методика расчета и анализа данных показателей, основанная на методах теории надежности.

Ключевые слова. Автоматизированная система контроля и диагностики, распределенная радиоэлектронная система, измерительная информация, объекты контроля, техническое состояние.

Современное состояние технологий формирования единого информационного пространства (ЕИП) ВС РФ, территориальное разнесение объектов распределенной системы управления, жесткие условия их функционирования и необходимость обеспечения безопасной работы определили необходимость создания распределенной системы контроля технического состояния радиоэлектронных систем (РЭС). Непрерывно возрастающие потоки измерительной информации (ИИ) при контроле технологических процессов удаленных объектов обусловили широкое применение информационно-телеметрических систем и автоматизированных систем контроля и диагностики (АСКД), осуществляющих сбор, обработку и обмен данных телеизмерений [1].

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из наиболее эффективных методов, обеспечивающих высокое качество

Автоматизированные системы контроля и диагностики (АСКД) и инфокоммуникационные системы (ИкС) – одни из нескольких видов распределенных инфраструктур, оказывающих наиболее существенное влияние на ряд показателей технологических систем. Для АСКД профильными задачами являются контроль, диагностика и прогнозирование ТС контролируемых объектов, для ИкС – предоставление и управление качеством информационных и телекоммуникационных услуг [8].

Возможности постоянного одновременного удаленного контроля десятков тысяч параметров, мониторинга ТС распределенных технологических объектов, реализуемые в АСКД на основе сенсорных сетей, позволяющих осуществлять передачу (обмен) диагностической (измерительной) информации, подчеркивают уникальность подобных систем. Информационная поддержка ОК на всех этапах ЖЦ требует оптимальной организации средств и процессов контроля, диагностики в АСКД.

Для дистанционного управления указанными выше видами распределенных инфраструктур используются соответствующие СУ – информационно-управляющие системы, системы управления и мониторинга и др. [8].

Модель АСКД распределенной РЭС, построенной на основе телеметрической системы (ТМС) будет иметь вид, представленный на **Рис.2**.

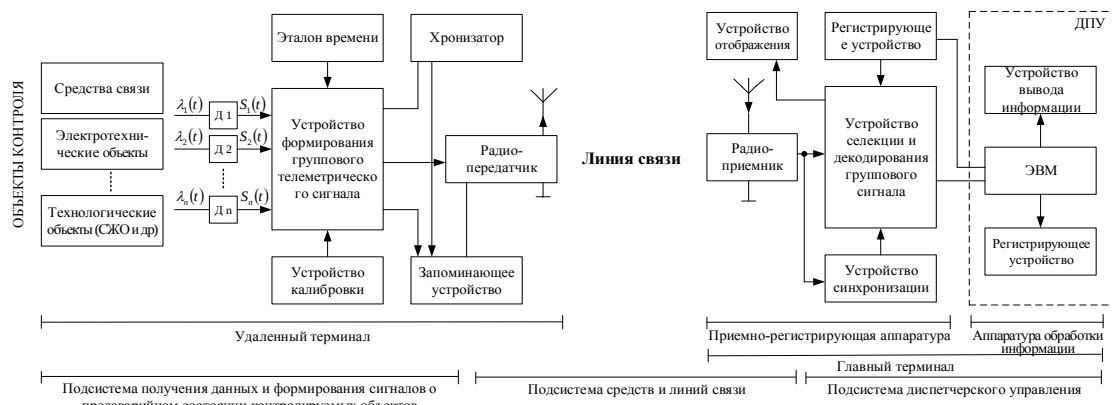


Рис.2 – Структура телеметрической системы

В системах дистанционного контроля, ТМС (**Рис.2**) ИИ о ТС ОК (технологические системы, средства связи и др.) от датчиков, сенсоров (первичных информационных преобразователей), осуществляющих съем ИИ, передается через АЦП, контроллеры, кодеры дискретных каналов, устройства мультиплексирования и аппаратуру передачи данных на приемные устройства и устройства обработки ИИ диспетчерского пункта управления (ДПУ). В связи с этим, поэтапный процесс обработки ИИ, снимаемой с ОК, согласно требований к помехоустойчивости, включает

аналого-цифровое преобразование, сжатие данных – на этапе формирования телеметрического кадра и кодирование пакетов ИИ.

Необходимость определения ТС элементов распределенной РЭС на всех этапах ЖЦ увеличивает значимость задачи своевременного обнаружения и устранения отказов. Решением задачи является проведение технического диагностирования элементов РЭС, с целью определения работоспособности ОК, которое достигается контролем и прогнозированием ТС, а также поиском места отказа. Причем, система диагностирования может быть интегрирована в АСКД или реализована в виде ее отдельной подсистемы.

Цель статьи – разработка диагностических моделей, способов и алгоритмов оценки ТС элементов распределенных РЭС.

Диагностические модели элементов РЭС.

Построение адаптивной диагностической модели выбранного ОК способствует эффективной реализации процедур контроля [9].

Решение задач проверки работоспособности ОК предполагает построение обобщенной или детализированной диагностических моделей.

Обобщенная диагностическая модель проверки работоспособности позволяет получить агрегированную информацию об ОК, его элементах и ТС в целом. Для этого классифицируют несколько видов ТС [10]:

1. «Исправное состояние» – состояние ОК, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

2. «Неисправное состояние» – состояние ОК, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

3. «Работоспособное состояние» – состояние ОК, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. При этом, ОК, находящийся в таком состоянии, может быть неисправным (например, по эстетическим требованиям), причем выявленные несоответствия не препятствуют его применению по назначению.

4. «Неработоспособное или частично неработоспособное состояние» (предаварийное) – состояние ОК, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. При этом динамика изменения контролируемого параметра приводит к выходу из строя самого ОК.

5. «Предельное состояние» (аварийное) – состояние ОК, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Предполагаются следующие уровни разукрупнения компонентов диагностической модели распределенной РЭС [11]:

- а) элемент (элементная база) – неделимый ОК;
- б) плата – совокупность элементов, может быть неделимым ОК;
- в) блок (консоль) – функциональное устройство (совокупность плат);
- г) модуль (стойка) – сосредоточенная структура, содержащая несколько блоков;
- д) отсек(и) – распределенная структура, содержащая несколько модулей.

ОК каждого уровня может быть иметь один из вышеперечисленных классов ТС.

Детализированная диагностическая модель проверки работоспособности позволяет определить причину возникновения (перехода) ТС ОК из одного в другой вид ТС по сигналам аварии (из-за неисправностей), формируемым в объектах нижележащего уровня разукрупнения. Такие сообщения обычно привязаны к целым (неделимым) ОК (платам, элементам). Каждый «аварийный» сигнал (аларм) может быть распознан (классифицирован) как сигнал, свидетельствующий об аварийном или предаварийном состоянии ОК, причиной перехода в которое являются различные отказы.

Каждый физический ОК (блок, плата) описывается структурой, отражающей его ТС. По запросу или автоматически ОК формирует сигнал о своем наиболее вероятном ТС с указанием номера структурного элемента, его типа и «адреса».

Информация может быть использована для индикации на пульте управления ОК (приборы системы встроенного контроля) или выносном устройстве (дистанционный пульт управления), а также для передачи, обработки и отображения в ДПУ.

Построение диагностических моделей.

Для математического описания диагностической модели проверки работоспособности ОК характерна обработка элементарного события – наличия (отсутствия) аларма или сообщения о конкретном виде ТС блока. При этом в соответствии с принятыми уровнями разукрупнения после выяснения (установления) вида ТС объектов i -го уровня начинается процесс обработки и принятия решения по ТС объектов $(i+1)$ -го уровня.

Для определения и индикации вида ТС ОК на уровне физических элементов и устройств (стойка, модуль, блок и плата) выделяются следующие возможные варианты:

Н: нормальное – отсутствие алармов по всем элементам ОК, а также критичной динамики изменения контролируемых параметров;

А: аварийное – фиксация аларма у одного и более элементов ОК;

ПА: предаварийное – отсутствие аларма от элементов ОК, но динамика изменения контролируемых параметров велика, что может служить выходом контролируемого параметра за допустимые пределы.

Переходы между различными видами ТС ОК могут быть описаны с использованием методов теории графов. Таким образом, граф переходов процесса определения вида ТС элемента ОК, отражающий работу АСКД [12] (платы контроля ТС) в составе одного из уровней разукрупнения РЭС (блока, модуля), будет иметь вид, представленный на **Рис.3**.

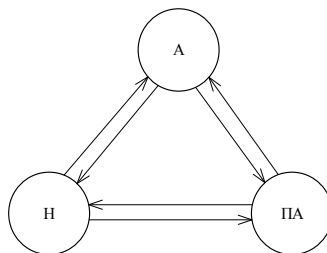


Рис.3 – Граф переходов процесса определения вида ТС элемента РЭС

В соответствии с предложенной обобщенной диагностической моделью определяется вид ТС диагностируемой РЭС на основании данных о его элементах (модулях, блоках, платах и др.), информация о котором отображается, например, на приборах системы встроенного контроля.

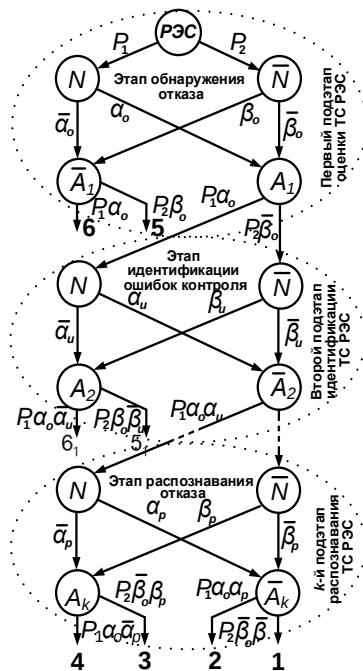
Для осуществления более детального представления информации об ОК на итоговом этапе диагностирования выведены финальные вероятности (классы) ТС элементов РЭС (**Рис.4**).

Наиболее предпочтительным является класс «6», когда система работоспособна и признана работоспособной. Следующим по предпочтению идет класс ТС «1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан. Математически вариационный ряд предпочтений классов ТС элементов РЭС можно записать в виде: «6» > «1» > «4» > «2» > «3» > «5».

Таким образом, за счет расширения списка возможных состояний, граф переходов для процесса обработки информации контроля в ДПУ будет иметь более сложную структуру (**Рис.4**). При этом, процесс обработки информации, разделен на этапы, на первом из которых осуществляется обнаружение отказа на одном из уровней разукрупнения РЭС, на втором – идентификация ошибок контроля, а на третьем и последующих – распознавание отказа.

Этапы диагностирования элементов РЭС, представленные на **Рис.4** в вероятностном графе состояния системы, отображают: $P_1 = 1 - P_2$ – априорная вероятность отсутствия аварийной ситуации; P_2 – априорная вероятность появления аварийной ситуации; α – ложный отказ (ошибка первого рода); β – необнаруженный отказ (ошибка второго рода); N – нормальная работа; A – авария (отказ); $k = 1, 2, \dots, K$ – уровни РЭС. При этом

классы ТС РЭО обозначены 1, 2, ..., 5, 6, где $1 = P_2 \bar{\beta}_0 \bar{\beta}_P \dots \bar{\beta}_k$; $2 = P_1 \alpha_0 \alpha_P \dots \alpha_k$; $3 = P_2 \bar{\beta}_0 \bar{\beta}_P \dots \bar{\beta}_k$; $4 = P_1 \alpha_0 \alpha_P \dots \bar{\alpha}_k$; $5 = P_2 \beta_0$; $6 = P_1 \bar{\alpha}_0$; $5_1 = P_2 \bar{\beta}_0 \beta_P$; $6_1 = P_1 \alpha_0 \bar{\alpha}_P$.



Финальные вероятности (классы) ТС элементов РЭС:

«1» – система заблокирована, отказ обнаружен и распознан;

«2» – система работоспособна, ложное обнаружение и распознавание;

«3» – система заблокирована, отказ обнаружен, но не распознан;

«4» – система работоспособна, ложное обнаружение не распознано;

«5» – система заблокирована, отказ не обнаружен;

«6» – система работоспособна, признана работоспособной.

Рис.4 – Многоэтапный вероятностный граф переходов ТС элементов РЭС

Построенные графы используются для разработки и реализации алгоритмов принятия решения по каждому уровню разукрупнения диагностической модели РЭС.

Алгоритм определения вида ТС элементов РЭС.

На основании анализа графов переходов для процессов определения ТС элементов РЭС на различных уровнях разукрупнения разработан алгоритм определения класса ТС (**Рис.5**), реализуемый в соответствующем ПО (программном обеспечении) ДПУ.

Алгоритм имеет три этапа работы: обнаружения отказа элемента РЭС, идентификации ошибок контроля (на каждом уровне k разукрупнения РЭС) и распознавания класса ТС РЭС.

В алгоритме распознавания классов ТС распределенных РЭС в качестве исходных данных используются:

- 1) пороговое значение обобщенного показателя ТС РЭС α_0 ;
- 2) пороговые значения (допуски) на параметры $x_0^1, y_0^2, \dots, \gamma_0^K$ элементов РЭС, используемых на различных (локальный, региональный, глобальный k -х, $k = 1, 2, \dots, K$) уровнях её функционирования;
- 3) измеренные значения обобщенного показателя состояния РЭС;

4) измеренные значения параметров технических устройств на каждом k -м уровне разукрупнения РЭС (локальном (схема, элемент), региональном (блок), глобальном (модуль)).

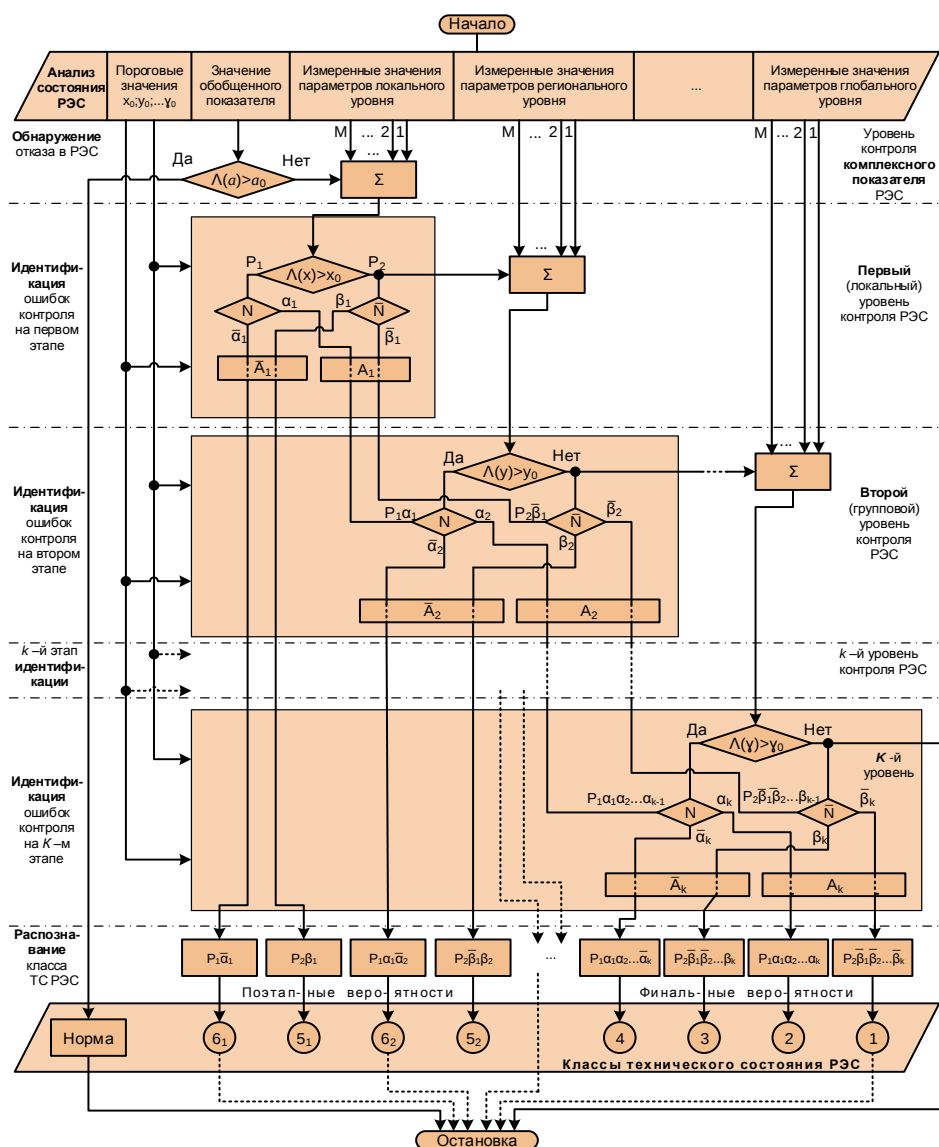


Рис.5 – Алгоритм распознавания классов ТС элементов РЭС

На этапе обнаружения отказа осуществляется контроль комплексного показателя РЭС $\Lambda(a)$ по заданному в исходных данных пороговому значению параметра a_0 . При выполнении заданного условия (например, $\Lambda(a) > a_0$) формируется сигнал о нормальном функционировании распределенной РЭС.

При невыполнении заданного условия (выходе значения обобщенного (комплексного) показателя за пределы допуска) осуществляется измерение j значений показателей ТС (параметров), где $j = 1, 2, \dots, J$, на локальном

уровне РЭС, которые на следующем этапе сравнивают с пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$ для идентификации места отказа.

По результатам сравнения определяется нормальное состояние РЭС (N) с вероятностью $P_1 = P(N)$ либо его аномальное состояние ($\bar{N}$) с вероятностью $P_2 = 1 - P_1 = P(\bar{N})$. Причем идентификацию места отказа на первом (локальном) уровне РЭС осуществляют с учетом ошибок первого (α_1) и второго (β_1) рода, которые соответствуют вероятности «ложной тревоги» и «пропуску нарушения».

Физический смысл ошибок первого и второго рода заключается в том, что вероятность «ложной тревоги» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала нормальное (N) ТС РЭС (с вероятностью P_1), однако ошибочно классифицировано состояние аварии (A), и, в свою очередь, вероятность «пропуску нарушения» равна величине наступления события, когда система контроля правильно зафиксировала аномальное ТС ($\bar{N}$) РЭС (с вероятностью P_2), но при этом в результате идентификации отказа классифицировано отсутствие аварии – ($\bar{A}$).

Аналогично происходит выявление нарушения работоспособности системы (ее аварийного состояния – A) и на последующих $k = 1, 2, \dots, K$ контурах контроля и управления системой (на втором (региональном) уровне – A_2 , вплоть до глобального – A_K). Переход на следующий уровень идентификации отказа осуществляется при выполнении условия, что на предыдущем уровне было обнаружено аварийное состояние (A) и измеренные значения параметров данного уровня вышли за пределы установленных (заданных) допусков.

