

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

№1(1)
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»**

- Бохонский А.И., Майстришин М.М.* Реализация оптимального перемещения объекта манипулятором в сферической системе координат **3**
- Пашков Е.В.* Ультразвуковые виброэкстракторы для удаления резбовых фрагментов транспедикулярных шурупов из костной ткани **9**
- Круговой А.Н.* Позиционирование автоматизированного электропривода переменного тока с дискретным регулированием частоты **16**

**Секция «Моделирование автоматизированных
производственных систем»**

- Осипов К.Н.* К вопросу оценки качества сборки резбовых соединений в автоматизированном производстве **23**
- Заморёнов М.В.* Моделирование процесса функционирования системы облачного хранения данных методом путей **30**
- Песчанский А.И.* Стационарные характеристики ненадежной восстанавливаемой системы обслуживания **40**
- Агамалыев М.А.* Нечётко-множественный анализ влияния изменений в законодательстве на налоговый потенциал страны **51**

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

- Доронина Ю.В., Рябовая В.О.* Информационная технология поддержки принятия решений по реструктуризации систем переменной цикличности **62**

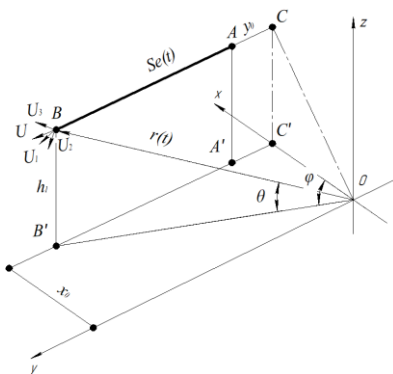
**Секция «Автоматизированный контроль, диагностика и
информационно-измерительные системы»**

- Котельников М. А., Щенятский А.В.* Влияние материалов на технические характеристики чувствительных элементов навигационных приборов **71**
- Гардейчик С.М., Шербаф А.И.* MV*-Фреймворки для разработки одностраничного приложения (SPA) **78**
- Григорьева Н.С., Шабайкович В.А.* Обеспечение повышенных показателей качества автоматической сборки приборов **83**
- Фисун С.Н., Дзюба С.Н.* Исследование влияния виртуальной JAVA-машины на оценки производительности информационных Систем в машиноприборостроении **90**

Бохонский А.И.¹, Майстришин М.М.²

Ключевые слова. Сферическая система координат, оптимальное движение, усилие в приводах.

Цель исследований – при заданном управлении перемещением объекта по отрезку прямой найти усилие в приводах как функции времени, которые обеспечивают такое движение с использованием телескопического манипулятора, работающего в сферической системе координат (**Рис.1**).



После факторизации полинома, восстанавливается уравнение Эйлера-Пуассона и соответствующий ему функционал-критерий, экстремум которого подтверждает оптимальность конструированного управления и позволяет выявлять новые свойства управления (по сравнению с традиционными).

Управление (ускорение), скорость и перемещение, соответствующее функционалу-критерию $J = \int_0^T \ddot{U}_e^2 dt$, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 U_e(t) &= \frac{10L}{T^5}(T-2t)^3, & V_e(t) &= \frac{10Lt}{T^5}(T-t)(2t^2-2tT+T^2), \\
 S_e(t) &= \frac{Lt^2}{T^5}(5T^3-10tT^2+10t^2T-4t^3),
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где L – общее перемещение по заданному отрезку прямой; T – время оптимального движения.

Результаты численного анализа иллюстрируются на примере, когда траектория объекта – прямая, параллельная оси y (Рис.1).

1. Геометрические свойства движения.

Кинематические параметры при сферическом описании выражаются через параметры оптимального движения (Рис.1):

$$\begin{aligned}
 \varphi(t) &= \arctan \frac{(y_0 - S_e(t))}{X_0}, & rr(t) &= \sqrt{(y_0 + S_e(t))^2 + X_0^2}, \\
 \theta(t) &= h_1 / rr(t), & r(t) &= h_1 / \sin(\theta),
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

где $\varphi(t)$, $\theta(t)$, $r(t)$ – сферические координаты.

2. Усилия в приводах руки манипулятора (решение обратной задачи динамики).

Усилия в приводах рассматриваются как обобщенные силы, являются правыми частями уравнений Лагранжа второго рода.

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} &= Q_\varphi = M_1, & \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \theta} &= Q_\theta = M_2, \\
 \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{r}} \right) - \frac{\partial T}{\partial r} &= Q_r = F
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Схема телескопической руки манипулятора изображена на Рис.2.

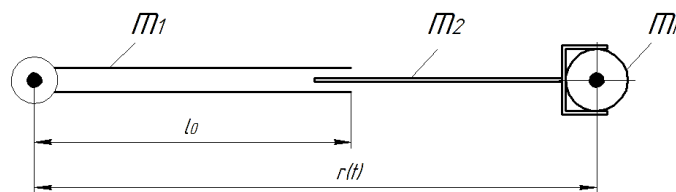


Рис.2 – Телескопическая рука манипулятора

Кинетическая энергия руки с объектом массы m_r для произвольной длины руки записывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{1}{6} m_1 l_0^2 \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_r r^2(t) \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{l_0 + r(t)}{2} \right)^2 \cdot \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{6} m_1 l_0^2 \dot{\theta}^2 + \\
 &\quad \frac{1}{2} m_r r^2(t) \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{l_0 + r(t)}{2} \right)^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} (m_2 + m_r) \dot{r}^2(t)
 \end{aligned}
 \quad (4)$$

где m_1 , m_2 – массы элементов руки; m_r – масса объекта; l_0 – длина неподвижной части телескопической руки.

После преобразований, согласно левым частям уравнений Лагранжа второго рода, получены следующие движущие усилия в приводах:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{1}{3} m_1 l_0^2 \ddot{\varphi} + 2m_r r(t) \dot{r}(t) \cdot \dot{\varphi} + m_r r^2(t) \cdot \ddot{\varphi} + m_1 (r(t) + l_0) \dot{r}(t) \dot{\varphi} + \\
 &+ m_2 \left(\frac{l_0 + r(t)}{2} \right)^2 \cdot \ddot{\varphi}, \\
 M_2 &= \frac{1}{3} m_1 l_0^2 \ddot{\theta} + 2m_r r(t) \dot{r}(t) \cdot \dot{\theta} + m_r r^2(t) \cdot \ddot{\theta} + m_2 (r(t) + l_0) \dot{r}(t) \dot{\theta} + \\
 &+ \frac{1}{2} m_2 \left(\frac{l_0 + r(t)}{2} \right)^2 \cdot \ddot{\theta}, \\
 F &= (m_1 + m_2 + m_r) \ddot{r}(t).
 \end{aligned} \tag{5}$$

Численный анализ выполнен при исходных данных:

$y_0 = 0,4$ м; $h_1 = 0,5$ м; $X_0 = 0,2$ м; $L = 0,4$ м; $l_0 = 0,6$ м; $m_1 = 5$ кг; $m_2 = 8$ кг; $m_r = 8$ кг.