Так при обнаружении аномального состояния РЭС $\bar{N}$ на локальном уровне осуществляется измерение значения параметров регионального уровня и сравнение их с заданными пороговыми значениями $\Lambda(a) > a_0$. При этом ошибки первого и второго рода имеют место быть на каждом уровне многоуровневой РЭС: α_2 и β_2 ; α_3 и β_3 ; ... ; α_K и β_K .

На последнем, завершающем, этапе алгоритма выведены финальные вероятности состояния РЭС, определяющие классы его ТС, аналогично вероятностному графу (Рис.4).

Причем, на Рис.4, 5 классы ТС «1», «2», «3», «4» распределенной РЭС относятся к завершающему этапу контроля, а классы «5₁», «6₁», «5₂», «6₂», ... – присутствуют на каждом из уровней разукрупнения.

Требования, предъявляемые к системе эксплуатационно-технических показателей РЭС.

Адаптивные диагностические модели, алгоритмы тестового контроля и способы количественной оценки результатов контроля позволяют улучшить основные эксплуатационно-технические показатели элементов

РЭС. К данным показателям, которые являются показателями качества РЭС, предъявляются следующие требования [13]:

- 1) каждый показатель качества элемента распределенной РЭС должен быть измерим;
- 2) показатель качества элемента распределенной РЭС должен допускать возможность экспериментальной проверки во время специально проводимых испытаний или в процессе реальной эксплуатации АСКД;
- 3) система показателей должна отражать дискретность случайных процессов возникновения внезапных, постепенных, перемежающихся и других отказов;
- 4) система показателей должна быть удобной в практическом применении, наглядной и сравнимой;
- 5) каждый показатель должен быть простым в физическом смысле и естественным с точки зрения оценки выполняемых в АСКД функций;
- 6) показатели качества элемента распределенной РЭС должны иметь единую количественную меру расчета надежности выполнения процессов на всех уровнях рассредоточения;
- 7) система показателей должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечивать свертывание модулей расчета от низшего к высшему уровню;
- 8) система показателей должна обеспечивать комплексную оценку функциональной надежности элемента распределенной РЭС в условиях проявления всех видов отказов;
- 9) система показателей должна содержать как единичные, так и комплексные показатели.

Методика расчета основных эксплуатационно-технических показателей РЭС.

Для построения методики оценки влияния показателей системы диагностирования (АСКД) на эксплуатационно-технические показатели РЭС и ее элементов предлагается использовать «классический» подход теории надежности [10, 12-14], но адаптировать его для выбранного класса объектов диагностирования – элементов РЭС.

Основные этапы методики:

1. Определяется и описывается n состояний объекта диагностирования S_i (элементов РЭС на всех уровнях разукрупнения).
2. Строится диагностическая модель (например, в виде марковской цепи), задаются характеристики переходов q_{ij} .
3. Строится система дифференциальных уравнений для расчета финальных вероятностей нахождения элементов РЭС в каждом из состояний $P'_j(t)$ на всех уровнях разукрупнения:

$$P'_j(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) q_{ij}, \quad j \in [1, n]. \quad (1)$$

4. Принимается гипотеза, что марковский процесс является стационарным, а финальные вероятности считаются постоянными. Поэтому строится система алгебраических уравнений, которая разрешается относительно P_j .

5. Определяются основные эксплуатационно-технические комплексные показатели распределенной РЭС, такие как коэффициент готовности K_{Γ} , коэффициент неготовности K_{Π} , коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$, коэффициент технического использования $K_{ти}$, коэффициент сохранения эффективности $K_{эф}$ [10].

Проиллюстрируем предлагаемую методику на примере анализа АСКД.

1. Выделим и опишем следующие состояния объекта диагностирования:

C_1 – диагностируемый элемент РЭС находится в рабочем режиме (ОК в исправном состоянии), возможно ложное обнаружение отказа и его распознавание;

C_2 – диагностируемый элемент РЭС находится в рабочем режиме, но ложная неисправность не распознана (ОК находится на этапе диагностирования);

C_3 – диагностируемый элемент РЭС находится в предельном (аварийном) состоянии, отказ обнаружен и распознан;

C_4 – диагностируемый элемент РЭС находится в неработоспособном (предаварийном, частично неработоспособном) состоянии, отказ обнаружен, но не распознан.

2. Построение графа переходов ТС ОК. Для построения графа переходов марковского процесса (**Рис.6**) введем обозначения состояний C_i и характеристики переходов q_{ij} :

C_1 – И; C_2 – Д; C_3 – А; C_4 – ПА;

λ – переходы в аварийное состояние (из исправного состояния C_1 $q_{13} = \lambda_{и}$; из этапа диагностирования C_2 $q_{23} = \lambda_{д}$);

μ – переходы в исправное состояние (из этапа диагностирования C_2 $q_{21} = \mu_{д}$; из предаварийного состояния C_4 $q_{41} = \mu_{па}$);

γ – переходы ОК к этапу диагностирования (из исправного состояния C_1 $q_{12} = \gamma_{и}$) или в предаварийное состояние (из аварийного состояния C_3 $q_{34} = \gamma_{а}$); причем, переход ОК из аварийного в предаварийное состояние будем считать его восстановлением.

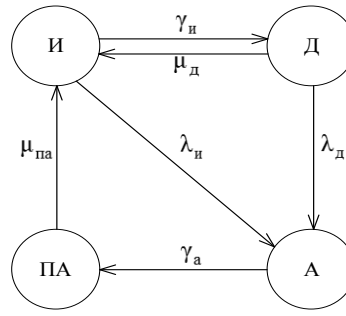


Рис.6 – Граф переходов ТС ОК

3. Построение системы уравнений с учетом стационарности процесса:

$$\begin{aligned}
 \mu_d P_d + \mu_{па} P_{па} - (\lambda_i + \gamma_i) P_i &= 0; \\
 \gamma_i P_i - \mu_d P_d &= 0; \\
 \lambda_i P_i + \lambda_d P_d - \gamma_a P_a &= 0; \\
 \gamma_a P_a - \mu_{па} P_{па} &= 0; \\
 P_i + P_d + P_a + P_{па} &= 1,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где P_i, P_d, P_a и $P_{па}$ – вероятности нахождения ОК в исправном состоянии, на этапе диагностирования, аварийном и предаварийном состояниях соответственно.

Решим систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 P_d &= (\gamma_i P_i) / \mu_d; \\
 P_a &= (\lambda_i P_i) / \gamma_a; \\
 P_{па} &= (\lambda_i P_i) / \mu_{па}; \\
 P_i + P_d + P_a + P_{па} &= P_i + (\gamma_i P_i) / \mu_d + (\lambda_i P_i) / \gamma_a + (\lambda_i P_i) / \mu_{па} = \\
 &= P_i (1 + \gamma_i / \mu_d + \lambda_i / \gamma_a + \lambda_i / \mu_{па}) = 1.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Тогда определим вероятность нахождения ОК в исправном состоянии P_i , а через нее – и для всех остальных.

$$\begin{aligned}
 P_i &= 1 / (1 + \gamma_i / \mu_d + \lambda_i / \gamma_a + \lambda_i / \mu_{па}) = (\mu_d \gamma_a \mu_{па}) / \\
 &/ (\mu_d \gamma_a \mu_{па} + \gamma_i \gamma_a \mu_{па} + \mu_d \lambda_i \mu_{па} + \mu_d \gamma_a \lambda_i) = \\
 &= (\mu_d \gamma_a \mu_{па}) / (\gamma_a \mu_{па} (\mu_d + \gamma_i) + \mu_d \lambda_i (\mu_{па} + \gamma_a)); \\
 P_d &= (\gamma_i \gamma_a \mu_{па}) / (\gamma_a \mu_{па} (\mu_d + \gamma_i) + \mu_d \lambda_i (\mu_{па} + \gamma_a)); \\
 P_a &= (\lambda_i \mu_d \mu_{па}) / (\gamma_a \mu_{па} (\mu_d + \gamma_i) + \mu_d \lambda_i (\mu_{па} + \gamma_a)); \\
 P_{па} &= (\lambda_i \mu_d \gamma_a) / (\gamma_a \mu_{па} (\mu_d + \gamma_i) + \mu_d \lambda_i (\mu_{па} + \gamma_a)).
 \end{aligned} \tag{4}$$

Интенсивности переходов определяются как обратные величины к усредненным временным характеристикам процесса:

$\lambda_{\text{и}} = 1/T_{\text{о}}$, где $T_{\text{о}}$ – наработка ОК от начала его работы до отказа;

$\lambda_{\text{д}} = 1/T_{\text{п}}$, где $T_{\text{п}}$ – время проверки ОК и выявления дефектов (отказов) на этапе диагностирования (время перехода ОК из этапа диагностирования в аварийю);

$\mu_{\text{д}} = 1/T_{\text{р}}$, где $T_{\text{р}}$ – время перевода ОК от этапа диагностирования в рабочий режим;

$\mu_{\text{па}} = 1/T_{\text{в}}$, где $T_{\text{в}}$ – время перевода ОК из предаварийного состояния в исправное, то есть время восстановления ОК;

$\gamma_{\text{и}} = 1/T_{\text{и}}$, где $T_{\text{и}}$ – время проведения регламентных работ;

$\gamma_{\text{а}} = 1/T_{\text{а}}$, где $T_{\text{а}}$ – время перевода ОК из аварийного состояния в предаварийное (режим восстановления).

5. Определение основных эксплуатационно-технических показателей [10, 14]:

Коэффициент готовности: $K_{\text{г}} = P_{\text{и}} = \frac{T_{\text{о}}}{T_{\text{о}} + T_{\text{пр}}}$, где

$T_{\text{пр}} = T_{\text{р}} + T_{\text{в}} + T_{\text{и}} + T_{\text{а}}$ – время простоя;

Коэффициент неготовности (простоя):

$$K_{\text{п}} = 1 - K_{\text{г}} = 1 - P_{\text{и}} = P_{\text{а}} + P_{\text{па}} + P_{\text{д}}.$$

Коэффициент оперативной готовности: $K_{\text{ог}} = K_{\text{г}} P_{\Sigma T}$, где $P_{T_{\text{зад}}}$ – вероятность работоспособности ОК в произвольный, достаточно удаленный от начала отсчета момент времени и проработает безотказно в течение заданного времени $T_{\text{зад}}$ решения задачи;

Коэффициент технического использования:

$$K_{\text{ти}} = \frac{M(T_{\text{о}})}{M(\sum(T_{\text{о}}, T_{\text{и}}, T_{\text{р}}, T_{\text{а}}, T_{\text{в}}, T_{\text{п}}))}.$$

Коэффициент сохранения эффективности: $K_{\text{эф}} = \sum_V (1 - \omega_V) R_V$, где ω_V – относительное снижение эффективности РЭС из-за отказа в осуществлении V -ой группы ($V \in V$) задач (требований); R_V – показатель надежности системы, применительно к требованию V -го типа.

Таким образом, возможно осуществление оценки влияния одного или нескольких показателей АСКД на основные эксплуатационно-технические показатели элементов распределенной РЭС с учетом полученных

соотношений на разных этапах ЖЦ (проектирования, испытаний и эксплуатации), проводя их сравнительный анализ и прогнозирование.

Предложенная методика и инструментарий моделирования позволяют проводить синтез и анализ распределенных РЭС, варьируя комплексными показателями надежности элементов и структуры в целях достижения требуемых значений эксплуатационно-технических показателей.

Заключение.

В материале статьи представлены результаты решения задач диагностирования и оценки состояния элементов распределенных РЭС.

Проведен краткий обзор публикаций исследователей в рассматриваемой предметной области. Выделены направления, в которых продолжаются исследования, результаты которых приведены в работе.

Построены и исследованы обобщенная и детализированная диагностические модели для проверки работоспособности элементов РЭС, в рамках которых реализовано многоуровневое представление структуры объекта диагностирования на уровне компонентов разных уровней. Разработана математическая модель в виде вероятностных графов переходов между техническими состояниями для ОК разных уровней диагностических моделей. На основе вероятностного графа переходов между ТС элементов РЭС разработан алгоритм определения класса ТС, реализующий диагностические функции АСКД на этапах обнаружения отказа, идентификации ошибок контроля на каждом уровне разукрупнения РЭС и распознавания класса ТС.

На основании заданных требований, разработана методика расчета основных эксплуатационно-технических показателей элементов РЭС. Показано, как на значения основных показателей оказывают влияние показатели методов и процедур диагностирования. Проанализировано влияние показателей разных процедур диагностирования на эксплуатационно-технические характеристики элементов РЭС.

Библиографический список

1. Охтилев, М.Ю. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов. – М.: Наука, 2006. – 126 с.
2. Охтилев, П.А. Подход к оцениванию структурных состояний сложных организационно-технических объектов на основе обобщенных вычислительных моделей / П.А. Охтилев, А.Д. Бахмут, А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2017. – Т. 9. – № 5. – С. 73-82.
3. Гришин, В.Ю. Функциональное диагностирование в распределенном системном диагностировании многомашинных вычислительных систем /

В.Ю. Гришин, А.В. Лобанов, В.Г. Сиренко // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 1. – С. 154-160.

4. Шестопалов М.Ю. Системы отказоустойчивого управления технологическими процессами. – СПб.: Изд-во «Элмор», 2013. – 308 с.

5. Каравай, М.Ф. Универсальная сетевая структура для отказоустойчивых многопроцессорных систем реального времени / М.Ф. Каравай, П.П. Пархоменко, В.С. Подлазов // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения: материалы конференции. ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН. 2010. – С. 583-597.

6. Анисимов, О.В. Дескриптивная модель радиоэлектронной аппаратуры на основе онтологий для автоматизации информационной поддержки процесса диагностирования сложных технических комплексов / О.В. Анисимов, В.А. Курчидис, А.С. Приветень, А.Ю. Пугачев // Вестник Воздушно-космической обороны. – 2017. – № 2 (14). – С. 113-119.

7. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования: Учебник. – М.: МГТУ ГА. 2010. – 448 с.

8. Фрейман, В.И. Диагностирование и оценка состояния элементов систем управления распределенными инфраструктурами / В.И. Фрейман, А.А. Южаков // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 86-93.

9. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем. – Владивосток: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2005. – 101 с.

10. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике.

11. Будко, П.А. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса / П.А. Будко, А.М. Винограденко, В.К. Гойденко, С.В. Кузнецов // Системы управления связи и безопасности. – 2018. – № 4. – С. 71-101.

12. Посупонько В.Н. Автоматизированные системы контроля, диагностики и прогнозирования: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: ЮФУ. 2008. – 79 с.

13. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность». 2012. – 296 с. ил.

14. Шубинский И.Б. Структурная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: «Журнал Надежность». 2012. – 216 с. ил.

Bibliograficheskiy spisok

1. Ohtilev, M.Y. Intellectual'nie tehnologii monitoring i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnoy tehnicheskikh ob'etov / M.Y. Ohtilev, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov. – М.: Nauka, 2006. – 126 p.

2. Ohtilev, P.A. Podhod k otsenivaniyu strukturnih sostoyaniy slozhnih organizatsionno-tehnicheskikh ob'ektov na osnove obobshyonnih vichislitel'nih

modeley / P.A. Ohtilev, A.D. Bahmut, A.V. Krilov, M.Y. Ohtilev, B.V. Sokolov // *Naukoyomkie tehnologii v cosmitcheskih isslidovaniyah Zhemly*. – 2017. – V. 9. – № 5. – P. 73-82.

3. Grishin, V.Y. Funktsional'noe diagnostirovsnie v raspradelennom sistemnom diagnostirovanii mnogomashinnykh vychislitel'nykh system / V.Y. Grishin, A.V. Lobanov, V.G. Sirenko // *Avtomatika i telemekhanika*. – 2002. – № 1. – P. 154-160.

4. Shestopalov M.Y. Sistemi otkazoustoychivogo upravleniya tehnologicheskimi protsessami. – Spb.: Izdatel'stvo «Elmor», 2013. – 308 p.

5. Karavay, M.F. Universal'naya setevaya struktura dlya otkazoustoychivikh mnogoprotsessornykh system real'nogo vremeni / M.F. Karavay, P.P. Parhomenko, V.S. Podlazov // *Tekhnicheskie i programmnnye sredstva system upravleniya, kontrolya i izmereniya: materialy konferentsii. IPU im. V.A. Ttapeznikova RAN*. 2010. – P. 583-597.

6. Anisimov, O.V. Descriptivnaya model' radioelektronnoy apparatury na osnove ontologiy dlya avtomatizatsii informatsionnoy podderzhky protsessa diagnostirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov / O.V. Anisimov, V.A. Kurchidis, A.S. Priveten', A.Y. Pugatchev // *Vestnik Vozdushno-kosmitcheskoy oborony*. – 2017. – № 2 (14). – P. 113-119.

7. Vorob'ev V.G., Konstantinov V.D. Nadezhnost' i tekhnicheskaya diagnostika aviatsionnogo oborudovaniya: Uchebnyk. – M.: MGTU GA. 2010. – 448 p.

8. Freyman, V.I. Diagnostirovanie i otsenka sostoyaniya elementov sistem upravleniya raspredelennymi infrastrukturami / V.I. Freyman, A.A. Yuzhakov // *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*. – 2018. – V. 19. – № 2. – P. 86-93.

9. Gumenyuk V.M. Nadezhnost' i dagnostika elektrotekhnicheskikh sistem. – Vladivostok: Izdatel'stvo PGU, 2005. – 101 p.

10. GOST 27.002-2015. Nadyozhnost' v tekhnike.

11. Budko, P.A. Realizatsiya metoda mnogourovnevnogo kompleksnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya morskogo robototekhnicheskogo kompleksa / P.A. Budko, A.M. Vinogradenko, V.K. Goydenko, C.V. Kuznetsov // *Sistemy upravleniya svyazi i bezopasnosti*. – 2018. – № 4. – P. 71-101.

12. Posupon'ko V.N. Avtomatizirovannye sistemy kontrolya, diagnostiky i prognozirovaniya: Uchebnoe posobie. – Rostov-na-Donu: YuFU. 2008. – 79 p.

13. Shubinskiy I.B. Funktsional'naya nadezhnost' informatsionnykh sistem. Metody analiza. – M.: «Zhurnal Nadezhnost'». 2012. – 296 p.

14. Shubinskiy I.B. Strukturnaya nadezhnost' informatsionnykh sistem. Metody analiza. – M.: «Zhurnal Nadezhnost'». 2012. – 216 p.

*Винограденко Алексей Михайлович, к.т.н., доцент,
Vinogradenko.a@inbox.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия
связи*

Васильев Виктор Афанасьевич, к.т.н., доцент, Vasil'ev@inbox.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи

Веселовский Анатолий Платонович, к.т.н., доцент, Veselovskiy@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи

Меженев Алексей Викторович, Mezhenov@mail.ru, Россия, Санкт-Петербург, Военная академия связи

DIAGNOSING AND IDENTIFICATION OF TECHNICAL CONDITION OF THE DISTRIBUTED RADIO-ELECTRONIC SYSTEMS

A. M. Vinogradenko, A. A. Vasil'ev, A. P. Veselovsky, A. V. Mezhenov

In materials to article need of use of the distributed automated control system and diagnostics within transition to contracts of life cycle of elements of the territorial carried objects of military management is proved. The analysis of elements of the distributed radio-electronic systems as subjects to control and diagnosing is carried out. Modeling of subjects to control and diagnosing and also their mathematical description with use of methods of the theory of counts is carried out. The multi-stage probabilistic transition graph of technical conditions of elements of radio-electronic systems displaying a variation number of preferences of each class of technical condition of a subject to control is constructed. And, the submitted columns are used for development and realization of algorithms of decision-making on each level of disaggregation of diagnostic model of radio-electronic systems. On the basis of the analysis of transition graphs the algorithm of definition of a class of technical condition is developed for processes of determination of technical condition of elements of radio-electronic systems at various levels of disaggregation. On the basis of requirements to the system of operational and technical indicators of the distributed radio-electronic systems the calculation procedure and the analysis of these indicators based on methods of the theory of reliability is developed.

Keywords: the automated control system and diagnostics, the distributed radio-electronic system, measuring information, subjects to control, technical condition

Vinogradenko Alexey Mihaylovich, candidate of technical sciences, docent, Vinogradenko.a@inbox.ru, Russia, St. Petersburg, Military academy of communication

Vasil'ev Viktor Afanas'evich, candidate of technical sciences, docent, Vasil'ev@inbox.ru, Russia, St. Petersburg, Military academy of communication

Veselovskiy Anatoliy Platonovich, candidate of technical sciences, docent, Veselovskiy@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military academy of communication

Mezhenov Aleksey Viktorovich, Mezhenov@mail.ru, Russia, St. Petersburg, Military academy of communication

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АСИНХРОННОЙ РЕПЛИКАЦИИ ДАННЫХ

М.В. Заморёнов¹

Аннотация. В статье приводится полумарковская модель функционирования асинхронной системы репликации данных, которая производит обработку данных на двух серверах. Определяются времена пребывания системы в состояниях и их функции распределения, приводятся вероятности переходов системы. Находится стационарное распределение вложенной цепи Маркова. На основании теоремы о среднестационарном времени пребывания системы в подмножестве состояний находятся коэффициенты готовности серверов.

Ключевые слова. Моделирование, коэффициент использования, функция распределения, полумарковский процесс, стационарное распределение.

На данный момент все больше возникает проблем, связанных с обслуживанием потоков задач, носящих определённый или случайный характер. В связи с появлением всё большего числа различных систем и в связи с их сложностью возникает вопрос о моделировании их поведения с целью выявления корректности работы и надёжности.

В последнее время в России и во всем мире появляется огромное количество товаров и услуг, и возникают проблемы, связанные с организацией работы информационных систем, требующие моделирования функционирования этих систем при своем проектировании. Аппарат полумарковских процессов [1, 2, 3] является мощным средством моделирования, позволяющим получать довольно точные прогнозы функционирования исследуемых систем. Кроме того, математическое моделирование [4, 5, 6, 7] позволяет получать функции распределения случайных величин, описывающих процесс функционирования исследуемых систем, что позволяет применять иерархический подход к моделированию сложных систем.

Целью данной статьи является построение полумарковской модели процесса функционирования асинхронной системы репликации данных, которая производит обработку данных на двух серверах.

Времена безотказной работы серверов – случайные величины (СВ) α_1 и α_2 с функцией распределения (ФР) $F_1(t) = P(\alpha_1 \leq t)$ и $F_2(t) = P(\alpha_2 \leq t)$ соответственно, времена восстановления системы – СВ β_1 и β_2 с ФР

$G_1(t) = P(\beta_1 \leq t)$ и $G_2(t) = P(\beta_2 \leq t)$. При выходе из строя одного из серверов система продолжает работу, при этом производится восстановление отказавшего сервера. при выходе из строя двух серверов, система прекращает работу до тех пор, пока не восстановятся оба сервера. После восстановления система начнет работу из начального состояния.

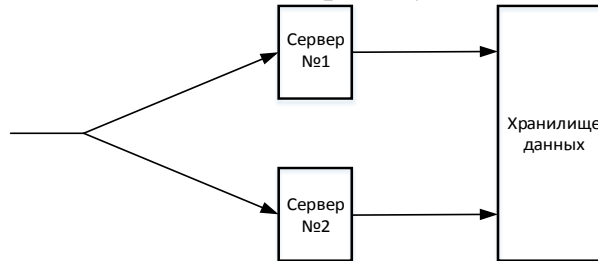


Рис.1 – Структурная схема системы асинхронной репликации

Граф состояний системы представлен на **Рис.2.**

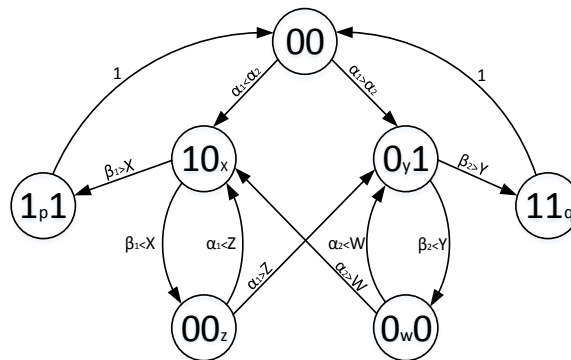


Рис.2 – Граф состояний системы

Опишем состояния системы:

00 – Начальное состояние системы, при котором оба сервера полностью исправны.

10_x – Состояние системы, при котором первый сервер отказал и ему требуется время на восстановление, второй сервер продолжает работать и ему осталось работать X времени.

0_y1 – Состояние системы, при котором второй сервер отказал и ему требуется время на восстановление, первый сервер продолжает работать и ему осталось Y времени работать.

00_z – Состояние, когда первый сервер восстанавливается и готов к работе, второй сервер работает и ему осталось работать Z времени.

0_w0 – Состояние, когда второй сервер восстановился и готов к работе, второй сервер продолжает работать и ему осталось работать W времени.

1_p1 – Состояние, при котором второй сервер отказал, первый сервер продолжает восстанавливаться и ему осталось P времени.

11_q – Состояние, при котором первый сервер отказал, второй продолжает восстанавливаться и ему осталось Q времени.

Запишем времена пребывания системы в состояниях:

$$S_{00} : \theta_{00} = \alpha_1 \wedge \alpha_2;$$

$$S_{10x} : \theta_{10x} = \beta_1 \wedge x; x = \{\alpha_2 - \alpha_1\}^+; S_{0y1} : \theta_{0y1} = \beta_2 \wedge y; y = \{\alpha_1 - \alpha_2\}^+;$$

$$S_{00z} : \theta_{00z} = \alpha_1 \wedge z; z = \{x - \beta_1\}^+; S_{0w0} : \theta_{0w0} = \alpha_2 \wedge w; w = \{y - \beta_2\}^+;$$

$$S_{1p1} : \theta_{1p1} = \beta_2 \vee p; p = \{\beta_1 - y\}^+; S_{11q} : \theta_{11q} = \beta_1 \vee q; q = \{\beta_2 - y\}^+.$$

Определим функции распределения времен пребывания системы в состояниях:

$$\bar{F}_{00}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t), \bar{F}_{10x}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{F}_x(t), \bar{F}_{0y1}(t) = \bar{G}_2(t) \cdot \bar{F}_y(t),$$

$$\bar{F}_{00z}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_z(t), \bar{F}_{0w0}(t) = \bar{F}_2(t) \cdot \bar{F}_w(t), F_{1p1}(t) = G_2(t) \cdot F_p(t),$$

$$F_{11q}(t) = G_1(t) \cdot F_q(t).$$

$$\text{где } F_x(t) = \frac{\int_0^\infty [F_2(x+t) - F_2(x)] f_1(x) dx}{\int_0^\infty \bar{F}_2(t) \cdot f_1(t) dt}, \quad F_y(t) = \frac{\int_0^\infty [F_1(y+t) - F_1(y)] f_2(y) dy}{\int_0^\infty \bar{F}_1(t) \cdot f_2(t) dt},$$

$$F_z(t) = \frac{\int_0^\infty [F_x(z+t) - F_x(z)] g_1(z) dz}{\int_0^\infty \bar{F}_x(t) \cdot g_1(t) dt}, \quad F_w(t) = \frac{\int_0^\infty [F_y(w+t) - F_y(w)] g_2(w) dw}{\int_0^\infty \bar{F}_y(t) \cdot g_2(t) dt},$$

$$F_p(t) = \frac{\int_0^\infty [G_1(p+t) - G_1(p)] f_x(p) dp}{\int_0^\infty \bar{G}_1(t) \cdot f_x(t) dt}, \quad F_q(t) = \frac{\int_0^\infty [G_2(q+t) - G_2(q)] f_y(q) dq}{\int_0^\infty \bar{G}_2(t) \cdot f_y(t) dt}.$$

Запишем вероятности переходов:

$$\begin{aligned}
 P_{00}^{10x} &= \int_0^{\infty} f_1(t) \cdot \bar{F}_2(t) dt, \quad P_{00}^{0y1} = \int_0^{\infty} f_1(t) \cdot F_2(t) dt, \quad P_{10x}^{00z} = \int_0^{\infty} g_1(t) \cdot \bar{F}_x(t) dt, \\
 P_{10x}^{1p1} &= \int_0^{\infty} f_x(t) \cdot \bar{G}_1(t) dt, \quad P_{00z}^{10x} = \int_0^{\infty} f_1(t) \cdot \bar{F}_z(t) dt, \quad P_{00z}^{0y1} = \int_0^{\infty} f_1(t) \cdot F_z(t) dt, \\
 P_{0y1}^{0w0} &= \int_0^{\infty} g_2(t) \cdot \bar{F}_y(t) dt, \quad P_{0y1}^{11q} = \int_0^{\infty} g_2(t) \cdot F_y(t) dt, \quad P_{0w0}^{10x} = \int_0^{\infty} f_2(t) \cdot F_w(t) dt, \\
 P_{0w0}^{10x} &= \int_0^{\infty} f_2(t) \cdot \bar{F}_w(t) dt.
 \end{aligned}$$

Для определения стационарного распределения вложенной цепи Маркова составим и решим систему уравнений

$$\left\{ \begin{aligned}
 \rho_{00} &= 1 \cdot \rho_{1p1} + 1 \cdot \rho_{11q} \\
 \rho_{10x} &= P_{00}^{10x} \cdot \rho_{00} + P_{00z}^{10x} \cdot \rho_{00z} + P_{0w0}^{10x} \cdot \rho_{0w0} \\
 \rho_{00z} &= P_{10x}^{00z} \cdot \rho_{10x} \\
 \rho_{0y1} &= P_{00}^{0y1} \cdot \rho_{00} + P_{00z}^{0y1} \cdot \rho_{00z} + P_{0w0}^{0y1} \cdot \rho_{0w0} \\
 \rho_{0w0} &= P_{0y1}^{0w0} \cdot \rho_{0y1} \\
 \rho_{1p1} &= P_{10x}^{1p1} \cdot \rho_{10x} \\
 \rho_{11q} &= P_{0y1}^{11q} \cdot \rho_{0y1}
 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Причем условие нормировки равно:

$$\rho_{00} + \rho_{10x} + \rho_{00z} + \rho_{0y1} + \rho_{0w0} + \rho_{1p1} + \rho_{11q} = 1.$$

Решением системы (1) является:

$$\begin{aligned}
 \rho_{00} &= \frac{\left[p_{10x}^{1p1} \left(1 - \left(p_{00}^{0y1} p_{0y1}^{11q} + p_{0w0}^{0y1} p_{0y1}^{0w0} \right) \right) + p_{0y1}^{11q} \left(p_{00}^{0y1} p_{10x}^{1p1} + p_{00z}^{0y1} p_{10x}^{00z} \right) \right]}{K}, \\
 \rho_{10x} &= \left[1 - \left(p_{00}^{0y1} * p_{0y1}^{11q} + p_{0w0}^{0y1} * p_{0y1}^{0w0} \right) \right] / K, \\
 \rho_{00z} &= \left[p_{10x}^{00z} \left(1 - \left(p_{00}^{0y1} * p_{0y1}^{11q} + p_{0w0}^{0y1} * p_{0y1}^{0w0} \right) \right) \right] / K, \\
 \rho_{0y1} &= \left[\left(p_{00}^{0y1} * p_{10x}^{1p1} + p_{00z}^{0y1} * p_{10x}^{00z} \right) \right] / K, \\
 \rho_{0w0} &= \left[p_{0y1}^{0w0} * \left(p_{00}^{0y1} * p_{10x}^{1p1} + p_{00z}^{0y1} * p_{10x}^{00z} \right) \right] / K, \\
 \rho_{1p1} &= \left[p_{10x}^{1p1} * \left(1 - \left(p_{00}^{0y1} * p_{0y1}^{11q} + p_{0w0}^{0y1} * p_{0y1}^{0w0} \right) \right) \right] / K,
 \end{aligned}$$

$$\rho_{11_q} = \left[p_{0y1}^{11q} * \left(p_{00}^{0y1} * p_{10_x}^{1p1} + p_{00_z}^{0y1} * p_{10_x}^{00z} \right) \right] / K.$$

$$\text{где знаменатель } K = \left(2p_{10_x}^{1p1} + p_{10_x}^{00z} + 1 \right) \left(1 - \left(p_{00}^{0y1} * p_{0y1}^{11q} + p_{0w0}^{0y1} * p_{0y1}^{0w0} \right) \right) + \\ + \left(2p_{0y1}^{11q} + p_{0y1}^{0w0} + 1 \right) \left(p_{00}^{0y1} * p_{10_x}^{1p1} + p_{00_z}^{0y1} * p_{10_x}^{00z} \right)$$

Коэффициент готовности определяется, как отношение времени работы сервера к полному времени работы. Для нахождения времени работы необходимо выявить подмножество состояний, в которых сервер находится в рабочем состоянии и сервер восстанавливается.

Подмножество состояний, в которых сервер находится в работоспособном состоянии: $E_1^+ = \{00, 0y1, 00z, 0w0\}$.

Подмножество состояний, в которых сервер восстанавливается: $E_1^- = \{10_x, 1p1, 11q\}$.

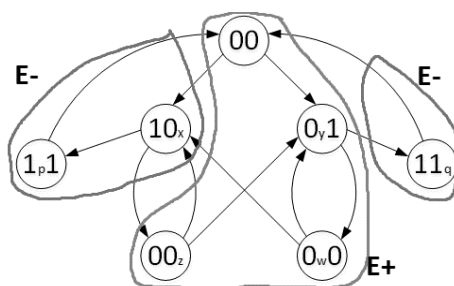


Рис.5 – Подмножества состояний первого сервера

Определения времени пребывания в подмножестве E^+ :

$$T^+ = \frac{\sum_{i \in E^+} \rho_i * M_i}{\sum_{j \in E^-} \rho_i * p_i^j}$$

$$T^+ = \frac{\rho_{00}M(f_{00}(t)) + \rho_{0y1}M(f_{0y1}(t)) + \rho_{00_z}M(f_{00_z}(t)) + \rho_{0w0}M(f_{0w0}(t))}{\rho_{00}p_{00}^{10_x} + \rho_{0y1}p_{0y1}^{1p1} + \rho_{00_z}p_{00_z}^{10_x} + \rho_{0w0}p_{0w0}^{10_x}}$$

Определения времени пребывания в подмножестве E^- :

$$T^- = \frac{\sum_{i \in E^-} \rho_i * M_i}{\sum_{j \in E^+} \rho_i * p_i^j}$$

$$T^- = \frac{\rho_{1p1}M(f_{1p1}(t)) + \rho_{11_q}M(f_{11_q}(t)) + \rho_{10_x}M(f_{10_x}(t))}{\rho_{11_q}p_{11_q}^{00} + \rho_{1p1}p_{1p1}^{00} + \rho_{10_x}p_{10_x}^{00_z}}$$

Определение коэффициента готовности:

$$K_g = \frac{T^+}{T^+ + T^-}$$

Коэффициент готовности определяет в данном случае загруженность первого сервера.

Приведем пример расчета коэффициентов готовности серверов при следующих исходных данных: функции распределения времени наработки на отказ $F_1(t)$, $F_2(t)$ и восстановления $G_1(t)$, $G_2(t)$ распределены по обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1, \lambda_2; \mu_1, \mu_2; \nu_1, \nu_2; \gamma_1, \gamma_2$ соответственно; причем

$$f_1(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2 (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})}{\lambda_2 - \lambda_1}, \quad f_2(t) = \frac{\mu_1 \mu_2 (e^{-\mu_1 t} - e^{-\mu_2 t})}{\mu_2 - \mu_1},$$

$$g_1(t) = \frac{\nu_1 \nu_2 (e^{-\nu_1 t} - e^{-\nu_2 t})}{\nu_2 - \nu_1}, \quad g_2(t) = \frac{\gamma_1 \gamma_2 (e^{-\gamma_1 t} - e^{-\gamma_2 t})}{\gamma_2 - \gamma_1},$$

где $\lambda_1 = 0,0444 \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,13333 \text{ ч}^{-1}$; $\mu_1 = 0,05128 \text{ ч}^{-1}$, $\mu_2 = 0,1538 \text{ ч}^{-1}$; $\nu_1 = 0,6667 \text{ ч}^{-1}$, $\nu_2 = 2,0 \text{ ч}^{-1}$; $\gamma_1 = 1,3333 \text{ ч}^{-1}$, $\gamma_2 = 4,00 \text{ ч}^{-1}$.

По результатам моделирования коэффициент готовности первого сервера составил:

$$K_g = 0.934$$

Выводы. Построенная аналитическая модель позволяет определять коэффициенты готовности серверов системы асинхронной репликации.

В дальнейших исследованиях планируется построение аналитической модели более сложной системы, элементами которой являются системы, модели для которых уже известны и используются, в частности и модели системы асинхронной репликации данных.

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. Корольук В.С. Стохастические модели систем / Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наук. думка. 1989. 208 с.
2. Корольук 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.

Bibliograficheskij spisok

1. Korolyuk V.S. Stohasticheskie modeli sistem / Otv. red. A.F. Turbin. Kiev: Nauk. dumka. 1989. 208 s.
2. Korolyuk V.S., Turbin A.F. Processy markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadyozhnosti sistem. Kiev: Nauk. dumka. 1982. 236 s. Корольюк В.С. Стохастические модели систем / Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наук. думка. 1989. 208 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.