На совмещенном графике (**Рис.3**) изображены функции $S_e(t)$, $V_e(t)$, $U_e(t)$. С достижением $S_e(T) = L$ наступает состояние покоя ($V_e(T) = 0$).

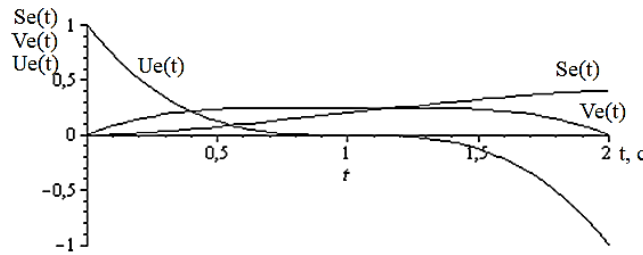


Рис.3 – Графики $S_e(t)$, $V_e(t)$, $U_e(t)$

Графики сферических координат $\varphi(t)$, $\theta(t)$ и $r(t)$ изображены на **Рис.4, 5**.

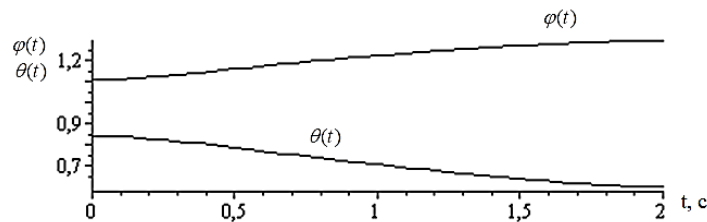


Рис.4 – Графики $\varphi(t)$, $\theta(t)$

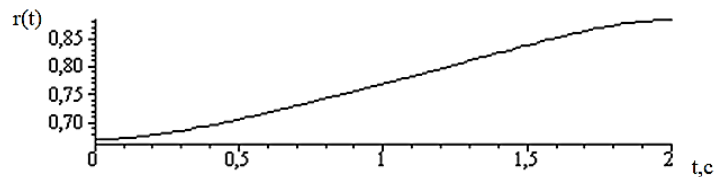


Рис.5 – График $r(t)$

Законам движения элементов руки телескопического манипулятора поставлены в соответствие усилия (5) в приводах (**Рис.6, 7**). Усилия в приводах отражают характер управления типа “разгон-торможение”.

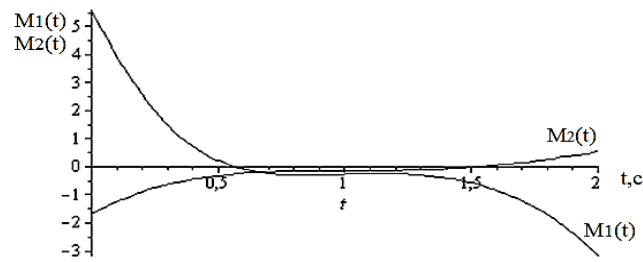


Рис.6 – Графики $M_1(t)$, $M_2(t)$

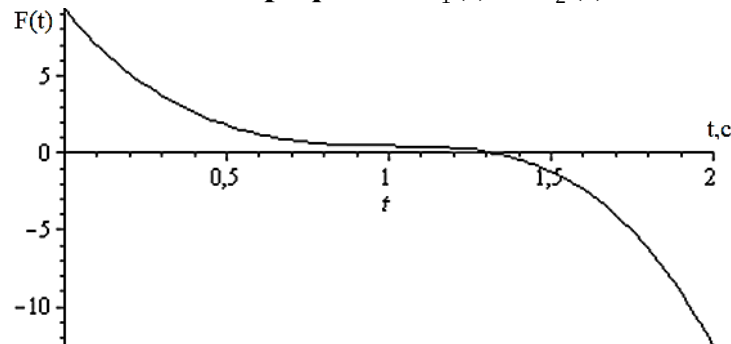


Рис.7 – Графики $F(t)$

Достижения цели движения ($S_e(T) = L$, $V_e(T) = 0$) подтверждаются в том числе равенством нулю угловых скоростей ($\dot{\phi}(t)$, $\dot{\theta}(t)$, $\dot{r}(t)$) в конечном состоянии (**Рис.8**).

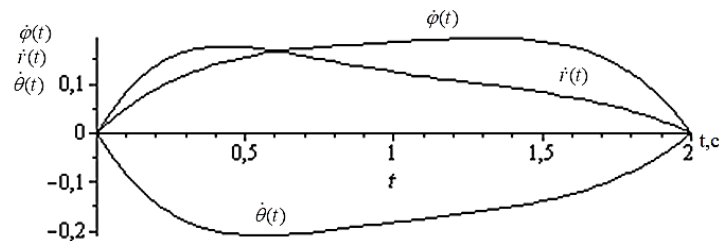


Рис.8 – Графики $\dot{\phi}(t)$, $\dot{\theta}(t)$, $\dot{r}(t)$

Рассмотренный подход в поиске усилий в приводах манипулятора справедлив для любой задаваемой в пространстве траектории движения схвата. В случае перемещения упругого объекта общее время движения уточняется в соответствии с корнями трансцендентных уравнений, в которые превращается моментные соотношения [7 – 10].

Дальнейшие исследования связаны с учетом конечной жесткости телескопической руки минимальной массы, сопротивления движению при реализации произвольной пространственной траектории движения схвата, которая обусловлена конкретными технологическими процессами.

Библиографический список

1. Солодовников, В.В. Основы теории и элементы систем регулирования. В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с.
2. Троицкий, А.И. Оптимальные процессы колебаний механических систем. Л.: Машиностроение, 1976. – 248 с.
3. Черноусько, Ф.Л. Управление колебаниями. Ф.Л. Черноусько, П.Д. Акуленко, Б.Н. Соколов. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
4. Крутко, П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели. П.Д. Крутко. – М.: Наука, 1988. – 326 с.

5. Красовский, Н.Н. Теория оптимального управления. – М.: Наука, 1968.– 476с.
6. Карновский, И.А., Почтман, Ю.М. Методы оптимального управления колебаниями деформируемых системю – К. «Высш. школа», 1982. –416 с.
7. Бохонский, А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения./ Бохонский, А.И., Варминская, Н.И., Мозолевский М.И./ Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь, изд-во Сев ГТУ, 2007. – 296 с.
8. Бохонский А.И., Варминская Н.И. Вариационное и реверсионное исчисления в механике. Под общ. ред. А.И. Бохонского. – Севастополь, изд-во СевНТУ, 2012. –212 с.
9. Бохонский А.И. Актуальные задачи вариационные исчисления. Монография, Pabmarium Academic Publishing. Deutschland / Германия, 2013. – 77 p.
10. Бохонский А.И. Реверсионный принцип оптимальности: монография / под общ.ред. А.И. Бохонского.– М.: Вузовский учебник: ИНФРА– М, 2016. – 174 с.
11. Bokhonsky A.I. Modelling and analysis of elastic system in motion / A.I. Bokhonsky, S.Y. Zolkiewski. – Gliwice.: Wydawnictwo Politechniki, 2011.– 171 p.
12. Aleksandr Bokhonsky. Modelling and intestigation of discrete-continuous vibrating mechatronic sistemswitw damping monografia. / Andrzej Buchacz, Aleksandr Bokhonsky, Marek Placzek, Andrzej Wrobel - Wydawnictwo Politechniki, Gliwice, 2013. – 207 p.