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

RESEARCH OF THE PROCESS OF THE FUNCTIONING OF THE ASYNCHRONOUS DATA REPLICATION SYSTEM

Zamoryonov M. V.

Annotation. The article presents a semi-Markovian model of the functioning of an asynchronous data replication system that processes data on two servers. The residence times of the system in states and their distribution

functions are determined, and the probabilities of system transitions are given. There is a stationary distribution of the embedded Markov chain. It is based on the theorem on the average time of the system stay in a subset of states, the server availability factors are found.

Keywords: modeling, utilization factor, distribution function, semi-Markov process, stationary distribution.

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

СЕКЦИЯ «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ»

УДК 519.712.3

МЕТОДЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ АЛЬТЕРНАТИВ В ЛОГИЧЕСКОМ БАЗИСЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Марданов М.Дж.¹, Рзаев Р.Р.²

Аннотация. Предлагаются методы многокритериальной оценки альтернатив в условиях недостаточности информации. Для аналитической поддержки разработаны модели для компиляции приобретённых знаний путём адекватного перевода внешнего представления знаний о взвешенных суммарных оценках альтернатив, полученных на основе экспертных заключений, в эффективные внутренние представления в логическом базисе многослойной *feedforward* нейронной сети.

Ключевые слова. Экспертная оценка, коэффициент конкордации, компиляция знаний, нечёткое множество, нейронная сеть.

Введение. Многокритериальный выбор одной или нескольких альтернатив из некоторого набора составляет суть решения задачи принятия решений, которая на сегодняшний день является одной из самых распространённых в любой предметной области. При этом выбор метода решения такой задачи зависит от количества и качества релевантной информации. Однако применяемые для многофакторной оценки альтернатив аналитические, в том числе эконометрические модели и экспертные системы зачастую страдают сложностью информационного обеспечения и недостатками в количественных описаниях большинства факторов, необходимых для анализа оказываемых ими влияний на искомый результат. Более того, применяемые для многокритериальной оценки альтернатив модели и методы имеют как свои преимущества, так и недостатки. Поэтому на сегодняшний день оптимальным считается подход, который сочетает в себе лучшие стороны каждого из методов оценки, что позволяет более сбалансированно и объективно измерять, и интерпретировать конечные результаты.

В условиях отсутствия достаточного объёма количественных данных, формирующих числовое представление об оцениваемых альтернативах, информацию о критериях оценки, информацию о предпочтениях и информацию об окружающей среде, необходимых для многокритериальной оценки альтернатив, прибегают к применению экспертных систем, где основным ресурсом выступают эвристические знания. Однако экспертные системы подвергаются постоянной критике, т.к. они не способны выявить

внутренние причинно-следственные связи, характеризующих обоснованность выбора наилучшей альтернативы. Последнее, в частности, не позволяет обеспечить градацию конечных оценок альтернатив из имеющегося набора, т.е. определить соответствующие признаки для их классификации. Поэтому, исходя из этих предпосылок, становится очевидна важность и актуальность дальнейшего исследования методов многокритериальной оценки альтернатив в условиях неопределённости и/или недостаточности статистической информации.

Постановка задачи. Пусть $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ представляет собой совокупность факторов, оказывающих влияние на состояние (поведение) альтернатив из определённого набора $A=\{a_1, a_2, \dots, a_s\}$. Для согласованного отбора факторов x_i ($i=1 \div n$) привлекаются m экспертов из числа наиболее опытных профильных специалистов, каждый из которых формирует ранговую оценку отобранного i -го фактора ($i=1 \div n$) в виде r_{ij} и соответствующее ему нормированное значение оценки веса в виде w_{ij} , так чтобы для каждого $j=1 \div m$ выполнялось равенство: $\sum_{i=1}^m w_{ij} = 1$. Тогда оценку факторов x_i ($i=1 \div n$) осуществим на основе двух методов экспертной экспертизы: сравнительную качественную оценку – методом простого ранжирования (или методом предпочтений экспертов), и количественную оценку – методом задания соответствующих весовых коэффициентов (нормированных значений). Исходя из этих предпосылок необходимо определить степень согласованности экспертных оценок относительно приоритетности факторов x_i ($i=1 \div n$), их обобщённые веса и инициировать вывод взвешенного суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах, например, отрезка $[0; 100]$.

Для согласованной компиляции (*consistent compilation*) причинно-следственных связей между факторами влияния и суммарными индексами сравнения альтернатив, или, другими словами, с целью компиляции приобретённых знаний (*knowledge compilation*), путём перевода внешнего представления знаний о взвешенных суммарных оценках альтернатив, полученных на основе экспертных заключений, в эффективное (адекватное) внутреннее представление, необходимо разработать аналитическую модель в логическом базисе многослойной *feedforward* нейронной сети. Тестирование предлагаемого подхода осуществим на гипотетическом примере конечной совокупности альтернатив A , оцениваемых по результатам относительного влияния факторов из ограниченного набора X .

Ранжирование альтернатив на основе экспертных оценок факторов влияния. Каждую альтернативу a_r ($r=1 \div s$) из совокупности A будем рассматривать в виде многофакторной категории, т.е. категорией, характеризующейся комбинированной системой различных (в том числе и по природе) факторов влияния. Осуществим ранжирование альтернатив из заявленной совокупности A посредством количественных оценок факторов x_i ($i=1 \div n$), оказывающих на них существенное влияние. При этом

консолидированный индикатор оценки каждой альтернативы агрегирует относительное влияние рассматриваемого числа факторов (переменных) x_i ($i=1 \div n$) посредством взвешенного суммирования их экспертных оценок.

Процесс ранжирования альтернатив включает: 1) отбор факторов x_i ($i=1 \div n$), оказывающих существенное влияние на индикаторы оценок альтернатив; 2) идентификация весов отобранных факторов x_i ($i=1 \div n$), исходя из их относительного влияния на индикатор оценки альтернативы; 3) экспертная оценка факторов x_i ($i=1 \div n$) с применением экспертной шкалы, например, пятибалльной системы оценивания; 4) определение индексов, отражающих взвешенные количественные оценки альтернатив.

Ранжирование факторов влияния в порядках предпочтений экспертов. Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти профильных специалистов определены экспертные оценки степеней важности факторов x_i ($i=1 \div 5$), оказывающих относительное влияние на оценки заявленных альтернатив. Каждому эксперту предлагалось расположить переменную x_i по следующему принципу: наиболее важную переменную обозначить цифрой «1», следующую, менее важную – цифрой «2» и далее по убыванию степени важности. Полученные таким образом ранговые оценки сведены в **Таблицу 1**. Далее, чтобы установить степень согласованности экспертных заключений относительно приоритетности факторов влияния применим коэффициент конкордации Кендалла, демонстрирующий множественную ранговую корреляцию экспертных мнений. Согласно [1] этот коэффициент вычисляется по формуле:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

где m – число экспертов; n – число факторов влияния, а S – отклонение экспертных заключений от среднего значения ранжирования x_i ($i=1 \div 5$), которое вычисляется, например, по формуле [1]:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \frac{m(n+1)}{2} \right)^2, \quad (2)$$

где $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 5\}$ – ранг i -го фактора влияния, установленный j -ым экспертом.

В рассматриваемом случае значение коэффициента конкордации Кендалла, рассчитанного по формуле (1), при величине $S=1464$, вычисленной на основании (2) и данных из **Таблицы 1**, будет:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} = \frac{12 \cdot 1464}{15^2(5^3 - 5)} = 0.6507.$$

Таблица 1. – Экспертное ранжирование факторов влияния

Порядковый номер эксперта	Оцениваемые факторы и их ранговая оценка (r_{ij})				
	Обозначение и индексация факторов x_i ($i=1\div 5$)				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
01	2	1	4	3	5
02	1	3	2	4	5
03	2	1	5	4	3
04	1	2	4	5	3
05	2	1	3	4	5
06	1	2	4	3	5
07	2	1	4	3	5
08	1	2	3	5	4
09	1	3	2	4	5
10	1	3	2	5	4
11	1	3	4	2	5
12	1	2	3	5	4
13	2	1	4	3	5
14	3	1	2	4	5
15	1	2	5	4	3
$\sum_{j=1}^{15} r_{ij}$	22	28	51	58	66

Согласно [1], величина $W=0.6507$ свидетельствует о достаточно *сильной* согласованности экспертных заключений относительно степеней важности факторов x_i ($i=1\div 5$).

Идентификация весовых коэффициентов факторов влияния. Теперь предположим, что на предварительном этапе независимого анкетирования каждому эксперту также было поручено установить значения нормированных оценок весов факторов x_i ($i=1\div 5$). По результатам проведенного анкетирования, выставленные экспертами значения сведены в **Таблицу 2**.

Таблица 2. – Экспертные нормированные оценки весов факторов влияния

Порядковый номер эксперта	Нормированные значения весов факторов (α_{ij})				
	Обозначение и индексация факторов x_i ($i=1\div 5$)				
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
01	0.250	0.3	0.150	0.225	0.075
02	0.350	0.175	0.200	0.150	0.125
03	0.225	0.250	0.150	0.175	0.200
04	0.275	0.250	0.175	0.100	0.200
05	0.250	0.275	0.200	0.175	0.100
06	0.300	0.250	0.150	0.200	0.100

07	0.200	0.375	0.150	0.175	0.100
08	0.325	0.300	0.150	0.025	0.200
09	0.275	0.175	0.200	0.100	0.250
10	0.300	0.200	0.250	0.100	0.150
11	0.300	0.175	0.150	0.250	0.125
12	0.300	0.250	0.150	0.100	0.200
13	0.225	0.250	0.175	0.200	0.150
14	0.200	0.300	0.250	0.150	0.100
15	0.300	0.250	0.125	0.150	0.175
$\sum_{j=1}^{15} \alpha_{ij}$	4.075	3.775	2.625	2.275	2.250

Отправляясь от данных, представленных в **Таблице 2**, проведём предварительные расчёты для последующей идентификации весов факторов x_i ($i=1\div 5$). Для этого определим групповые оценки факторов и числовые характеристики (степени) компетентности каждого из 15-ти экспертов. В частности, чтобы вычислить среднюю величину α_i по i -ой группе нормированных оценок факторов x_i ($i=1\div 5$), воспользуемся уравнением вида:

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

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

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

где ε – допустимая точность расчётов, которая устанавливается заблаговременно. В данном случае пусть это будет $\varepsilon=0.0001$.

На начальном этапе $t=0$ будем полагать, что эксперты обладают одинаковыми степенями компетентности. Тогда, полагая для общего случая величину $w(0)=1/m$ начальным значением степени компетентности каждого эксперта, среднее значение по i -ой группе нормированных оценок весов факторов в первом приближении получим из частного равенства:

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

В соответствии с (5) усреднёнными оценками факторов x_i ($i=1\div 5$) по группам в 1-ом приближении будут следующие числа: $\{\alpha_1(1); \alpha_2(1); \alpha_3(1); \alpha_4(1); \alpha_5(1)\} = \{0.2717; 0.2517; 0.1750; 0.1517; 0.1500\}$. При этом не трудно заметить, что требование (4) для 1-го приближения не выполняется.

Поэтому, прежде чем перейти на следующий этап итерации вычислим нормирующий коэффициент $\eta(1)$ следующим образом:

$$\eta(1) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(1) \alpha_{ij} = 0.2717 \cdot 4.075 + 0.2517 \cdot 3.775 + 0.1750 \cdot 2.625 + \\ + 0.1517 \cdot 2.275 + 0.1500 \cdot 2.250 = 3.1990.$$

В этом случае показатели компетентности экспертов уже можно вычислить с помощью следующих равенств:

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

где $w_{15}(1)$ – показатель компетентности 15-го эксперта в 1-ом приближении. На основании выражений (6) в 1-ом приближении получены следующие показатели компетентности экспертов: $\{w_1(1); w_2(1); w_3(1); w_4(1); w_5(1); w_6(1); w_7(1); w_8(1); w_9(1); w_{10}(1); w_{11}(1); w_{12}(1); w_{13}(1); w_{14}(1); w_{15}(1)\} = \{0.0672; 0.0674; 0.0647; 0.0667; 0.0668; 0.0675; 0.0677; 0.0700; 0.0645; 0.0667; 0.0652; 0.0675; 0.0649; 0.0661; 0.0673\}$. В продолжении этого вычислим среднюю величину групповой оценки факторов влияния во 2-ом приближении по формуле (3), а точнее по её частному выражению: $\alpha_i(2) = \sum_{j=1}^{15} w_j(1) \alpha_{ij}$. В этом случае средними оценками факторов x_i по группам $i=1 \div 5$ во 2-ом приближении будут следующие числа: $\{\alpha_1(2); \alpha_2(2); \alpha_3(2); \alpha_4(2); \alpha_5(2)\} = \{0.2720; 0.2522; 0.1748; 0.1511; 0.1498\}$. Проверяя эти значения на выполнение условия (4) и убедившись, что оно вновь не выполняется:

$$\max_i \{|\alpha_i(2) - \alpha_i(1)|\} = \max\{|0.2720 - 0.2717|; |0.2522 - 0.2517|; |0.1748 - 0.1750|; \\ |0.1511 - 0.1517|; |0.1498 - 0.1500|\} = 0.0005 > \varepsilon,$$

приступим к вычислению нормирующего коэффициента $\eta(2)$:

$$\eta(2) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(2) \alpha_{ij} = 0.2720 \cdot 4.075 + 0.2522 \cdot 3.775 + \\ + 0.1748 \cdot 2.625 + 0.1511 \cdot 2.275 + 0.1498 \cdot 2.250 = 3.2004.$$

Тогда согласно (6) показателями компетентности экспертов во 2-ом приближении $w_j(2)$ ($j=1 \div 15$) будут соответствующие числа: $\{w_1(2); w_2(2); w_3(2); w_4(2); w_5(2); w_6(2); w_7(2); w_8(2); w_9(2); w_{10}(2); w_{11}(2); w_{12}(2); w_{13}(2); w_{14}(2); w_{15}(2)\} = \{0.0672; 0.0674; 0.0646; 0.0667; 0.0668; 0.0675; 0.0677; 0.0700; 0.0645; 0.0667; 0.0651; 0.0675; 0.0649; 0.0661; 0.0673\}$.

Применяя (3), а точнее её частный случай: $\alpha_i(3) = \sum_{j=1}^{15} w_j(2)\alpha_{ij}$, получены средние оценки факторов x_i по группам $i=1\div 5$ в 3-ем приближении в виде соответствующих чисел: $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3)\} = \{0.27205; 0.25218; 0.17481; 0.15113; 0.14982\}$. В этом случае точность групповых оценок x_i в 3-ем приближении:

$$\max_i \{|\alpha_i(3) - \alpha_i(2)|\} = \max\{|0.27205 - 0.27205|; |0.25218 - 0.25218|; |0.17781 - 0.17482|; |0.15113 - 0.15114|; |0.14982 - 0.14982|\} = 0.00001 < \varepsilon,$$

уже удовлетворяет условию (4), что является основанием для прекращения вычислений. Тогда значения оценок факторов x_i по группам $i=1\div 5$ в 3-ем приближении, т.е. числа $\{\alpha_i(3)\}$ ($i=1\div 5$) будут считаться их окончательными (консолированными) весами.

Определение взвешенных индексов альтернатив на основе экспертных оценок факторов влияния. Метод экспертных оценок предполагает обсуждение факторов x_i ($i=1\div 5$) группой специально привлечённых для этого специалистов из предметной области. Каждому из них предлагается в индивидуальном порядке оценить степень влияния факторов x_i на значения индексов допустимых альтернатив из конечного множества $A = \{a_1, a_2, \dots, a_s\}$, например, по пятибалльной шкале: 5 – ЧЕРЕСЧУР СИЛЬНОЕ; 4 – СУЩЕСТВЕННО СИЛЬНОЕ; 3 – СИЛЬНОЕ; 2 – СЛАБОЕ; 1 – НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ; 0 – ЧЕРЕСЧУР СЛАБОЕ.

Полученные таким образом экспертные оценки подвергаются анализу на предмет их согласованности (или противоречивости) по правилу: максимально допустимая разница между двумя экспертными заключениями по любому фактору x_i ($i=1\div 5$) не должна превышать 3. Данное правило позволяет отфильтровать недопустимые отклонения в экспертных оценках альтернатив по каждому конкретному фактору влияния. Выведение суммарного индекса, теоретически располагающегося в пределах от 0 до 100, можно осуществить посредством следующего критерия оценки:

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

где α_i – весовой коэффициент значимости фактора x_i , e_i – экспертная оценка альтернативы с точки зрения влияния i -го фактора по пятибалльной шкале. При этом, максимальный индекс означает консолидировано чересчур сильное влияние всех факторов. В **Таблице 3** представлены различные сценарии формирования индексов 30-ти альтернатив с применением критерия (7).

Таблица 3. – Сценарии формирования индексов альтернатив

Альтернатива	Веса факторов влияния					Индекс
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	
	0.27205	0.25218	0.17481	0.15113	0.14982	
01	5	5	5	5	5	100.00
02	4	4	4	4	4	80.00
03	3	3	3	3	3	60.00
04	2	2	2	2	2	40.00
05	1	1	1	1	1	20.00
06	0	0	0	0	0	0.00
07	5	4	4	3	3	82.29
08	3	1	4	2	4	53.37
09	2	3	3	1	2	41.11
10	2	3	2	4	3	51.95
11	3	4	2	2	4	57.74
12	2	3	1	2	3	41.84
13	4	3	4	3	2	66.42
14	1	3	2	3	1	41.61
15	4	2	3	2	2	58.46
16	2	1	3	2	1	35.63
17	5	3	4	3	3	74.19
18	4	3	5	5	5	81.36
19	2	4	3	2	3	57.10
20	2	3	3	3	1	50.18
21	5	3	4	4	3	76.14
22	3	2	1	1	3	39.53
23	5	3	4	3	5	77.08
24	4	4	3	2	3	70.02
25	4	3	5	5	5	84.72
26	3	1	2	2	3	42.75
27	3	1	1	2	3	38.91
28	2	2	0	1	0	24.97
29	2	2	0	1	0	24.53
30	3	4	5	5	5	82.91

Компиляция экспертно-количественных оценок альтернатив в логическом базисе нейронной сети. Экспертные системы обоснованно и часто критикуют за то, что в них не прослеживаются причинно-следственные связи. Количественный подход к оценке альтернатив позволяет сравнивать альтернативы, используя, единый числовой фактор, который суммирует относительное влияние определённого числа факторов посредством многофакторной функции $R=R(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Тем не менее, применяемые в принятии решений эконометрические модели вида R страдают сложностью обеспечения текущими источниками данных

факторов x_i ($i=1\div n$), большинство из которых являются слабо структурированными. Поэтому рабочую модель целесообразно представлять в виде «чёрного ящика», входы и выходы которого описываются нечёткими множествами [2].