Bibliograficheskiy spisok

1. Solodovnikov V.V. Osnovy teorii i elementy sistem regulirovaniya. V.V. Solodovnikov. V.N. Plotnikov. A.V. Yakovlev. – М.: Mashinostroyeniye. 1985. – 536 s.
2. Troitskiy A.I. Optimalnyye protsessy kolebaniy mekhanicheskikh sistem. L.: Mashinostroyeniye. 1976. – 248 s.
3. Chernousko F.L. Upravleniye kolebaniyami. F.L. Chernousko. P.D. Akulenko. B.N. Sokolov. – М.: Nauka. 1980. – 384 s.
4. Krutko P.D. Obratnyye zadachi dinamiki upravlyayemykh sistem: lineynyye modeli. P.D. Krutko. – М.: Nauka. 1988. – 326 s.
5. Krasovskiy N.N. Teoriya optimalnogo upravleniya. – М.: Nauka. 1968.– 476s.
6. Karnovskiy I.A.. Pochtman Yu.M. Metody optimalnogo upravleniya kolebaniyami deformiruyemykh sistemyu – К. «Vyssh. shkola». 1982. –416 s.
7. Bokhonskiy A.I.. Varminskaya N.I.. Mozolevskiy M.I. Optimalnoye upravleniye perenosnym dvizheniyem deformiruyemykh obyektov: teoriya i tekhnicheskiye prilozheniya. Pod obshch. red. A.I. Bokhonskogo. – Sevastopol. izd-vo Sev GTU. 2007. – 296 s.
8. Bokhonskiy A.I. Varminskaya N.I. Variatsionnoye i reversionnoye ischisleniya v mekhanike. Pod obshch. red. A.I. Bokhonskogo. – Sevastopol. izd-vo SevNTU. 2012. –212 s.
9. Bokhonskiy A.I. Aktualnyye zadachi variatsionnyye ischisleniya. Monografiya. Pabmarium Academic Publishing. Deutschland / Germaniya. 2013. – 77 p.
10. Bokhonskiy A.I. Reversionnyy printsip optimalnosti: monografiya / pod obshch.red. A.I. Bokhonskogo.– М.: Vuzovskiy uchebник: INFRA– М. 2016. – 174 s.
11. Bokhonsky A.I. Modelling and analysis of elastic system in motion / A.I. Bokhonsky. S.Y. Zolkiewski. – Gliwice.: Wydawnictwo Politechniki. 2011.– 171 p.

12. Aleksandr Bokhonsky. Modelling and investigation of discrete-continuous vibrating mechatronic systems with damping monografia. / Andrzej Buchacz. Aleksandr Bokhonsky. Marek Placzek. Andrzej Wrobel - Wydawnictwo Politechniki. Gliwice. 2013. – 207 p.

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

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

IMPLEMENTATION OF THE OPTIMUM MOTION OF THE OBJECT BY A MANIPULATOR IN SPHERICAL THE SYSTEM OF THE COORDINATE

A. I. Bokhonsky, M.M. Maystrishin

Under the well-known law of the optimal displacement of an object along a straight line parallel to one of the Cartesian coordinates, kinematic parameters and forces are present in the drives for reproducing motion using a manipulator operating in a spherical coordinate system.

Key words: Spherical coordinate system, optimal movement of the object, forces in the drives.

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

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

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ВИБРОЭКСТРАКТОРЫ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ РЕЗЬБОВЫХ ФРАГМЕНТОВ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНЫХ ШУРУПОВ ИЗ КОСТНОЙ ТКАНИ

Пашков Е. В.¹

Аннотация. Раскрыта существующая в хирургии позвоночника проблема, связанная с удалением из костной ткани позвонков резьбовых фрагментов транспедикулярных (вилочных) костных шурупов, образовавшихся в результате травм позвоночника, не имеющих специальных захватных элементов для передачи момента вывинчивания. Изложена методика их удаления с использованием ультразвуковых колебаний. Приведены схемы ультразвуковых виброэкстракторов с линейными, угловыми и комбинированными колебаниями рабочей головки с винтообразными лезвиями, формирующими зацепные элементы в виде углублений на внешних концах резьбовых фрагментов.

Ключевые слова. Костный шуруп, позвонок, ультразвук, колебательная система, магнитоотрицательный преобразователь, концентратор колебаний, волновод, винтообразные лезвия

Введение. Применяющиеся на практике системы коррекции и стабилизации элементов и фрагментов костной системы человека характеризуются наличием более двадцати типов костных шурупов, среди которых особое место занимают транспедикулярные костные шурупы (ТКШ), предназначенные для закрепления транспедикулярных систем (ТС), широко применяющихся в вертебрологии при операциях на позвоночнике, имеющие различный диаметр и длину резьбовой части, изготовленные из биоинертных материалов с высокой коррозионной стойкостью (нержавеющие стали, титановые сплавы), исключающие их самопроизвольное вывинчивание из костной ткани (КТ) позвонков [1].

Одна из часто возникающих в процессе эксплуатации ТС проблем, связана с механическим повреждением ТКШ (**Рис.1, а**) в виде отрыва вилочной головки от резьбовой части и с последующим удалением из КТ образовавшегося резьбового фрагмента. При этом плоскость отрыва может находиться в непосредственной близости от головки и проходить через зону концентрации напряжений, образованную переходной шейкой ТКШ и расположенную снаружи КТ позвонка, или проходить через являющиеся концентраторами напряжений впадины резьбы по границе КТ, или, что еще в большей степени усугубляет проблему, проходить через впадины резьбовой части фрагмента, полностью находящегося внутри КТ.

Процесс удаления (вывинчивания) резьбовых фрагментов из КТ позвонков сопряжен с большими трудностями и зачастую сопряжен с необходимостью удаления части костной ткани позвонка, т.е. нанесение травмы позвонку для обеспечения его захвата инструментом и передачи необходимого момента вывинчивания, поскольку, во-первых, их наружные концы, расположенные в плоскости отрыва, могут отличаться по диаметру и как правило не имеют конструктивных элементов в виде, например, шлицов, крестообразных пазов, многогранных выступов или углублений для захвата и передачи момента вывинчивания, а во-вторых, отсутствует требуемый инструмент, обеспечивающий надежный захват удаляемого фрагмента при минимальном удалении костной ткани с целью получения доступа к его наружному концу.