В нашей задаче внешние знания о 30-ти альтернативах представлены информационной моделью вида: $\{(x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, x_{4j}, x_{5j}) \rightarrow y_j\}_{j=1}^{30}$ (**Таблица 3**), где y_j – количественный индекс j -ой альтернативы, рассчитанный по формуле (7), которая взвешенно суммирует консолидированные экспертные оценки относительного влияния пяти факторов. В простейшем случае, когда количественные оценки влияния факторов на альтернативы не вызывают сомнения, функцию R можно аппроксимировать трёхслойной feedforward нейронной сетью, индуцирующую на выходе сигналы вида:

$$z_j = \sum_{k=1}^m c_k \varphi[w_{ki}x_{ij} - \theta_k]; i = \overline{1,5}; j = \overline{1,30}, \quad (8)$$

где m – число нелинейных нейронов в скрытом слое, подбираемого пользователем в процессе симуляции; w_{ki} и c_i – веса входных и выходных синоптических связей, соответственно; θ_i – пороговое значение (смещение) k -го нелинейного нейрона из скрытого слоя; $\varphi(\cdot)$ – функция активации нелинейного нейрона из скрытого слоя, например, сигмоидального типа $\varphi(t)=1/(1+e^{-t})$. Однако сама задача и её решение выглядят гораздо сложнее, т.к. в общем случае сама природа факторов влияния и определение их относительного веса при суммировании итоговых индексов альтернатив, остаётся основной проблемой количественного метода оценки.

С учётом всех перечисленных сложностей, с которыми сталкиваются экспертные системы и эконометрические модели, решением многофакторной оценки альтернатив может стать система оценки, базирующаяся на специальном математическом ядре, одинаково свободно оперирующем объективными (количественными) и субъективными (качественными) величинами. Для формирования такого ядра воспользуемся системой нечёткого вывода в логическом базисе feedforward нейронной сети, полагая, что факторы влияния x_i ($i=1\div 5$), как лингвистические переменные (ЛП), хорошо известны, однозначно понимаемы и адекватно передают итоговую картину многофакторной оценки, обеспечивая, тем самым, принцип единства измерений. Поэтому, приняв сценарии формирования индексов альтернатив за обучающее множество (**Таблица 3**), осуществим его загрузку в редактор ANFIS типа Сугэно в нотации пакета MATLAB (**Рис.1**). Далее сгенерируем саму структуру системы нечёткого вывода типа Сугэно, для чего через диалоговое окно активируем «колоколообразные» функции принадлежности для нечёткого описания термов входных ЛП x_i ($i=1\div 5$) и выходной ЛП y (**Таблица 3**). В результате структура системы нечёткого

вывода в логическом базисе нейронной сети визуализируется так, как показано на **Рис.1**.

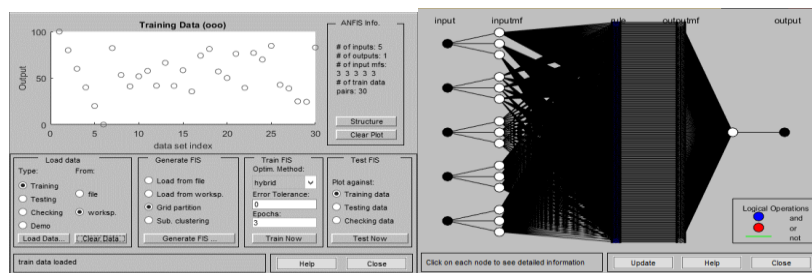


Рис.1 – Генерация системы нечёткого вывода в нотации MATLAB

Для структурной и параметрической оптимизации сгенерированной системы использован гибридный метод обучения, в результате которого, в частности, были оптимизированы функции принадлежности нечётких множеств, описывающих термы входных ЛП [2] (**Рис.2**).

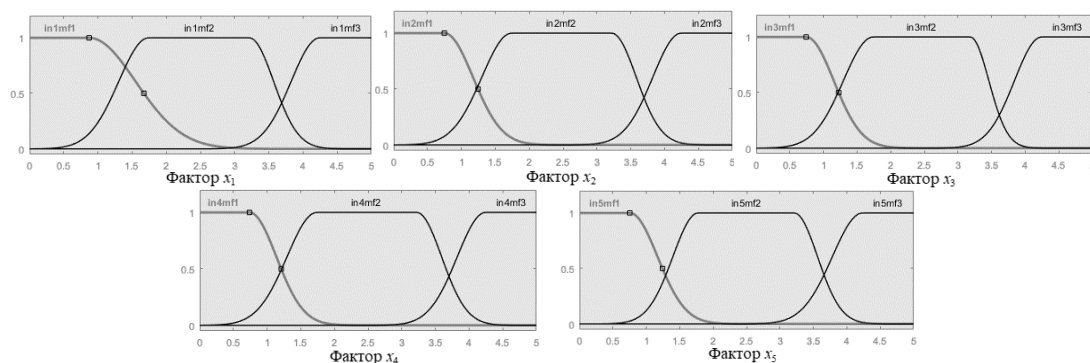


Рис.2 – Оптимизированные входные функции принадлежности

Таким образом, в процессе симуляции многокритериальной оценки альтернатив посредством редактора ANFIS в нотации MATLAB, удалось получить адекватную причинно-следственную связь между факторами влияния x_i ($i=1\div 5$) и суммарными индексами альтернатив. Графический интерфейс просмотра оптимизированного набора правил сгенерированной системы нечёткого вывода представлен на **Рис.3**, где, в частности, указана схожая с экспертной оценка 10-ой альтернативы как 51.9 (**Таблица 3**). Симуляция системы нечёткого вывода в логическом базисе пятислойной нейронной сети, показала, что она способна достаточно адекватно оценивать альтернативы не только из заявленного списка, но и за его пределами.

Заключение. Предлагаемый подход к оценке альтернатив может быть достаточно быстро и легко адаптирован под решение задачи многокритериальной оценки альтернатив из разных областей и для любого числа факторов влияния. Основным преимуществом этого подхода является его возможность выявлять внутренние закономерности процесса оценивания альтернатив и делать их транспарентными.

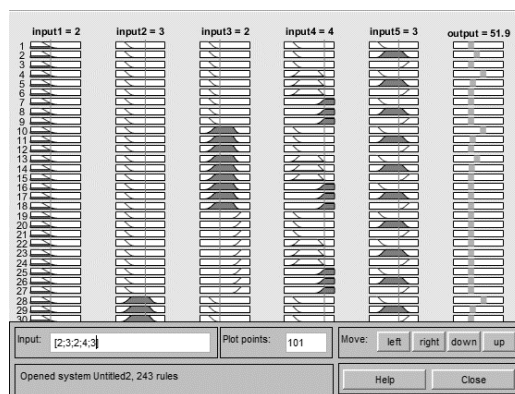


Рис.4 – Система нечёткого вывода в нейросетевом логическом базисе

Однако, для этого в первую очередь необходимо собрать достаточную статистику консолидированных экспертных оценок типовых альтернатив из контекстной области исследования.

Библиографический список

1. Lin A.S. Hedayat, and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement. – New York: Springer, 2012. – 173 p.
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.

Марданов Мисир Джумаил оглы, д-р физ.-мат. наук, проф., директор, misir.mardanov@imm.az, Азербайджан, Баку, Институт математики и механики НАН Азербайджана

Рзаев Рамин Рза оглы, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник, ramindirza@yahoo.com, Азербайджан, Баку, Институт систем управления НАН Азербайджана

METHODS OF MULTICRITERION ESTIMATION OF ALTERNATIVES IN THE LOGICAL BASIS OF NEURAL NETWORKS

M. J. Mardanov, R. R. Rzayev

Methods for multicriterion estimation of alternatives under information insufficiency are proposed. Analytical support models have been developed for compiling the acquired knowledge by adequately translating the external representation of knowledge about the weighted summary estimates of alternatives obtained on the base of expert conclusions into effective internal representations in the logical basis of a multi-layer feedforward neural network.

Key words: expert judgment, concordance coefficient, knowledge compilation, fuzzy set, neural network.

Mardanov Misir Jumail, doctor of physical and mathematical sciences, professor, director, misir.mardanov@imm.az, Azerbaijan, Baku, Institute of Mathematics, and Mechanics.

Rzayev Ramin Rza, doctor of technical sciences, professor, chief scientist, ramindirza@yahoo.com, Azerbaijan, Baku, Institute of Control Systems.

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

УДК 681.2.083

ВЛИЯНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ НА ЕЕ ЭНТРОПИЮ

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

Аннотация. Рассмотрен метод повышения точности измерений основанный на использовании многократных измерений. Приводятся выражения для определения плотности распределения случайной величины, обеспечивающей максимум энтропии. Приведен анализ влияния пределов изменения случайной величины на ее энтропию, показавший, что при равных интервалах функций, входящих в свертку энтропия имеет минимальное значение.

Ключевые слова. Энтропия, многократные измерения, повышение точности, случайная величина.

Повышение точности измерений позволяет получать машино-приборостроительную продукцию лучшего качества [1, 2]. Ужесточение требований к качеству продукции довольно часто происходит путем назначения более жестких требований к допускам на изготовление, что в свою очередь приводит к предъявлению высоких требований к точности измерения соответствующих параметров продукции. Следовательно, обеспечение требуемой точности измерений, выполняемых на различных стадиях производства продукции является важнейшей задачей, стоящей перед метрологическими службами предприятий. Повышение качества продукции, связанное в том числе с повышением точности измерений [3], также приводит к улучшению конкурентоспособности выпускаемых предприятием изделий. Проведенный анализ литературных источников можно показывает, что повышение точности измерений способствует развитию как отдельных отраслей народного хозяйства, так и мирового научно-технического прогресса в целом.

Сегодня на практике применяются методы повышения точности измерений, приведенные в рекомендациях по межгосударственной стандартизации РМГ 64-2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений» [4].

Одним из методов, приведенных в [4] является использование многократных измерений. Данный метод позволяет повысить точность

измерения, не прибегая к приобретению новых более точных средств измерения, что выгодно отличает его от других. Однако в этом случае возникает вопрос о необходимости определения минимально необходимого числа измерений, обеспечивающих заданную точность. Для этого в [5, 6] предлагалось определять число измерений исходя из плотности распределения погрешности средства измерения.

В большинстве случаев предполагается, что закон распределения погрешности прибора является нормальным. В ряде случаев это допустимо, а иногда это вносит значительные погрешности, так как погрешность прибора не может изменяться от минус бесконечности до плюс бесконечности. Нужно исходить из того, что пределы изменения случайной величины, которой является погрешность прибора, заданы в паспорте. В работах также предлагается определять плотность распределения исходя из максимума энтропии [7, 8, 9] случайной величины (для наихудшего случая), используя принцип максимума энтропии Джейнса [10].

Целью работы является анализ влияния пределов изменения случайной величины на ее энтропию.

В работе [5] предлагалось определять плотность распределения как решение следующей вариационной задачи: определить плотность $p(x)$, доставляющую экстремум функционалу

$$\max_{p(x)} \rightarrow \left\{ H_{\text{ошф}}(x) = - \int_a^b p(x) \cdot \log p(x) dx \right\},$$

при ограничениях:

$$\int_a^b p(x) dx = 1; \quad (1)$$

$$\int_a^b x^2 \cdot p(x) dx = \varepsilon^2. \quad (2)$$

Решение задачи имеет вид:

$$p(x) = e^{\mu_1 - 1} \cdot e^{\mu_2 \cdot x^2}, \quad a \leq x \leq b,$$

где μ_1, μ_2 – множители Лагранжа. Они определяются из условий (1), (2).

Решение задачи показывает, что максимум энтропии достигается при известном композиционном законе распределения [5], в соответствии с которым при $\sigma^2 > \frac{(b-a)^2}{12}$ он является двухмодульным, при $\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$ – равномерным, при $\sigma^2 < \frac{(b-a)^2}{12}$ – усеченным нормальным. Указанные случаи определяются знаком и величиной коэффициента λ_2 . Здесь a и b пределы изменения случайной величины.

Как известно, максимально возможное значение энтропии H_{max} достигается при $\sigma^2 = \frac{(b-a)^2}{12}$ и равно $H_{\text{max}} = \log(b-a)$. Проведенные эксперименты с индуктивным и растровым фотоэлектрическим преобразователем показали, что закон распределения их погрешностей является усеченным нормальным [11]. Этот случай обеспечивается при $\mu_2 < 0$.

Как показали исследования, приведенные в [12, 13], максимум энтропии достигается при суммировании случайных величин имеющих одинаковую дисперсию. Однако возникает вопрос как оказывают влияние на величину энтропии пределы изменения случайных величин, образующих свертку.

Рассмотрим влияние соотношения границ интервалов сосредоточения СВ α_1 и α_2 . Интервалы этих величин брались таким образом, чтобы их сумма после свертки была равна заданному значению. Графическая зависимость приведены на **Рис.1**.

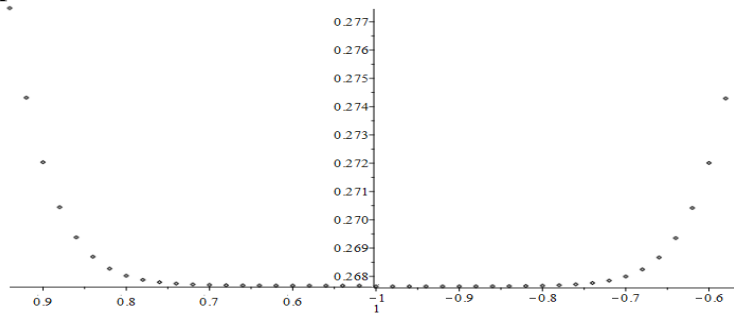


Рис.1 – Зависимость значений энтропии композиции двух СВ α_1 и α_2 от значений границ интервала функции

На **Рис.1** приведен пример для интервала равного двум. Как видно из рисунка при равных интервалах (на рисунке соответствует значению -1 (1)) энтропия будет минимальной. При уменьшении значения одного интервала и увеличении значения другого энтропия увеличивается.

Проведя анализ полученных данных можно сделать вывод о том, что максимальные значения энтропии могут быть получены при использовании одного интервала максимально близкого к суммарному значению, а интервал второй функции должен дополнять его.

Таким образом, значения дисперсий составляющих СВ α_1 и α_2 должны быть равны $d_1 = d_2$. Функции $p_1(y)$, $p_2(y)$ должны быть сосредоточены на интервалах с разными границами. Причем интервал существования функции $p_1(y)$ $\left[-a + \frac{\delta}{2}, b - \frac{\delta}{2}\right]$, а функции $p_2(y)$ $\left[-\frac{\delta}{2}, \frac{\delta}{2}\right]$

. Чем меньше δ , тем точнее результат. Окончательное решение может быть получено предельным переходом при $\delta \rightarrow 0$.

Библиографический список

1. Гаврилов Л.Н. Точность производства в машиностроении и приборостроении / Л.Н. Гаврилов Н.А. Бородачев, Р.М. Абрашитов. – М.: Машиностроение, 1973. – 567с.
2. Бруевич. Н.Г. Основы теории точности механизмов: монография / Н.Г. Бруевич, Е.А. Правоторова, В.И. Сергеев. – М.: Наука, 1988.
3. Фундаментальные проблемы теории точности. Коллектив авторов / Под ред. В.П. Булатова, И.Г. Фридлендера. — СПб.: Наука, 2001. — 504 с.
4. РМГ 64-2003 «ГСИ. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений»
5. Копп В.Я. Анализ дифференциальной энтропии при технических измерениях в Машино- приборостроении / В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.И. Балакин, О.В. Филипович // "Труды Одесского политехнического университета" научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам – выпуск 1(27) Одесса 2007. –С.214-218.
6. Копп В.Я. Оптимальная оценка числа измерений приборных систем/ К В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.И. Балакин, О.В. Филипович // 36. наук. праць СНУЯЕтаП. – Вип.1(21). - Севастополь: СНУЯЕтаП, 2007. – С.231 – 238.
7. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации. – М.: Высш. шк. 1989 – 320с.
8. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств /П.В. Новицкий. – Л.: Энергия, 1968. – 248 с.
9. Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991.
10. Джейнс Э.Т. О логическом обосновании методов максимальной энтропии/ Э.Т. Джейнс // Труды института инженеров по электротехнике и электронике, т. 70, №9, 1982, С. 33-51.
11. Копп В.Я. Оптимальная оценка числа измерений приборных систем / В.Я. Копп, А.А. Скидан, А.П. Васютенко // Вестник СевНТУ. Вып. 36: Автоматизация процессов и управление: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2002. – С. 75 – 80.
12. Копп В.Я. Анализ применимости усеченного нормального распределения при выборе оптимального числа многократных измерений/ В.Я. Копп, А.И. Балакин, М.В. Заморенов // Науковий вісник НГУ: сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2014. – №6. – С.143-149.
13. Копп В.Я. Анализ применимости композиционного закона при измерениях в машино-приборостроении / В.Я. Копп, А.И. Балакин //

Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, 2017. – № 4-1 (324). – С. 23-36.

Bibliograficheskiy spisok

1. Gavrilov L.N. Tochnost' proizvodstva v mashinostroyenii i priboro-stroyenii / L.N. Gavrilov N.A. Borodachev, R.M. Abrashitov. – M.: Mashinostroyeniye, 1973. – 567s.

2. Bruyevich. N.G. Osnovy teorii tochnosti mekhanizmov: monografiya / N.G. Bruyevich, Ye.A. Pravotorova, V.I. Sergeyev. – M.: Nauka, 1988.

3. Fundamental'nyye problemy teorii tochnosti. Kollektiv avtorov / Pod red. V.P. Bulatova, I.G. Fridlendera. — SPb.: Nauka, 2001. — 504 s.

4. RMG 64-2003 «GSI. Obespecheniye effektivnosti pri upravlenii tekhnologicheskimi protsessami. Metody i sposoby povysheniya tochno-sti izmereniy»

5. Kopp V.YA. Analiz differentsial'noy entropii pri tekhnicheskikh izmereniyakh v Mashino- priborostroyenii / V.YA. Kopp, A.A. Skidan, A.I. Balakin, O.V. Filipovich // "Trudy Odesskogo politekhnicheskogo universiteta" nauchnyy i proizvodstvenno-prakticheskiy sbornik po tekhnicheskim i yestestvennym naukam – vypusk 1(27) Odessa 2007. – S.214-218.

6. Kopp V.YA. Optimal'naya otsenka chisla izmereniy pribornykh sistem/ K V.YA. Kopp, A.A. Skidan, A.I. Balakin, O.V. Filipovich // Zb. nauk. prats' SNUYAYetaP. – Vip.1(21). - Sevastopol': SNUYAYetaP, 2007. – S.231 – 238.

7. Dmitriyev V.I. Prikladnaya teoriya informatsii. – M.: Vyssh. shk. 1989 – 320s.

8. Novitskiy P.V. Osnovy informatsionnoy teorii izmeritel'nykh ustroystv /P.V. Novitskiy. – L.: Energiya, 1968. – 248 s.

9. Novitskiy, P.V. Otsenka pogreshnostey rezul'tatov izmereniy / P.V. Novitskiy, I.A. Zograf. – 2-ye izd., pererab. i dop. – L.: Energoatom-izdat. Leningr. otd-niye, 1991.

10. Dzheyms E.T. O logicheskom obosnovanii metodov maksimal'noy entropii/ E.T. Dzheyms // Trudy instituta inzhenerov po elektrotekhni-ke i elektronike, t. 70, №9, 1982, S. 33-51.

11. Kopp V.YA. Optimal'naya otsenka chisla izmereniy pribornykh si-stem / V.YA. Kopp, A.A. Skidan, A.P. Vasyutenko // Vestnik SevNTU. Vyp. 36: Avtomatizatsiya protsessov i upravleniye: Sb. nauch. tr. – Se-vastopol', 2002. – S. 75 – 80.

12. Kopp V.YA. Analiz primenimosti usechennogo normal'nogo raspredeleniya pri vybore optimal'nogo chisla mnogokratnykh izmereniy/ V.YA. Kopp, A.I. Balakin, M.V. Zamorenov // Naukoviy visnik NGU: sb. nauch. tr. – Dnepropetrovsk, 2014. – №6. – S.143-149.

13. Kopp V.YA. Analiz primenimosti kompozitsionnogo zakona pri izmereniyakh v mashino-priborostroyenii / V.YA. Kopp, A.I. Balakin //

Fundamental'nyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii, 2017. – № 4-1 (324). – S. 23-36.

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

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

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

INFLUENCE OF THE LIMITS OF A RANDOM VALUE CHANGE ON ITS ENTROPY

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

The method of increasing the accuracy of measurements based on the use of multiple measurements is considered. Expressions are given for determining the density of the distribution of a random variable that ensures a maximum of entropy. An analysis is given of the effect of the limits of variation of the random variable on its entropy, which shows that for equal intervals of functions entering into the convolution, the entropy has a minimum value.

Keyword: entropy, multiple measurements, precision enhancement, random variable.

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

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

Balakina Natalia Anatolyevna, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, assistant, Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ С «КОЛЛЕКТИВНЫМ» ПОВЕДЕНИЕМ

Кудрявченко И.В.¹, Карлусов В.Ю.²

Аннотация. Рассматриваются методы измерения кинематических параметров объектов, составляющих «рой частиц» — множество мобильных интеллектуальных устройств с «коллективным поведением», предназначенных для решения общей задачи. Отмечается, что повышение точности взаимного позиционирования и эффективности внешнего управления достигается за счет кластеризации частиц роя на основе определения их барицентрических координат.

Ключевые слова. Барицентрические координаты, измерение кинематических параметров, коллективное поведение.

Современное развитие инфокоммуникационных технологий, робототехники, вычислительной техники и электронной компонентной базы позволяет перейти к качественно новому уровню автоматизации во всех значимых областях деятельности людей: производственной, транспортной, социальной. Весьма актуальной является проблема управления движением однотипных беспилотных транспортных средств, объединяемых в группы для решения общей задачи, которые, по аналогии с биологическими сообществами, часто называют «роем» [1]. Традиционно разделяют одно- и двумерные случаи, связанные с наземным транспортом и производственной инфраструктурой, а также трехмерные, которые применимы в авиации [2, 3].

В предшествующих публикациях авторов проводились исследования поведения объединяемых в рой мобильных интеллектуальных устройств (МИУ) на основе модели двумерного дискретного пространства с квадратным покрытием [4]. Такой подход позволяет решать вопросы, связанные с разработкой алгоритмов безопасного перемещения элементов роя и их кластеризации. При этом координаты точек дискретного пространства, в которых могут находиться МИУ, заданы и представляют собой целые числа, имеющие смысл характерных отрезков перемещений за единицу дискретного времени. В зависимости от габаритов элемента роя и максимально допустимой скорости его движения можно, при необходимости, переходить к значениям реальных перемещений.

Однако, в ранее рассмотренной модели за единицу времени все элементы роя могли перемещаться при отсутствии препятствий на единичные расстояния скачкообразно и в строго определенных направлениях. Очевидно, что в реальности надо учитывать непрерывность

движения элементов роя как по скорости, так и по направлению. Таким образом, для решения задачи автоматизации процессов управления движением беспилотных транспортных средств (автомобильных и авиационных), необходимо разработать методы измерения параметров движения МИУ, снимающие ограничения на поступательный характер движения элементов роя и их привязку к точкам дискретного пространства, а также обеспечивающие требуемую точность позиционирования МИУ внутри роя при минимальном участии в управлении движением человека-оператора.

Цель данной статьи — предложить методы измерения параметров движения МИУ на основе лазерных дальномеров, а также измерителей углов поворота и временных интервалов и оценить погрешности измерений.

Рассмотрим различные варианты измерения кинематических параметров подвижных объектов относительно неподвижных и подвижных объектов с заданными координатами. Уточним, что все подвижные объекты представляют собой МИУ, объединенные в общую беспроводную инфокоммуникационную сеть и снабженные датчиками углов поворота и определения дальности.

1. Определение местоположения подвижного объекта ОЗ с помощью двух других подвижных объектов (О1 и О2) с известными координатами (Рис.1).

В результате выполненных измерений были определены расстояния a^1 , b , c и рассчитаны проекции $\Delta y = y_{21} - y_{11}$ и $\Delta x = x_{11} - x_{21}$ на оси Oy и Ox . Требуется найти координаты ОЗ (x_{31} , y_{31}).

Используем обозначения **Рис.1**.

$$\gamma' = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \beta' = 180 - \gamma' - \alpha; \quad \alpha = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc};$$

$$\left. \begin{aligned} x_{31} - x_{11} &= c \cdot \cos \beta'; & x_{31} &= c \cdot \cos \beta' + x_{11}; \\ y_{31} - y_{11} &= c \cdot \sin \beta'; & y_{31} &= c \cdot \sin \beta' + y_{11}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

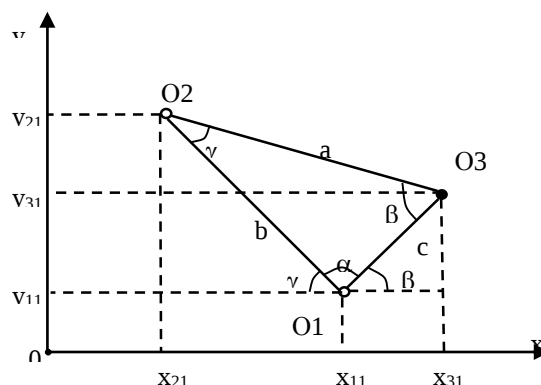


Рис.1 – К определению координат подвижного объекта ОЗ

¹ Расстояния a и c могут определяться как со стороны ОЗ, так и со стороны О1 (c) и О2 (a).

2. Представим себе шар радиуса R , который движется поступательно вдоль координатной оси, проходящей через его центр с произвольной скоростью $v(t)$ (**Рис.2**). Требуется найти расстояние от точки наблюдения 0 , расположенной на координатной оси, до центра шара, а также оценить мгновенные значения его скорости и ускорения в произвольные моменты времени, если измерительная система содержит равноотстоящие неподвижные однотипные фотодатчики², координаты которых известны, и системные часы, обеспечивающие погрешность измерения времени Δt .

В результате измерений получаем таблицу усредненных значений времени пересечения объектом оптических осей фотодатчиков, на основании которых можно составить уравнения движения объекта в конечных разностях и рассчитать требуемые кинематические параметры.

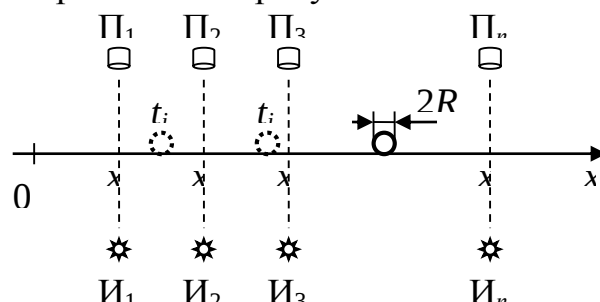


Рис.2 – Измерительная система в одномерном случае

3. Вдоль координатной оси перемещается n объектов ($n \geq 2$). Применяется та же измерительная система, что и в предыдущем случае. Тогда, в результате выполненных измерений, можно получить зависимости перемещений (**Рис.3**), скоростей (**Рис.4**) и ускорений для каждого из объектов.

4. Система, рассмотренная в п.3, может применяться и в двумерном случае, если оптические оси равноотстоящих фотодатчиков располагаются перпендикулярно координатной оси $0x$ как показано на **Рис.2**, а проекции перемещений объектов на ось $0y$ получают с помощью дальномеров источников $И_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

Отметим, что, несмотря на сравнительную простоту рассматриваемого в пунктах 3 и 4 метода измерений, он представляет практический интерес в связи с предстоящей реализацией современных проектов применения беспилотных транспортных средств на крупных предприятиях [5].

5. При значительных размерах роя актуальной становится задача оптимизации внешнего управляющего трафика. Для этого необходимо минимизировать число каналов внешнего управления. Решение может быть найдено за счет кластеризации роя, то есть иерархического разделения одноуровневой инфокоммуникационной сети на двух- или трехуровневую.

² Фотодатчики оснащены линзами, имеющими диаметры $d_n \ll R$.

В последнем случае МИУ, входящие в состав роя, разделяются на три подмножества: координирующего узла, маршрутизаторов и обычных элементов. С точки зрения минимизации погрешностей измерений должен быть обоснованно выделен центральный координирующий узел, который при необходимости сможет управляться оператором и координаты которого следует измерять с привязкой к реперным точкам или, используя глобальные навигационные системы. Все остальные элементы роя могут определять свои координаты относительно центрального узла с помощью маломощных дальномеров и датчиков углов поворота. Для того, чтобы выбрать центральный координирующий узел, необходимо рассчитать барицентрические координаты роя.

В случае прямоугольной системы координат для роя, содержащего n МИУ, координаты его центра могут быть найдены по формулам

$$x_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}; \quad y_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n}, \quad (2)$$

где x_i, y_i – координаты i -го МИУ;

$x_{\text{ц}}, y_{\text{ц}}$ – барицентрические координаты роя.

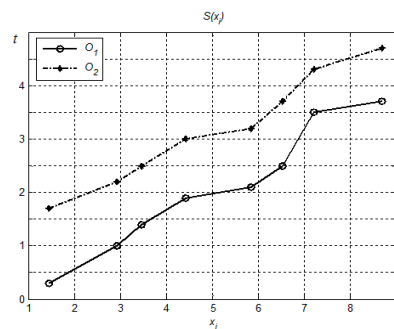


Рис.3 – Результаты расчёта перемещений ($n=2$)

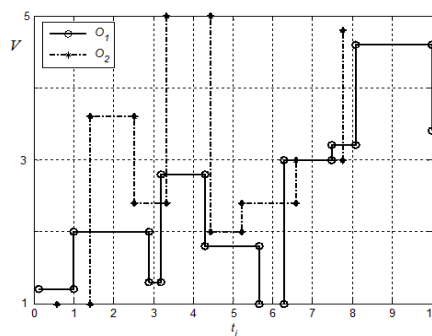


Рис.4 – Средние скорости объектов ($n=2$)

Далее определяются расстояния от текущего местоположения i -го МИУ до центра роя:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_{\text{ц}})^2 + (y_i - y_{\text{ц}})^2}. \quad (3)$$

Выбирая из найденных значений минимальное, назначают координирующего узла, который наиболее близко расположен к центру роя.

Аналогичный подход, который иллюстрирует **Рис.5**, можно применить и для полярной системы координат.

Рассмотрим «взвешивание» роя относительно выделенного направления от одного подвижного объекта к другому, например, относительно направления $O1 - O2$. Центр системы координат совмещен с объектом $O1$.

$$\sum_{O1-O2} = \bar{l}_{O2} \cdot \bar{d}_1 + \bar{l}_{O2} \cdot \bar{d}_2 + \bar{l}_{O2} \cdot \bar{d}_3 = d_1 + d_2 \cos \varphi_1 + d_3 \cos(\varphi_1 + \varphi_2) \quad (4)$$

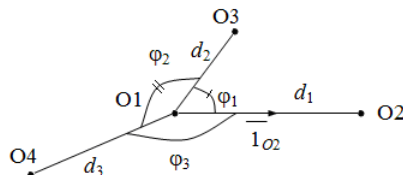


Рис.5 – Измерительная система для полярной системы координат

Аналогично рой можно взвесить относительно направлений $O1 - O3$ и $O1 - O4$. Как следует из формулы (4), «взвешивание» роя представляет собой суммирование скалярных произведений векторов, задающих положение внешних объектов относительно выбранного «наблюдающего» МИУ с известными координатами на орты, задающие направления от выбранного центрального МИУ к другим элементам роя. По результатам «взвешивания» определяются барицентрические координаты роя.

Оценим типичные значения погрешностей, которые привносят в результаты измерений стандартные инструментальные средства, применяемые для нахождения значений дальности, углов поворота и интервалов времени.

Современные инкрементальные энкодеры обеспечивают разрешение порядка 1024 и более импульсов на один оборот [6], что приводит к погрешностям измерений углов около двадцати угловых минут и погрешностям определения смещения МИУ в поперечном направлении порядка 1,2 м при размерах роя 200 м.

Погрешность определения расстояний с помощью импульсных лазерных дальномеров «дальней зоны» в диапазонах от сотен метров до десятков тысяч метров составляет порядка 10 м. Применение фазовых лазерных дальномеров «ближней зоны» в диапазонах измерений дальности от 5 сантиметров до сотен метров дают погрешности порядка $\pm 1,5$ мм [7].

Типовые значения погрешностей измерения временных интервалов могут составлять от 10^{-10} с до 10^{-7} с [8].

Для оценки погрешностей измерений по формулам (1) – (4) воспользуемся соотношением (5), которое основано на формуле полного дифференциала функции нескольких переменных:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}. \quad (5)$$

Полученные оценки погрешностей сведены в **Таблицу 1**.

Выводы.

Таким образом, в статье рассмотрены некоторые результаты исследования методов измерений кинематических параметров объединяемых в рой МИУ, основанных на применении лазерных дальномеров, измерителей угловых величин и временных интервалов. Основной акцент был сделан на методах измерения местоположения МИУ в одномерном и двумерном случаях и оценивании соответствующих погрешностей. Погрешности, связанные с временной составляющей в **Таблице 1** не рассматриваются, так как оценка их влияния на результаты измерений требует более полного учета всех параметров роя (его размеров, количества элементов, допустимых предельных скоростей и ускорений МИУ и т.д.). Вместе с тем, погрешности измерения временных интервалов современных измерителей позволяют в широком диапазоне значений задавать число отсчетов в единицу времени и таким образом обеспечивать заданную точность. Повышение точности измерения расстояний между объектами роя в двумерном случае достигается за счет разделения общей задачи на две подзадачи, которые решаются с помощью лазерных дальномеров дальней и ближней зоны. Методы измерения мгновенных скоростей и ускорений не были детально рассмотрены в статье в связи с ее ограниченным объемом. Указанные параметры могут быть определены по средним значениям скоростей и ускорений, получаемым из разностных уравнений.

Таблица 2. – Оценки погрешностей по формулам (1) – (4)

Исходная формула	Оценка погрешности
(1)	$\Delta f_1 = \sqrt{(\cos \beta' \cdot \Delta c)^2 + (c \cdot \sin \beta' \cdot \Delta \beta)^2 + (\Delta x_{11})^2};$ $\Delta f_1 \approx \sqrt{(\Delta c)^2 + (c \cdot \Delta \beta)^2 + (\Delta x_{11})^2}$
(2)	$\Delta f_{2x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad \text{или} \quad \Delta f_{2y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta y_i$
(3)	$\Delta f_3 = \sqrt{\frac{(x_i - x_u)^2 \cdot (\Delta x_i)^2 + (y_i - y_u)^2 \cdot (\Delta y_i)^2}{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2}};$ $\Delta f_3 \approx \sqrt{\frac{(\Delta x_i)^2 + (\Delta y_i)^2}{2}}$
(4)	$\Delta f_4 \approx \sqrt{(\Delta d_1)^2 + (\Delta d_2)^2 + (\Delta d_3)^2} \approx \sqrt{3}(\Delta d_1)$

В ходе дальнейших исследований планируется рассмотреть трехмерный случай и подробно проанализировать возможности измерения мгновенных скоростей и ускорений элементов роя.

Библиографический список

1. Кудрявченко, И.В. Описание двумерного роя частиц как объекта терминального управления / И.В. Кудрявченко // Инновационная наука – 2016. – №1, ч.2. – С.64–67.
2. Технологические барьеры дорожной карты Автонет НТИ (Письмо РГ Автонет No A-002/2018 от 15 января 2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nti.one/technology/docs/Tematiki_Razvitie_NTI%20Autonet.pdf, свободный. (Дата обращения: 14.05.2018 г.).
3. Тематики конкурса «Развитие НТИ» дорожной карты «Аэронет» в 2018 году (рекомендованы протоколом заседания Рабочей группы Аэронет от 2 февраля 2018 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nti.one/technology/docs/Tematiki_konkursa%20Razvitie%20NTI%202018%20Aeronet.pdf, свободный. (Дата обращения: 14.05.2018 г.).
4. Карлусов, В.Ю., Кудрявченко, И.В. Моделирование роя частиц в задаче поиска на дискретной плоскости с заданными ограничениями / В.Ю. Карлусов, И.В. Кудрявченко // Инновационная наука – 2017. – №4, ч.3. – С.74–80.
5. КАМАЗ «Одиссей» оставит водителей без работы: сайт Auto@mail.ru. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://auto.mail.ru/article/68755-kamaz_odisei_ostavit_voditelei_bez_raboty_foto/, свободный. (Дата обращения: 14.05.2018 г.).
6. Энкодеры: сайт Sensor Systems Solutions. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sensor-systems.ru/category_76.html, свободный. (Дата обращения: 14.05.2018 г.).
7. Лазерные приборы и методы измерения дальности: учеб. пособие /В.Б. Бокшанский [и др.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 92 с.
8. Измеритель временных интервалов: сайт журнала Контрольно-измерительные приборы и системы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=283328, свободный. (Дата обращения: 14.05.2018 г.).