Известным способом обеспечения захвата и удаления (вывинчивания) находящихся в КТ резбовых фрагментов ТКШ является создание на их внешних концах конструктивных элементов - углублений, шлицов и др., который реализуется с помощью специального ручного инструмента – экстрактора в виде воротка с рабочей головкой, имеющей форму чашки с открытой наружу полостью в виде усеченного конуса, поверхность которой снабжена винтообразными (спиралевидными) выступами (лезвиями) с конической формой поперечного сечения, образующих внутреннюю резьбу большого шага [2].

При установке головки на конец резбового фрагмента и приложении к рукоятке воротка мускульного осевого усилия и крутящего момента в направлении вывинчивания, головка навинчивается на него, а винтообразные лезвия, врезаясь в материал, осуществляют его пластическую деформацию, образуя углубления (пазы), используемые для передачи момента вывинчивания.

Использование для реализации данного способа указанных воротков требует значительных мускульных затрат для создания необходимого осевого усилия и крутящего момента, способствующих образованию зацепных конструктивных элементов (углублений, пазов) нужной глубины, обеспечивающих передачу момента вывинчивания без срезания (зализывания) вершин витков резьбы фрагмента ТКШ. При этом возникает значительная силовая нагрузка на костные структуры организма пациента, способная вызвать появление травм и увеличение времени оперативного вмешательства.

Постановка задачи заключается в разработке и создании специальных инструментов (экстракторов) для удаления из позвонков резбовых фрагментов ТКШ, обеспечивающих надежность их захвата, атравматичность процесса и уменьшение времени оперативного вмешательства.

Результаты. Выполнение поставленной задачи обеспечивается с помощью ультразвуковых виброэкстракторов, принцип работы которых основан на применении ультразвуковых колебаний (свыше 15000 Гц) описанной выше рабочей головки с лезвиями, что значительно упрощает процесс врезания последних с целью образования зацепных конструктивных элементов в материале резбового фрагмента. Это объясняется тем, что созданные извне вибрации головки облегчают пластическое деформирование ее лезвиями материала фрагмента в зонах контакта и уменьшают трение [3, 4, 5, 6, 7, 8].

Возникающая при этом знакопеременная нагрузка (вибрация) вызывает появление в материале резбового фрагмента субмикроскопических трещин, вокруг которых концентрируются внутренние напряжения, что является предпосылкой облегчения процесса врезания лезвий и образования зацепных элементов [9, 10, 11].

Кроме того, передача вибрации от лезвий головки резбовому фрагменту при водит к ослаблению (разрушению) его механической связи (сцеплению) с КТ.

Создаваемые ультразвуковые колебания (вибрации) рабочей головки могут быть линейными, угловыми и комбинированными.

Генерация и передача вибраций возможна с помощью колебательных систем, в которые входят последовательно соединенные между собой магнестрикционный или электрострикционный преобразователь электромагнитной энергии в механическое линейное или угловое перемещение, концентратор колебаний для увеличения их амплитуды и волновод, на конце которого закреплена рабочая головка с лезвиями, и который может иметь конструктивное исполнение, позволяющее преобразовывать линейные колебания в угловые [12].

Питание обмоток преобразователя осуществляется от генератора ультразвуковых колебаний с бесступенчатым регулированием частоты колебаний в пределах 10000...20000 Гц, подключенного к сети электрического переменного тока напряжением от 100 до 230 В, частотой 50...60 Гц, с выходной мощностью 150...600 Вт.

Использование линейных колебаний воплотилось в конструкции ультразвукового виброэкстрактора (**Рис.1, б**) на базе рамочного двустержневого никелевого полуволнового магнитострикционного преобразователя 1 и ступенчатого цилиндрического концентратора колебаний 2, соединенного посредством цилиндрического волновода 3 с рабочей головкой 4 (**Рис.1, д**) с винтообразными лезвиями 5 на внутренней конической поверхности [13].

Процесс извлечения (вывинчивания) резбового фрагмента 7 с внешним концом, расположенным на границе костной ткани, показан на **Рис.1, е**.

Сначала, для обеспечения доступа винтообразных лезвий 5 к виткам резьбы фрагмента производится частичное удаление прилегающей к нему костной ткани позвонка с образованием углубления глубиной H с помощью кольцевого трубчатого сверла известной конструкции, используемого в хирургической практике.

Затем, в контакт с выступающим из костной ткани концом резбового фрагмента вводятся винтообразные лезвия рабочей головки 4, к рукоятке виброэкстрактора прикладывается вручную осевое усилие F_0 , крутящий момент $M_{кр}$ и включается подача питания на обмотку возбуждения магнитострикционного преобразователя 1. В результате в рамочном магнитопроводе преобразователя возбуждаются продольные механические колебания с частотой f и амплитудой $a \approx 0,002...0,005$ мм, которая усиливается до амплитуды $a_0 \approx 0,01...0,1$ мм с помощью ступенчатого концентратора 2 и передаются с помощью волновода 3 сменным вкладышам рабочей головки 4.

Входя в контакт с вершинами верхних витков резьбы фрагмента, винтообразные лезвия 5 образуют углубления, размер (глубина) и число которых увеличивается по мере наворачивания головки вследствие пластической деформации материала резбового фрагмента, чему способствуют дополнительные импульсы сил ΔF_0 , создаваемые преобразователем. В результате исключается срезание вершин резьбы и допускается увеличение крутящего момента $M_{кр}$ с целью преодоления момента сопротивления вывинчиванию.

Для достижения максимальных (расчетных) значений амплитуды колебаний, колебательная система, образованная преобразователем и концентратором, должна находиться в резонансном состоянии, что достигается при общей длине системы кратной $\lambda/2$, где λ – длина стоячей волны продольной деформации.

Использование угловых колебаний реализовано в конструкции ультразвукового виброэкстрактора (**Рис.1, в**) с крутильными колебаниями рабочей головки 4 с частотой f и амплитудой $\alpha_{кр}$, создаваемыми цилиндрическим полуволновым ферритовым магнитострикционным преобразователем 1 [14]. Увеличение амплитуды крутильных колебаний $\alpha_{кр}$, создаваемых преобразователем, осуществляется с помощью первого ступенчатого цилиндрического концентратора колебаний 2, соединенного с помощью цилиндрического волновода 3 с рабочей головкой 4, снабженной винтообразными лезвиями 5, и выполненной в виде второго ступенчатого полуволнового концентратора крутильных колебаний, внешний торец которого расположен в плоскости пучности колебаний. В результате действия осевого

усилия F_o и крутящего момента $M_{кр}$, винтообразные лезвия образуют на вершинах витков резьбы фрагмента 7 углубления (вмятины), размер (глубина) и число которых увеличивается по мере наворачивания головки, чему способствуют импульсы крутящего момента $\Delta M_{кр}$, создающие тангенциально направленные импульсы сил, увеличивающие суммарную силу, действующую в направлении наклона винтообразных лезвий.

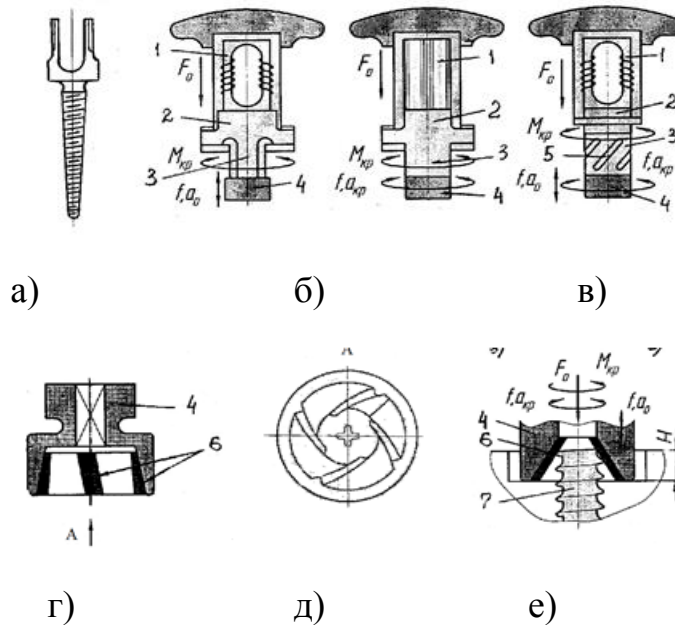


Рис.1 – Транспедикулярный шуруп (а); схемы виброэкстракторов с линейными (б), угловыми (в), комбинированными (г) колебаниями рабочей головки; рабочая головка (д); схема захвата резьбового фрагмента (е)

Применение в конструкции описанного выше ультразвукового виброэкстрактора с линейными колебаниями рабочей головки 4 трубчатого волновода 3, соединенного с концентратором колебаний 2 в плоскости пучности колебаний, где имеет место максимальная амплитуда колебаний, и снабженного на участке между двумя соседними узлами колебаний, где амплитуда колебаний равна нулю, спиральными (винтообразными) прорезами 6 (**Рис.1,г**), направление наклона которых совмещено с направлением наклона витков резьбы фрагмента и которые образуют аналогичные по форме перемены между концами волновода.

После создания вручную осевой силы F_o и крутящего момента $M_{кр}$ обмотки возбуждения магнитострикционного преобразователя 1 подключаются к источнику питания. Импульсы сил ΔF_o , создаваемые волной продольной механической деформации рамочного магнитопровода магнитострикционного преобразователя, действующие в месте соединения концентратора колебаний 2 с трубчатым волноводом 3 на винтообразные перемены с закрепленной на их наружных концах головкой 4, вызывают их изгибную деформацию в сторону уменьшения угла наклона, т.е. уменьшение их кривизны.

В результате увеличивается расстояние между местами их заделки, а поскольку перемены расположены по окружности и в предлагаемой конструкции виброэкстрактора их четыре, создается винтообразное (комбинированное) вибрационное перемещение головки с амплитудой a_o в направлении действия импульса силы ΔF_o и с амплитудой $a_{кр}$ в направлении действия импульса крутящего момента $\Delta M_{кр}$.

Заключение. Импульсный характер создаваемых ультразвуковыми виброэкстракторами усилий врезания и моментов вывинчивания, вызывающий уменьшение сил трения, облегчение пластического деформирования материала резьбового фрагмента транспедикулярного костного шурупа в зоне контакта с лезвиями головки и способствующий разрушению его механической связи с костной тканью, повышает надежность захвата, уменьшает величину необходимого момента вывинчивания, силовую нагрузку на костные структуры и время оперативного вмешательства с минимальными потерями костной ткани позвонков, т.е. обеспечивает атравматичность удаления и сокращение срока послеоперационного восстановления.

Библиографический список

1. Пашков, Е.В. Вибрационные экстракторы для резьбовых фрагментов костных шурупов / Е.В. Пашков, М.И. Калинин, А.М. Поляков // Сб. материалов Всероссийской научно – практической конф., Саратов, 19-20 ноября 2015 г. – Саратов, Изд-во НИИ травматологии и ортопедии, 2015. – С. 228 – 230.
2. Устименко, А.Г. Экстрактор для резьбовых фрагментов транспедикулярных шурупов: пат.98224 UA, МПК А61В 17/88 / А.Г. Устименко, Е.В. Пашков, М.И. Калинин; опубл. 25.04.2012, Бюл. №8.
3. Вибрации в технике: Справочник. Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. К.М. Лавенджала. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с.
4. Бансявичус, Р.Ю. Вибрационные преобразователи движения / Р.Ю. Бансявичус [и др.] // Под ред. К.М. Рагульскиса. – Л.: Машиностроение, 1984. – 168 с.
5. Волосатов, В.А. Ультразвуковая обработка. – Л.: Лениздат, 1973. – 248 с.
6. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. – М.: Энергия, 1976. – 320 с.
7. Марков А.И. Ультразвуковая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1980. – 237 с.
8. Донской А.В. Ультразвуковые электротехнические установки / А.В. Донской, О.К. Келлер, Г.С. Кратыш. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.
9. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. – М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.
10. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Машиностроение, 1978. – 368 с.
11. Северденко В.П. Обработка металлов давлением с ультразвуком / В.П. Северденко, В.В. Клубович, А.В. Степаненко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 288 с.
12. Кумабэ Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С.Л. Масленникова / Под ред. И.И. Портнова, В.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
13. Виброэкстрактор для резьбовых фрагментов транспедикулярных шурупов: пат. 2626140 RU, МПК А61В 17/88, А61В 17/92 / Е.В. Пашков [и др.]; опубл. 21.07. 2017, Бюл. №21.
14. Виброэкстрактор для резьбовых фрагментов транспедикулярных шурупов с крутильными колебаниями захватных элементов: пат. 2626133 RU, МПК А61В 17/88, А61В 17/92 / Е.В. Пашков [и др.]; опубл. 21.07. 2017, Бюл. №21.
15. Виброэкстрактор с комбинированным движением зацепных элементов для резьбовых фрагментов транспедикулярных шурупов: пат. 2626135 RU, МПК А61В 17/88, А61В 17/92 / Е.В. Пашков [и др.]; опубл. 21.07. 2017, Бюл. №21.