Bibliograficheskiy spisok

1. Kudryavchenko, I.V. Opisaniye dvumernogo roya chastits kak obyekt terminalnogo upravleniya / I.V. Kudryavchenko // Innovatsionnaya nauka – 2016. – №1, ch. 2. –S.64–67.
2. Tekhnologicheskiye baryery dorozhnoy karty Avtonet NTI (Pismo RG Avtonet No A-002/2018 ot 15 yanvarya 2018) [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://nti.one/technology/docs/Tematiki_Razvitie_NTI%20Autonet.pdf, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).
3. Tematiki konkursa «Razvitiye NTI» dorozhnoy karty «Aeronet» v 2018 godu (rekommendovany protokolom zasedaniya Rabochey gruppy Aeronet ot 2 fevralya 2018 goda) [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://nti.one/technology/docs/Tematiki_konkursa%20Razvitie%20NTI%202018%20Aeronet.pdf, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).

NTI%202018%20Aeronet.pdf, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).

4. Karlusov, V.Yu., Kudryavchenko, I.V. Modelirovaniye roya chastits v zadache poiska na diskretnoy ploskosti s zadannymi ogranicheniyami / V.Yu. Karlusov, I.V. Kudryavchenko // Innovatsionnaya nauka – 2017. – №4, ch.3. – S.74–80.

5. KAMAZ «Odissey» ostavit voditeley bez raboty: sayt Auto@mail.ru. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://auto.mail.ru/article/68755-kamaz_odissei_ostavit_voditelei_bez_raboty_foto/, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).

6. Enkodery: sayt Sensor Systems Solutions. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.sensor-systems.ru/category_76.html, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).

7. Lazernye pribory i metody izmereniya dalnosti: ucheb. posobiye /V.B. Bokshanskiy [i dr.]. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2012. – 92 s.

8. Izmeritel vremennykh intervalov: sayt zhurnala Kontrolno-izmeritelnyye pribory i sistemy. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=283328, svobodnyy. (Data obrashcheniya: 14.05.2018 g.).

Кудрявченко Иван Владимирович, к.т.н., доцент, IVKudryavchenko@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет, кафедра Радиоэлектроники и телекоммуникаций,

Карлусов Вадим Юрьевич, к.т.н., доцент, KYYu_2015@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет, кафедра Информационных систем

MEASUREMENT OF MOBILE OBJECTS MOTION PARAMETERS WITH "COLLECTIVE" BEHAVIOR

I.V. Kudryavchenko, V.Yu. Karlusov

Methods for the kinematic parameters measuring of objects constituting a "swarm of particles" - a set of mobile intelligent devices with "collective behavior", which solves a common problem - are considered. It is noted that increasing the accuracy of mutual positioning and the effectiveness of external control is achieved through the clustering of the swarm particles based on the determination of their barycentric coordinates.

Key words: barycentric coordinates, measurement of kinematic parameters, collective behavior.

Kudryavchenko Ivan Vladimirovich, candidate of technical sciences, docent, IVKudryavchenko@sevsu.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University (33, University St., Sevastopol, 299053), Department of Radioelectronics and Telecommunications,

Karlusov Vadim Yurievich, candidate of technical sciences, docent, KYYu_2015@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University (33, University St., Sevastopol, 299053), Department of Informational System.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНИТЕЛЕЙ

Акулов П.А.¹, Петрешин Д.И.², Сырых А.Д.³

Аннотация. Электрические соединители в процессе производства проходят ряд испытаний, в том числе и измерение силы сочленения и расчленения. При этом применяются установки, которые не способны в полной мере обеспечить требуемые параметры испытаний. Автоматизация операции контроля сил сочленения и расчленения электрических соединителей позволяет снизить трудоемкость выполнения этой операции и максимально исключить влияние так называемого человеческого фактора. В данной статье предложена структура автоматизированной установки для контроля сил сочленения и расчленения электрических соединителей. Разработанный модуль управления позволяет однозначно установить требуемые параметры испытаний: скорость перемещения и требуемые зазоры, необходимые для полного смыкания и размыкания разъемов. Кроме того, данная установка позволяет протоколировать информацию об испытаниях.

Ключевые слова. Соединители, методы контроля, испытания, сила сочленения, сила расчленения, автоматический режим.

Качество поставляемых конечному потребителю электрических соединителей в значительной степени зависит от правильной постановки и организации испытаний на всех этапах проектирования и производства. Важность проводимых испытаний обуславливается тем, что современные радиоэлектронные системы, в состав которых входят электрические соединители, должны с высокой точностью, качеством и надежностью выполнять сложные функции [2]. В процессе производства электрический разъем проходит множество испытаний, в том числе – контроль силы сочленения и расчленения.

Силу сочленения-расчленения электрического соединителя принято определять как сумму сил сочленения-расчленения отдельных контактных пар, сил создаваемых центрующими, направляющими, фиксирующими, кодирующими и другими элементами конструкции соединителя с учетом погрешностей их расположения в соединителе.

Целью работы является повышение производительности и точности контроля силы сочленения и расчленения электрического соединителя за счет автоматизации процесса испытания.

Контроль сил сочленения-расчленения осуществляется любым методом, обеспечивающим измерение силы, направленной вдоль оси сочленения и расчленения.

Погрешность измерения не должна превышать $\pm 10\%$ [1].

Обычно, силу сочленения-расчленения электрических соединителей контролируют с помощью устройства обеспечивающего выполнения операции сочленения-расчленения с соблюдением всех требований, предъявляемых к данной контрольной операции.

С целью исключения влияния температуры и инерционных составляющих на объективность результатов замера сил, скорость перемещения вилок и розеток относительно друг друга должна составлять 10 мм/с, причем перемещение должно производиться без ускорений [2].

За величину силы сочленения-расчленения следует принимать среднеарифметическое значение пяти результатов последовательных измерений.

В настоящее время на многих отечественных предприятиях измерение силы сочленения и расчленения электрических разъемов проводится вручную при помощи специализированных установок [3], внешний вид которых представлен на **Рис.1**.



Рис.1 – Внешний вид установки для измерения суммарной силы сочленения-расчленения электрических соединителей

Алгоритм проведения испытаний заключается в следующем: соединители помещаются в соответствующие посадочные места, конструкция которых зависит от типа испытуемых разъемов, после чего оператор с помощью рукоятки осуществляет сочленение-расчленение испытуемой пары, визуально контролируя показания стрелочного динамометра, который отображает значение приложенной силы. Вполне очевидно, что применение ручного привода не может гарантированно обеспечить скорость сочленения-расчленения 10 мм/сек, которая регламентирована ГОСТ 23784 [1], а так же не гарантирует полного смыкания разъемов при проведении испытаний. Кроме того, применяемые динамометры являются однонаправленными, т.е. способны регистрировать прилагаемую силу только в одном направлении, вследствие чего, для регистрации силы сочленения и расчленения соединителей применяются различные модификации установок. В связи с этим, возникает идея

разработки автоматической установки, которая бы обеспечивала гарантированную скорость и смыкание разъемов. Структура данной установки приведена на **Рис.2**.

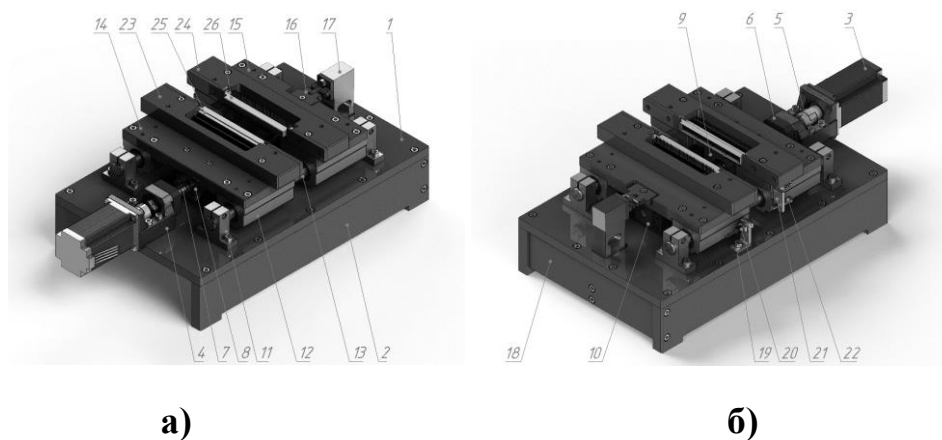


Рис.2 – Установка контроля сил сочленения-расчленения электрических соединителей: а) вид спереди; б) вид сзади

Данная установка конструктивно состоит из базовой механической части и сменной оснастки для конкретного типа испытуемых разъемов.

Базовая механическая часть состоит из основания (1) с боковиной (2) и поперечиной (18), и подвижной (14) и неподвижной базовых плит (15). Подвижная базовая плита приводится в движение ходовым винтом (7) с помощью шагового двигателя (3), который крепится к основанию при помощи кронштейна (4). Неподвижная базовая плита связана с тензометрическим датчиком (17), сигнал которого используется для измерения силы сочленения и/или расчленения испытуемых разъемов. Расположение неподвижной и подвижной базовых плит на одних и тех же направляющих (13) обеспечивает высокую точность перемещения подвижной базовой плиты относительно неподвижной, связанной тензометрическим датчиком, что способствует повышению точности измерений.

На каждой базовой плите (подвижной и неподвижной) установлено специализированное посадочное место – обойма (23, 24), соответствующее типу испытуемого разъема. Благодаря применению штифтовой посадки с фиксацией винтами в обоймах установка и их закрепление на базовых плитах занимает не более 20 секунд с гарантированной точностью позиционирования 0.06 мм.

Соединение неподвижной базовой плиты с тензометрическим датчиком силы при помощи кулисного механизма (16) позволяет скомпенсировать изгиб тензометрического датчика при перемещении базовых плит, что позволяет повысить точность проведения измерений сил сочленения и расчленения испытуемых соединителей.

Применение в качестве ходового винта шарико-винтовой передачи (ШВП) с приводом от шагового двигателя для перемещения подвижной базовой плиты позволяет значительно повысить точность перемещения при достаточно высоком КПД (87%). Управление приводом позволит однозначно контролировать взаимное расположение и скорость перемещения подвижной базовой плиты относительно неподвижной и прекратить процесс перемещения при фиксации тензометрическим датчиком величины силы, превышающей максимально допустимые значения.

Модуль управления [4] с базой данных идентификаторов позволяет однозначно установить требуемые параметры проведения измерений: скорость перемещения и требуемые зазоры, необходимые для полного сочленения разъемов для соответствующего типа испытуемых соединителей. Таким образом, модуль управления с базой данных идентификаторов для требуемого набора соединителей, которым соответствуют обоймы, обеспечивает точность стыковки соединителей.

Выбор двигателя определяется максимальной силой, которую необходимо развивать, и возможностью осуществлять управляемое вращение с требуемой скоростью, направлением и точностью по командам от модуля управления.

В случае необходимости реализовать большие силы при сочленении и расчленении, с целью устранить возможный «пропуск шагов» и тем самым увеличить точность перемещения, на валу ШВП может быть установлен дополнительно инкрементальный датчик, фиксирующий угловые перемещения с высокой точностью.

Вал шагового двигателя соединен с ходовым винтом через муфту (5). Ходовой винт закреплён в неподвижных фиксирующих опорах (6, 10). Гайка ШВП (8), крепящаяся через корпус ходового винта (9) к подвижной базовой плите, предназначена для преобразования вращательного движения вала шагового двигателя в поступательное.

Возможность скольжения подвижной плиты реализовано при помощи модулей с линейным подшипником (12) по направляющим, закреплённым в держателях (11). Неподвижная плита также опирается на направляющие.

Разработанное устройство работает следующим образом: испытуемые разъемы (вилку (25) и розетку (26)) помещают в специализированную оснастку – обойму. Затем одна обойма, расположенная на подвижной базовой плите, приводится в движение по командам от модуля управления, а вторая часть, расположенная на неподвижной базовой плите, передаёт силу, создаваемую при сочленении и расчленении вилки и розетки, на тензометрический датчик. Калибровка начального положения установки осуществляется при помощи концевого выключателя (20) и микрометрического минивинта (22), которые закрепляются в специальных кронштейнах (19, 21).

Управление перемещением подвижной базовой плиты осуществляется контроллером шагового двигателя по командам от модуля управления и индикации.

Блок-схема предлагаемой автоматизированной установки контроля силы сочленения-расчленения электрических соединителей представлена на Рис.3.

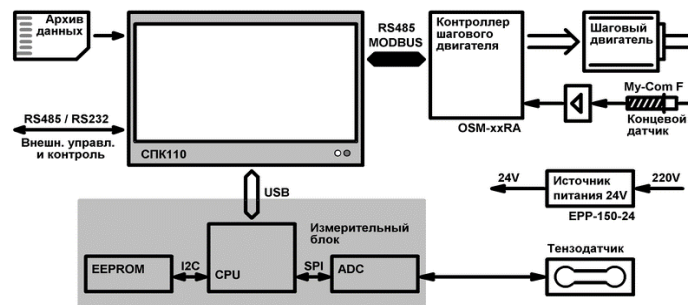


Рис.3 – Блок-схема автоматизированной установки контроля силы

Сигнал тензометрического датчика оцифровывается специализированным АЦП, результаты которого обрабатываются модулем управления и индикации, снабжённым микропроцессором. В зависимости от текущего режима работы и полученных данных о величине силы, по командам от модуля управления и индикации осуществляют протоколирование результатов измерений, изменение направления и скорости перемещения.

Взаимодействие между модулем управления и индикации и измерительным модулем осуществляется по USB-шине, а между модулем управления и индикации и контроллером шагового двигателя – по протоколу MODBUS-RTU шины RS-485.

При смене типа испытуемого разъема, т.е. иной конструкции крепления испытуемого разъема в обойме, производят смену специализированного посадочного места на соответствующее типу испытуемого разъёма и осуществляют начальную калибровку установки.

Обоймы для каждого типа испытуемых разъемов имеют идентификатор, сообщаящий установке характеристики данного типа: максимально допустимую силу, скорость перемещения при проведении контрольных измерений сил, дистанцию, на которой необходимо осуществлять контроль сил и др.

Таким образом, разработанная установка позволяет в автоматическом режиме проводить измерение сил сочленения, и сил расчленения соединителей в одном цикле и с требуемыми режимами испытаний, что способствует повышению точности и производительности процесса измерения, а также исключает действие человеческого фактора. Унификация посадочных отверстий в базовых плитах и обоймах значительно упрощает процесс смены оснастки для различных типов испытуемых разъемов.

Библиографический список

1. ГОСТ 23784 «Соединители низкочастотные низковольтные и комбинированные». Технические условия – М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 24 с.
2. Сафонов, А.Л. О некоторых аспектах разработки и производства электрических соединителей/ А.Л. Сафонов, Л. Сафонов. – Спб: Изд-во ООО «Медиа Группа Файнстрит», 2015. – 295 с.
3. Патент РФ № 2009146104/22, 11.12.2009. Установка для измерения усилия расчленения соединителей// Патент России № 93532. 2010. Бюл. № 12. / Левин М. З., Уланов М. В., Давидчук А. Г. [и др.].
4. Акулов, П.А. Автоматизированная установка измерения силы сочленения и расчленения единичного контакта электрического соединителя/ П.А. Акулов, Д.И. Петрешин// Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. - № 5 (58). - С. 66-72.

Bibliograficheskiy spisok

1. GOST 23784 «Soyediniteli nizkochastotnyye nizkovoltnyye i kombinirovannyye». Tekhnicheskiye usloviya – M.: IPK Izdatelstvo standartov. 1998. – 24 s.
2. Safonov. A.L. O nekotorykh aspektakh razrabotki i proizvodstva elektricheskikh soyediniteley/ A.L. Safonov. L. Safonov. – Spb: Izd-vo ООО «Media Gruppa Faynstrit». 2015. – 295 s.
3. Patent RF № 2009146104/22. 11.12.2009. Ustanovka dlya izmereniya usiliya raschleneniya soyediniteley// Patent Rossii № 93532. 2010. Byul. № 12. / Levin M. Z., Ulanov M. V., Davidchuk A. G. [i dr.].
4. Akulov. P.A. Avtomatizirovannaya ustanovka izmereniya sily sochleneniya i raschleneniya edinichnogo kontakta elektricheskogo soyedinitelya/ P.A. Akulov. D.I. Petreshin// Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2017. - № 5 (58). - S. 66-72.

Акулов Павел Александрович, аспирант, akulov.paul@mail.ru, Россия, Брянск, Брянский Государственный Технический университет,

Петрешин Дмитрий Иванович, д-р техн. наук, доц., дир. УНТИ, dipetreshin@yandex.ru, Россия, Брянск, Брянский Государственный Технический университет,

Сырых Андрей Дмитриевич, инженер, Andrew@syrykh.com, Россия, Брянск, Общество с ограниченной ответственностью «КОНСТРУКТОР»

AUTOMATION OF ELECTRICAL CONNECTORS TESTS

P. A. Akulov, P. I. Petreshin, A. D. Syrykh

In the production process electrical connectors pass a series of tests, including measuring the force of joint and disjoint. In this case devices which are not able to fully provide the required test parameters are used. Automation of the operation of the controlling of the forces of joint and disjoint of electrical connectors allows to reduce the laboriousness of performing this operation and to exclude as much as possible the influence of so-called human factor. This article contains the structure of the automated system for the control of the forces of joint and disjoint of electrical connectors. The developed control module allows uniquely obviously to set the required test parameters: speed of movement and required gaps which are necessary for full joint and disjoint of connectors. In addition system allows to log test information.

Key words: electrical connector, control methods, testing, force of joint, force of disjoint, auto mode.

Akulov Paul Aleksandrovich, post graduate student, akulov.paul@mail.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Petreshin Pmitry Ivanovich, doctor of technical sciences, docent, Director of Educational-Scientific Technological Institute, dipetreshin@yandex.ru, Russia, Bryansk, Bryansk State Technical University,

Syrykh Andrey Dmitrievich, engineer, Andrew@syrykh.ru, Russia, Bryansk, LTD «COSTRUCTOR»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ ЭЖЕКТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Волошина Н.А.¹, Балакина Н.А.²

Аннотация. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований динамических характеристик первичных плоских эжекторных преобразователей. Описана методика проведения эксперимента. В результате исследования АЧХ плоских эжекторов выявлена зависимость постоянной времени от значения суммарного объема камер преобразователя, получена зависимость для расчёта постоянной времени, которая учитывает влияние конструктивных параметров преобразователя и рабочего питания.

Ключевые слова. Плоский эжектор, динамическая характеристика, постоянная времени, быстродействие.