Bibliograficheskiy spisok

1. Pashkov E.V. Vibratsionnyye ekstraktory dlya rezbovykh fragmentov kostnykh shurupov / E.V. Pashkov. M.I. Kalinin. A.M. Polyakov // Sb. materialov Vserossiyskoy nauchno –prakticheskoy konf.. Saratov.19-20 noyabrya 2015 g. – Saratov. Izd-vo NII travmatologii i ortopedii. 2015. – S. 228 – 230.
2. Ekstraktor dlya rezbovykh fragmentov transpedikulyarnykh shurupov: pat.98224 UA . MPK A61V 17/88 / Ustimenko A.G..E.V.Pashkov. Kalinin M.I.; opubl. 25.04.2012. Byul. №8.
3. Vibratsii v tekhnike: Spravochnik. T.4. Vibratsionnyye protsessy i mashiny / Pod red. K.M. Lavendzhala. – M.: Mashinostroyeniye. 1981. – 509 s.
4. Vibratsionnyye preobrazovateli dvizheniya / R.Yu. Bansyavichus [i dr.] // Pod red. K.M. Ragulskisa. – L.: Mashinostroyeniye. 1984. – 168 s.
5. Volosatov V.A. Ultrazvukovaya obrabotka.–L.: Lenizdat. 1973.– 248 s.
6. Gershgal D.A.. Fridman V.M. Ultrazvukovaya tekhnologicheskaya apparatura. – M.: Energiya. 1976. – 320 s.
7. Markov A.I. Ultrazvukovaya obrabotka materialov. – M.: Mashinostroyeniye. 1980. – 237 s.
8. Donskoy A.V. Ultrazvukovyye elektrotekhnicheskiye ustanovki / A.V. Donskoy. O.K. Keller. G.S. Kratysh. – L.: Energoizdat. 1982. – 208 s.
9. Podurayev V.N. Obrabotka rezaniyem s vibratsiyami. – M.: Mashinostroyeniye. 1970. – 350 s.
10. Markov A.I. Ultrazvukovoye rezaniye trudnoobrabatyvayemykh materialov. – M.: Mashinostroyeniye. 1978. – 368 s.
11. Severdenko V.P. Obrabotka metallov davleniyem s ultrazvukom / V.P. Severdenko. V.V. Klubovich. A.V. Stepanenko. – Minsk: Nauka i tekhnika. 1973. – 288 s.
12. Kumabe D. Vibratsionnoye rezaniye: Per. s yap. S.L. Maslennikova / Pod red. I.I. Portnova. V.V. Belova. – M.: Mashinostroyeniye. 1985. – 424 s.
13. Vibroekstraktor dlya rezbovykh fragmentov transpedikulyarnykh shurupov: pat. 2626140 RU. MPK A61V 17/88. A61V 17/92 / E.V. Pashkov [i dr.]; opubl.21.07. 2017. Byul. №21.
14. Vibroekstraktor dlya rezbovykh fragmentov transpedikulyarnykh shurupov s krutilnymi kolebaniyami zakhvatnykh elementov: pat. 2626133 RU. MPK A61V 17/88. A61V 17/92 / E.V. Pashkov [i dr.]; opubl.21.07. 2017. Byul. №21.
15. Vibroekstraktor s kombinirovannym dvizheniyem zatsepnykh elementov dlya rezbovykh fragmentov transpedikulyarnykh shurupov: pat. 2626135 RU. MPK A61V 17/88. A61V 17/92 / E.V. Pashkov [i dr.]; opubl.21.07. 2017. Byul. №21.

Пашков Евгений Валентинович, д.т.н., профессор, кафедра «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», pashkov@sevsu.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

ULTRASONIC VIBROEXTRACTORS FOR REMOVING THREADED FRAGMENTS OF TRANSPEDICULAR SCRAPHS FROM BONE FABRIC

E.V. Pashkov

The existing problem in spinal surgery is connected with the removal from the bone tissue of the vertebrae of threaded fragments of transpedicular (fork) bone screws formed as a result of spinal injuries that do not have special gripping elements for the transfer of the screwing torque. The technique of their removal using ultrasonic

vibrations is described. The schemes of ultrasonic vibratory extractors with linear, angular and combined oscillations of the working head with helical blades forming the engaging elements in the form of depressions at the outer ends of threaded fragments are given.

Key words: bone screw, vertebra, ultrasound, oscillatory system, magnetostrictive transducer, oscillation concentrator, waveguide, helical blades

Pashkov Evgenii Valentinovich, doctor of technical sciences, professor, Department of Instrument systems and automation of technological processes, Russia, pashkov@sevsu.ru Sevastopol, Sevastopol State University

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ДИСКРЕТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ЧАСТОТЫ

Круговой А.Н.¹

Аннотация. При позиционировании рабочих органов автоматизированных технологических машин широко применяют способ позиционирования, при котором основная часть пути проходится на высокой скорости, а позиционирование осуществляется на низкой скорости. При использовании асинхронных электроприводов переменного тока в сочетании с частотными преобразователями возникает возможность обеспечения заданного позиционирования за счет дискретного изменения частоты трехфазного напряжения. При дискретном уменьшении частоты возникает режим работы асинхронного двигателя с отрицательным скольжением, который мало исследован в современной литературе. В процессе торможения возникают большие отрицательные ускорения, которые увеличивают динамические нагрузки на элементы привода.

Ключевые слова. Автоматизированный электропривод, позиционирование, частотный преобразователь, асинхронный электродвигатель.

В работах [1,2,3,4] описаны способы оптимального управления приводами линейного позиционирования с асинхронным двигателем для перемещения систем с жесткими и упругими элементами. В этих работах разрабатываются оптимальные законы управления, обеспечивающие отсутствие колебаний в конце перемещения. Для реализации этих управлений требуются специальные устройства, формирующие заданный аналоговый сигнал. В большинстве практических задач можно использовать способ, при котором основная часть пути (80...90%) проходится на высокой скорости при большом значении частоты трехфазного напряжения f , а в конце перемещения производится переход на малую частоту, и на низкой скорости осуществляется позиционирование. Осуществление позиционирования на высокой скорости приводит к значительной погрешности позиционирования, так как подвижные элементы обладают большой кинетической энергией. Такой способ позиционирования широко применяется в грузоподъемных механизмах, металлообрабатывающих станках, промышленных роботах [5,6,7,8]. Возможность реализации такого способа позиционирования связана с появлением частотных преобразователей [9,10], способных изменять выходную частоту как дискретно, так и по заданному закону.

Целью работы является исследование динамики привода линейного позиционирования с дискретным регулированием частоты для определения параметров движения, обеспечивающих заданное быстродействие и требуемую точность позиционирования. Схема электропривода показана на **Рис.1**.

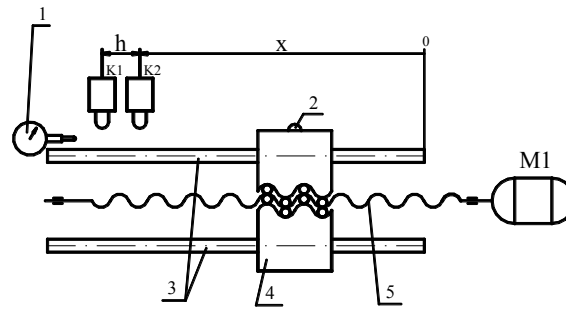


Рис.1 – Схема электропривода:

1 – индикатор часового типа, 2 – упор, 3 – направляющие, 4 – каретка, 5 – ходовой винт, K1...K2 – путевые датчики, M1 – асинхронный электродвигатель

Асинхронный электродвигатель AL63-02 [11] вращает ходовой винт, связанный с помощью передачи «винт-гайка качения» с кареткой, перемещающейся по направляющим. В точке позиционирования по координате X установлен путевой датчик $K1$, а на расстоянии h – датчик $K2$, связанный с дискретным входом частотного преобразователя. При срабатывании $K2$ происходит дискретное уменьшение частоты, а при срабатывании $K1$ – остановка двигателя.

Динамика вала двигателя описывается уравнением [12]

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c,$$

где J и M_c – приведенные значения момента инерции и момента сопротивления; ω – угловая скорость вала двигателя; M – активный момент асинхронного двигателя, который может быть описан формулой Клосса [13]

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{S_{кр}}{S} + \frac{S}{S_{кр}}},$$

где $M_{кр}$ – критический (максимальный) момент; S – скольжение; $S_{кр}$ – критическое скольжение.

Скольжение определяется по формуле [14]

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0},$$

где ω_0 – синхронная угловая скорость [15]

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p},$$

где p – число пар полюсов двигателя; f – частота трехфазного напряжения, прикладываемого к статорным обмоткам.

Моделирование динамики электропривода произведено в системе MathCAD, результаты моделирования представлены на **Рис.2...4.**

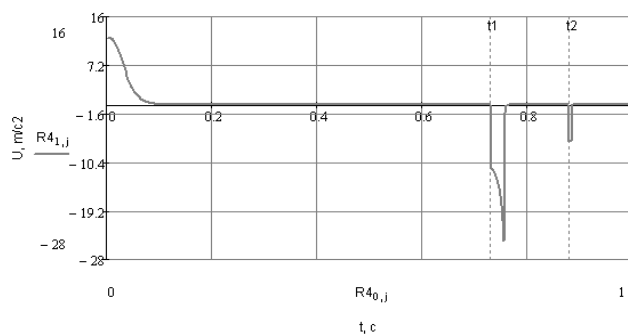


Рис.2 – График зависимости ускорения от времени

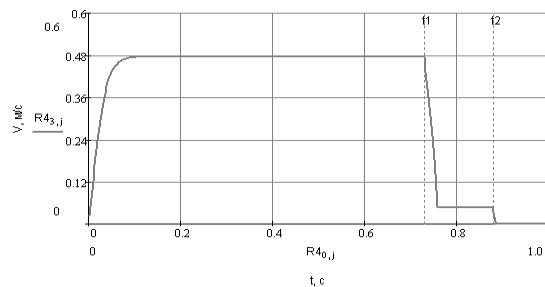


Рис.3 – График зависимости скорости от времени

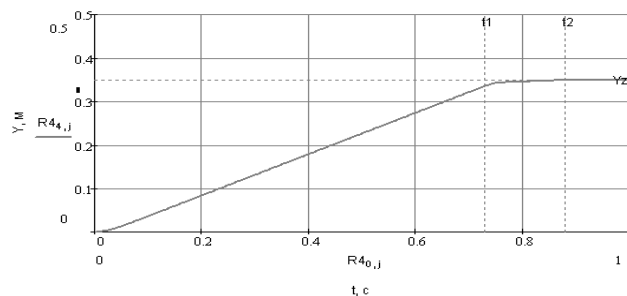


Рис.4 – График зависимости перемещения от времени

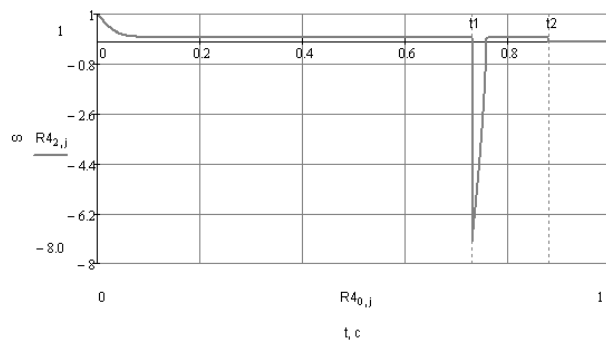


Рис.5 – График зависимости скольжения от времени

Исследовано влияние изменения приведенного момента инерции на погрешность позиционирования. Результаты приведены на Рис.6.

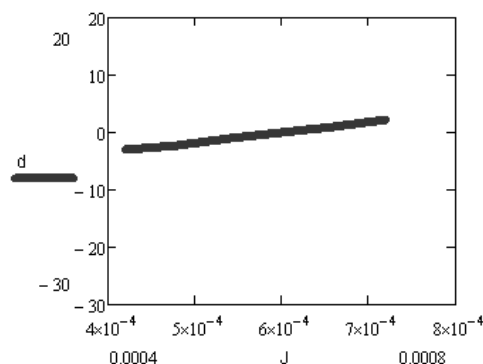


Рис.6 – График зависимости погрешности позиционирования от приведенного момента инерции

При дискретном изменении частоты перемещение на 350 мм осуществляется за 0,9 с, погрешность позиционирования составляет 0,1 мм и мало зависит от изменения приведенного момента инерции.

При резком снижении частоты возникает режим отрицательных скольжений (до -7), при котором момент асинхронного двигателя становится отрицательным и происходит торможением со значительным отрицательным ускорением (до 2,6g).

Если по условиям прочности или жесткости такие ускорения недопустимы, то при торможении необходимо изменять частоту не скачком, а по заданному, например, линейному закону, такую возможность имеют большинство современных частотных преобразователей. Для проверки теоретических результатов проведены экспериментальные исследования.

Общий вид экспериментальной установки показан на **Рис.7**.



Рис.7 – Общий вид экспериментальной установки

Погрешность позиционирования измерялась по индикатору часового типа с ценой деления 0,01 мм. Результаты экспериментов представлены на **Рис.8...10**.

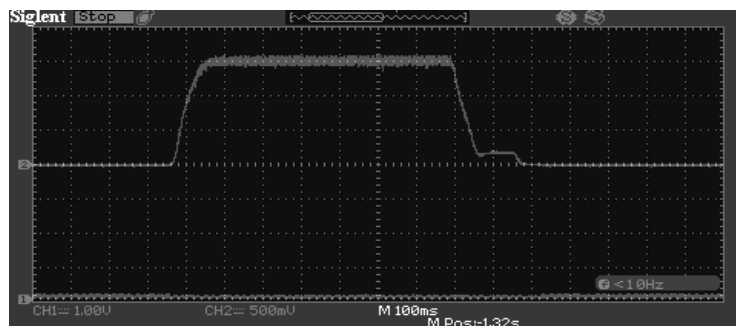


Рис.8 – График зависимости скорости от времени (экспериментальный)

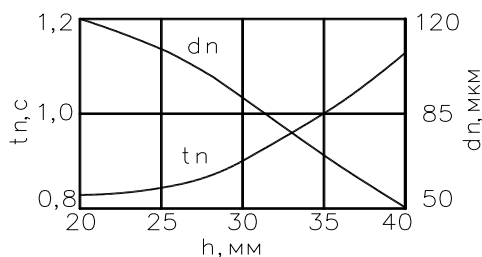


Рис.9 – График зависимости времени позиционирования t_n и погрешности позиционирования dn от расстояния между датчиками h

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы: общий вид переходных процессов (разгон, снижение скорости, торможение), полученных экспериментально при дискретном изменении частоты аналогичен процессам, полученным при математическом моделировании; при изменении расстояния между датчиками от 20 до 40 мм общее время позиционирования увеличивается от 0,82 с до 1,12 с; при изменении расстояния между датчиками от 20 до 40 мм погрешность позиционирования уменьшается от 0,12 мм до 0,05 мм.