Пневматические средства измерения, получившие широкое применение при автоматизации контроля в машиностроении во второй половине XX века, сегодня по-прежнему продолжают использоваться для контроля геометрических параметров. Они остаются практически незаменимыми при контроле во взрывоопасных средах, в условиях, когда измерительное устройство подвержено действию сильных магнитных, электрических, радиоактивных полей и там, где требуются крайне малые габариты чувствительных элементов. Пневматические приборы, как известно, имеют много достоинств – высокая точность измерения, возможность суммирования сигналов, возможность осуществления дистанционных измерений, конструктивная простота, возможность осуществления бесконтактных измерений и т.д. [1-7].

Одним из недостатков пневматического принципа действия является большая инерционность, которая способствует возникновению особого рода составляющих суммарной погрешности измерения – динамических погрешностей. Инерционные свойства пневматических преобразователей в основном определяются скоростью изменения давления воздуха в измерительной камере при изменении измерительного зазора.

Пневматический первичный преобразователь в динамическом режиме представляет собой аperiodическое звено первого порядка, которое описывается дифференциальным уравнением [8]

$$T \frac{dx_2(t)}{dt} + x_2(t) = kx_1(t).$$

Передаточная функция преобразователя имеет вид

$$W(p) = \frac{x_2(p)}{x_1(p)} = \frac{k}{1 + Tp},$$

где $x_2(p)$, $x_1(p)$ – изображение по Лапласу входной и выходной величин, $p = \frac{d}{dt}$ – оператор дифференцирования, T – постоянная времени, k_1 – коэффициент передачи.

Постоянная времени является характеристикой инерционности преобразователя, которая увеличивается с ростом объема измерительной камеры и с увеличением рабочего давления, поскольку при этом увеличивается общая масса воздуха, участвующая в процессе измерения. Кроме того, на увеличение постоянной времени оказывает влияние уменьшение скорости истечения воздуха через входное сопло при уменьшении его диаметра.

Многими исследованиями показано, что уменьшение рабочего давления и увеличение диаметра входного сопла способствует улучшению динамических характеристик преобразователя, но приводит к ухудшению их статических точностных показателей за счет снижения чувствительности. Поэтому, основным методом уменьшения динамических погрешностей и повышения быстродействия пневматических преобразователей является уменьшение объема измерительной камеры.

Время срабатывания, под которым обычно понимают сумму времени успокоения и времени, затрачиваемого на формирование командного импульса, является динамической характеристикой пневматических измерительных средств при контроле постоянного во времени размера. При этом время успокоения определяется постоянной времени преобразователя и составляет обычно $(3-4)T$.

При проектировании приборов автоматического контроля для непрерывного контроля размера, изменяющегося во времени, что имеет место при непрерывном контроле овальности детали, огранки, биения, эксцентриситета и т.д., необходимо знать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ), представляющую собой зависимость амплитуды колебания чувствительного органа преобразователя от частоты изменения размера.

Для пневматических преобразователей АЧХ имеет следующее аналитическое выражение:

$$\frac{A_{\omega}}{A_c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 T^2}}, \quad (1)$$

где $\frac{A_{\omega}}{A_c}$ – частотная характеристика, T – постоянная времени, ω – частота воздействия.

Обычно в качестве аргумента этой характеристики берут синусоидально изменяющийся зазор, что соответствует довольно частому на практике случаю овальных, трехгранных и др. деталей. В этом случае функцию представляют в виде отношения динамической амплитуды колебания к статической амплитуде,

определяемой при достаточно медленном – квазистатическом изменении этого размера.

В настоящее время широко исследованы динамические характеристики сильфонных, мембранных преобразователей и приборов ротаметрического типа. Значительно меньше исследованы динамические характеристики дроссельных и дроссельно-эжекторных преобразователей. Отсутствует информация об исследовании динамических характеристик плоских эжекторных преобразователей высокого давления. Вместе с тем, исследование динамических характеристик плоских эжекторных преобразователей и оценка их влияния на производительность измерений представляет интерес, поскольку они в сочетании с вторичными струйными, малогабаритными пневмоиндуктивными преобразователями имеют значительно меньший объем измерительной камеры, чем у таких преобразователей как сильфонные, мембранные и др.

В качестве объекта исследования был принят плоский эжекторный преобразователь с выносным соплом [9]. Экспериментальные исследования охватили такие типоразмеры плоских эжекторов, у которых отношение площадей проходного сечения выходного сопла к входному $\frac{F_2}{F_1}$ находилось в

диапазоне от 1,0 до 2,0. Каждый типоразмер плоского эжектора был выполнен в трех экземплярах. В качестве выносного сопла использовалось наиболее часто применяемое цилиндрическое сопло, диаметром 2,0 мм, проходной канал которого был выполнен по классу допуска $H7$.

Динамические характеристики снимались для четырех плоских эжекторных преобразователей с отношением площадей выносного F и входного F_1 сопл $\frac{F}{F_1}$ равным 2,37; 2,85; 3,56; 5,71, соответственно для четырех

измерительных давлений: $P_H = 0,30$ МПа; $P_H = 0,25$ МПа; $P_H = 0,20$ МПа; $P_H = 0,15$ МПа.

Выносное сопло плоского эжектора устанавливалось над доведенной поверхностью кулачка, который обеспечивал синусоидальное изменение зазора. Кулачок крепился на высокоточном шпинделе, биение которого не превышало 0,002 мм. Число оборотов шпинделя устанавливалось с помощью специального привода и регистрировалось фотоэлектрическим счетчиком оборотов.

Величина среднего значения зазора и амплитуда его колебаний выбиралась в соответствии с линейным участком статической характеристики преобразователя, тем самым обеспечивая при одних и тех же условиях в процессе эксперимента постоянную чувствительность.

Периодически изменяющееся давление воздуха в измерительной камере плоского эжектора, за счет периодического изменения зазора на выходе, вызывало периодическое перемещение мембраны вторичного малогабаритного пневмоиндуктивного преобразователя, которое воспринималось усилительно-преобразующим блоком и передавалось на самописец, позволяющий в

определенном масштабе записывать диаграмму изменения амплитуды во времени при заданной частоте изменения входной величины.

Для изменения объема измерительной камеры преобразователя использовалось специальное устройство, которое позволяло изменять объем измерительной камеры от 20 см^3 до 200 см^3 через каждые 10 см^3 . Объем между выходным соплом плоского эжектора и выносным соплом изменялся за счет длины увеличения соединительного шланга, соответственно от $0,15 \text{ м}$ до $5,5 \text{ м}$.

Такая установка позволила снимать динамические характеристики с погрешностью не более $\pm 6\%$. Однако, при малых оборотах шпинделя (до $0,5 \text{ Гц}$), погрешность установки была несколько больше из-за неравномерности вращения двигателя на малых оборотах.

На **Рис.1** представлены графики амплитудно-частотных характеристик плоского эжекторного преобразователя, полученные при соблюдении указанных выше условий.

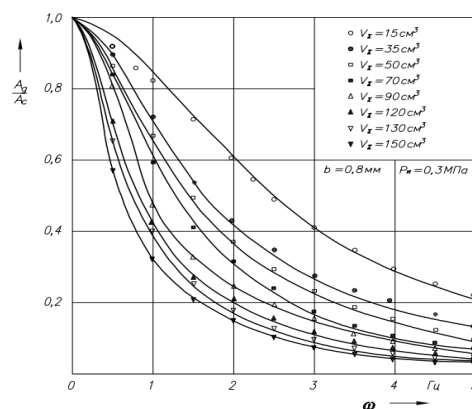


Рис.1 – Амплитудно-частотные характеристики

При построении графиков по оси абсцисс откладывались частота ω вращения кулачка экспериментальной установки, а по оси ординат – упомянутое выше отношение $\frac{A_d}{A_c}$ динамической амплитуды к статической амплитуде. В

качестве постоянных параметров на графиках обозначены $V_{\Sigma} = V_k + V_{ш}$, где V_k – объем измерительной камеры плоского эжектора, а $V_{ш}$ – объем шланга, соединяющего выносное сопло с плоским эжектором.

Для проверки адекватности математической модели (1) преобразователя были построены его теоретические частотные характеристики, которые на графике изображены сплошной линией. Как видно из графиков, величина относительного отклонения расчетной кривой от экспериментальной не превышает 6% . Правда, при частоте близкой к 5 Гц данная относительная погрешность несколько возрастает по величине. При частоте, близкой к верхнему пределу, прибор начинает вносить нелинейные искажения.

По абсолютной величине расхождения между теоретическими и экспериментальными кривыми наиболее значительны при малых оборотах двигателя и при малых объемах камер. Первая из этих погрешностей вызвана

неравномерностью вращения двигателя на малых оборотах. Вторая – тем, что при малых объемах камер значительную часть объема составляет объем соединительного шланга.

Результаты экспериментов показали, что постоянная времени T , вычисленная по формуле (1) зависит от давления питания P_H и от отношения площадей выносного и выходного сопл $\frac{F}{F_1}$. На **Рис.2** представлены зависимости постоянной времени от объемов камер преобразователя $T = f(V_K + V_{ш})$ при различных метрологических характеристиках плоского эжектора.

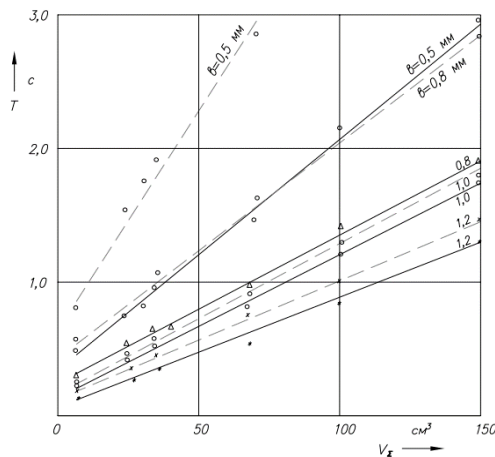


Рис.2 – Зависимости постоянной времени от суммарного объема

На основании анализа этого графика можно сделать вывод, что постоянная времени T в зависимости от изменения объемов V_{Σ} носит практически линейный характер и достаточно точно аппроксимируется уравнением прямой

$$T = A(V_K + V_{ш}) + B. \quad (2)$$

Коэффициенты A и B являются функциями двух переменных, т.е. в качестве факторов принимаются отношение площадей $\frac{F}{F_1}$ и давление питания

P_H , $A = 0,0027 + 0,049P_H$, $B = 1,3P_H + 0,155 \frac{F}{F_1} - 0,452$. Подставив значение коэффициентов A и B в уравнение (2) получим расчетную формулу для определения постоянной времени T вида:

$$T = (1,3 + 0,049V_{\Sigma})P_H + 0,155 \frac{F}{F_1} - 0,452.$$

Таким образом, подставив значение постоянной времени в уравнение (1) получим эмпирическую зависимость для описания амплитудно-частотных характеристик плоских эжекторных преобразователей

$$\frac{A_0}{A_c} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega[(1,3 + 0,049V_\Sigma)P_H + 0,155\frac{F}{F_1} - 0,452]^2}}.$$

На **Рис.3** представлены экспериментальная и теоретическая амплитудно-частотные характеристики.

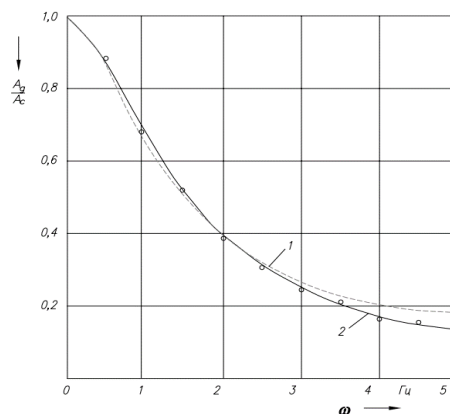


Рис.3 – Амплитудно-частотная характеристика
1 – теоретическая, 2 – экспериментальная

Зависимость для определения постоянной времени обеспечивает возможность расчета АЧХ с погрешностью, не превышающей 15% при давлении питания $P_H < 0,20$ МПа и с погрешностью, не превышающей 25% при $P_H > 0,20$ МПа. В зависимости от параметров пневматической измерительной системы с первичным плоским эжекторным преобразователем время срабатывания составляет 0,2 – 0,4 с, что на порядок меньше времени срабатывания традиционных пневматических систем.

Библиографический список

1. Высоцкий А.В., Курочкин А.П. Пневматические средства измерений линейных величин в машиностроении / А.В. Высоцкий, А.П. Курочкин. – М.: Машиностроение, 1979. – 206 с.
2. Дневник науки [Электронный ресурс]. – Анализ современного состояния пневматических средств измерения линейных величин в машиностроении – Научно-исслед. журнал «Дневник науки», 2017, №4. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/4/technics/Plakida_Voloshina.pdf (Дата обращения 26.04.2017).
3. Плакида С.И. Пневматические измерения геометрических параметров и перспектива их развития / С.И. Плакида, Н.А. Волошина // материалы междунар. науч.-техн. конф. «Автоматизация, приборостроение: проблемы, решения» Севастополь, 11-15 сент. 2017 г. – Севастополь: СевГУ, 2017. – С. 107 – 108.
4. Пат. 2397441 Рос. Федерация. МКИ G 01 B 13/02. Устройство измерения размера детали [Текст] / Мурашов В.М. и др.; патентообладатель Учреждение

- Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (RU) – № 2008150834/28; заявл. 22.12.2008; опубл. 20.08.2010, Бюл. № 23. 6 с.: ил.
5. Мурашов, В.М. Пневматический длиномер высокого давления ротаметрического типа (ротаметр) "Аэротест-Р" / В.М. Мурашов // Датчики и системы. – 2005.– №12. – С. 56 – 63.
6. Пат. 2464530 Рос. Федерация. МПК G01B013/00, B07C005/00. Контрольно-сортировочный комплекс [Текст] / Мурашов В.М., Шигалева А.И., Мишкин А.В., Филиппов А.П.; заявитель и патентообладатель ЗАО "РС-Лизинг" (RU) – № 2010146512/28; заявл. 15.11.2010; опубл. 20.10.2012.
7. Пат. ПМ 2301401 Рос. Федерация. МПК G 01 B 13/00. Устройство для пневматического измерения отклонения от прямолинейности оси отверстия [Текст] / Мурашов В.М.; патентообладатель ЗАО "РС-Лизинг" (RU) – № 2004125194/28; заявл. 17.08.2004; опубл. 20.04.2006.
8. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бессекерский, Е.П. Попов – М.: Наука, 1966. – 992 с.
9. А. с. 1469347 СССР: МКИ G 01 B 13/00. Плоский дроссельно-эжекторный преобразователь линейного размера [Текст] / Н.А. Волошина (СССР) – № 4301102/25-28; заявл. 24.08.87; опубл. 30.03.89, Бюл. 12. – 2 с.: ил.

Bibliograficheskiy spisok

1. Vysotskiy A.V., Kurochkin A.P. Pnevmaticheskiye sredstva izmereniy lineynykh velichin v mashinostroyenii / A.V. Vysotskiy, A.P. Kurochkin.– М.: Mashinostroyeniye, 1979. – 206 s.
2. Dnevnik nauki [Elektronnyy resurs]. – Analiz sovremennogo sostoyaniya pnevmaticheskikh sredstv izmereniya lineynykh velichin v mashinostroyenii – Nauchno-issled. zhurnal «Dnevnik nauki», 2017, №4. URL: http://www.dnevniknauki.ru/images/publications/2017/4/technics/Plakida_Voloshina.pdf (Data obrashcheniya 26.04.2017).
3. Plakida S.I. Pnevmaticheskiye izmereniya geometricheskikh parametrov i perspektiva ikh razvitiya / S.I. Plakida, N.A. Voloshina // materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Avtomatizatsiya, priborostroyeniye: problemy, resheniya» Sevastopol', 11-15 sent. 2017 g. – Sevastopol': SevGU, 2017. – С. 107 – 108.
4. Пат. 2397441 Рос. Федерация. МКИ G 01 B 13/02. Устройство измерения размера детали [Текст] / Murashov V.M. i dr.; patentoobladatel' Uchrezhdeniye Rossiyskoy akademii nauk Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN (RU) – № 2008150834/28; zayavl. 22.12.2008; opubl. 20.08.2010, Byul. № 23. 6 s.: il.
5. Murashov, V.M. Pnevmaticheskiy dlinomer vysokogo davleniya rotametricheskogo tipa (rotametr) "Aerotest-R" / V.M. Murashov // Datchiki i sistemy. – 2005.– №12. – S. 56 – 63.
6. Пат. 2464530 Рос. Федерация. МПК G01B013/00, B07C005/00. Контрольно-сортировочный комплекс [Текст] / Murashov V.M., Shigaleva A.I., Mishkin A.V.,

Filippov A.P.; заявитель и патентообладатель ЗАО "RS-Lizing" (RU) – № 2010146512/28; заявл. 15.11.2010; опубл. 20.10.2012

7. **Pat. PM 2301401 Ros. Federatsiya. MPK G 01 B 13/00.** Ustroystvo dlya pnevmaticheskogo izmereniya otkloneniya ot pryamolineynosti osi otverstiya [Tekst] / Murashov V.M.; патентообладатель ЗАО "RS-Lizing" (RU) – № 2004125194/28; заявл. 17.08.2004; опубл. 20.04.2006.

8. Bessekerskiy V.A., Popov Ye.P. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya / V.A. Bessekerskiy, Ye.P. Popov – M.: Nauka, 1966. – 992 s.

9. **A. s. 1469347 SSSR: MKI G 01 B 13/00.** Ploskiy drossel'no-ezhektornyy preobrazovatel' lineynogo razmera [Tekst] / N.A. Voloshina (SSSR) – № 4301102/25-28; заявл. 24.08.87; опубл. 30.03.89, Byul. 12. –2 s.: il.

Волошина Наталия Александровна, к.т.н., доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», NAVoloshina@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

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

STUDY OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF TWO-DIMENSIONAL EJECTOR CONVERTERS

Voloshina N.A., Balakina N.A.

The results of theoretical and experimental studies of the dynamic characteristics of primary flat ejector converters are presented. The technique of the experiment is described. As a result of the investigation of the frequency response of plane ejectors, the dependence of the time constant on the value of the total volume of the converter chambers was found, a dependence was obtained for the calculation of the time constant, which takes into account the effect of the converter and working power design parameters.

Key words: flat ejector, dynamic characteristic, time constant, speed.

Voloshina N.A., PhD, Docent (Associate Professor), Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes Sevastopol State University, NAVoloshina@sevsu.ru, Sevastopol, Russian Federation

Balakina N.A., assistant Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes Sevastopol State University, NABalakina@sevsu.ru, Sevastopol, Russian Federation

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал
Выпуск №3 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.