Для задач автоматизации, например сборки, наиболее рациональное расстояние между датчиками составляет 30 мм, при этом время позиционирования составляет 0,9 с, а погрешность – 0,09 мм.

Разработанная методика моделирования позволяет определить необходимые параметры для любого электропривода для обеспечения заданного быстродействия и точности позиционирования.

В качестве направления дальнейшего исследования предполагается рассмотрение способов позиционирования при изменении частоты по различным законам: линейному, U-образному и S-образному для снижения ускорений, возникающих в процессе торможения.

Библиографический список

1. Круговой А.Н. Оптимальное управление асинхронным электроприводом переменного тока. Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения// Материалы научно-технической конференции, Севастополь 5-9 сентября 2016 года. – Севастополь: Изд. СевГУ, 2016. – С. 84-85.
2. Бохонский А.И., Круговой А.Н., Белоус Д.А. Управление электроприводом переменного тока с учетом сопротивления движению. Оптимизация производственных процессов //Вып.13: Сб. науч. тр.: Севастоп. нац. техн. ун-т.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011.-С. 46-51.
3. Бохонский А.И., Круговой А.Н. Управление вращением руки манипулятора с использованием асинхронного двигателя. Автоматизация: Автоматизация и измерения в машино- приборостроении: научный журнал, 2018

- проблемы, идеи решения// Материалы международной научно-технической конференции. Севастополь 3-7 сентября 2012 г.— Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – С. 7–9.
4. Круговой А.Н., Головин В.И., Рябцев М.Ю. Импульсное управление приводом поворота двухколесного транспортно-технологического модуля. Наука и мир. Международный научный журнал №12(40), 2016, Том 1, Волгоград 2016, с.37...40.
 5. Пашков Е.В. Автоматизация в промышленности: Практикум. В 4 ч. Ч. III. Автоматизированный электропривод и моделирование механотронных модулей движения/ Е.В. Пашков, А.Н. Круговой, В.А. Крамарь, Л.Л. Беляева, В.В. Альчаков; под ред. Е.В. Пашкова. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – 225 с., ил.
 6. Дементьев, Ю. Н. Проектирование электроприводов производственных механизмов. Ч. 1 : учеб. пособие / С. Н. Кладиев, Томский политехн. ун-т, Ю. Н. Дементьев .— Томск : Изд-во ТПУ, 2013.
 7. Михайлов О.П. Автоматизированный электропривод станков и промышленных роботов.—Л.:Машиностроение, 1990. – 280 с., ил.
 8. Кацман М. М. Электрический привод. Москва, ООО «Издательский центр «Академия», 2011 .
 9. Преобразователи частоты для асинхронных двигателей. Руководство по эксплуатации. Schneider Electric, 2007.
 10. Юдович, В.И. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод: Учебное пособие / В.И. Юдович. - СПб.: Лань, 2013. - 176 с.
 11. Справочник по электрическим машинам: в 2 т./ Под. общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
 12. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с., ил.
 13. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.: РАСХН. 2003. –320 с., ил.
 14. Лезнов Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. Москва, Издательство Машиностроение, 2013 .
 15. Яни, А.В. Регулируемый асинхронный электропривод: Учебное пособие / А.В. Яни. - СПб.: Лань, 2016. - 464 с.

Bibliograficheskiy spisok

- 1 Krugovoj A N Optimalnoe upravlenie asinhronnym ehlektroprivodom peremennogo toka Avtomatizaciya i priborostroenie problemy resheniya Materialy nauchno-tekhnicheskoj konferencii Sevastopol 5-9 sentyabrya 2016 goda Sevastopol Izd SevGU 2016 S 84-85
- 2 Bohonskij A., Krugovoj A., Belous D. Upravlenie ehlektroprivodom peremennogo toka s uchetom soprotivleniya dvizheniyu Optimizaciya proizvodstvennyh processov Vyp 13 Sb nauch tr Sevastop nac tekhn un-t - Sevastopol Izd-vo SevNTU 2011 -C 46-51
- 3 Bohonskij A.I, Krugovoj A.N Upravlenie vrashcheniem ruki manipulyatora s ispolzovaniem asinhronnogo dvigatelya Avtomatizaciya problemy idei reshenie Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii Sevastopol 3-7 sentyabrya 2012 g Sevastopol Izd-vo SevNTU 2012 S 7 9
- 4 Krugovoj A.N, Golovin V.I., Ryabcev M.YU Impulsnoe upravlenie privodom povorota dvuhkolesnogo transportno-tekhnologicheskogo modulya Nauka i mir Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal 12 40 2016 Tom 1 Volgograd 2016 s 37 40

- 5 Pashkov E.V. Avtomatizaciya v promyshlennosti Praktikum V 4 ch CH III Avtomatizirovannyj ehlektroprivod i modelirovanie mekhanotronnyh modulej dvizheniya E V Pashkov A N Krugovoj V A Kramar L L Belyaeva V V Alchakov pod red E V Pashkova Sevastopol SevNTU 2011 225 s il
- 6 Dementev YU. N. Proektirovanie ehlektroprivodov proizvodstvennyh mekhanizmov CH 1 ucheb posobie S N Kladiev Tomskij politekhn un-t YU N Dementev Tomsk Izd-vo TPU 2013.
- 7 Mihajlov O.P. Avtomatizirovannyj ehlektroprivod stankov i promyshlennyh robotov L Mashinostroenie 1990 280 s .il.
- 8 Kacman M.M. EHlektricheskij privod Moskva OOO Izdatel-skiy centr Akademiya 2011.
- 9 Preobrazovateli chastoty dlya asinhronnyh dvigatelej Rukovod-stvo po ehkspluatacii Schneider Electric 2007.
- 10 YUdovich V.I. EHnergoberezhenie i avtomatizaciya proiz-vodstva v teploehnergeticheskom hozyajstve goroda CHastotno-reguliruemyj ehlektroprivod Uchebnoe posobie V I YUdovich - SPb Lan 2013 - 176 c
- 11 Spravochnik po ehlektricheskim mashinam v 2 t Pod obshch red I.P. Kopylova, B.K. Klokova, M. EHnergoatomizdat 1988.
- 12 Aliev I.I. Asinhronnye dvigateli v trekhfaznom i odno-faznom rezhimah M IP RadioSoft 2004 128 s. il.
- 13 Onishchenko G.B. EHlektricheskij privod Uchebnik dlya vuzov M RASKHN 2003 320 s. il.
- 14 Leznov B.S. CHastotno-reguliruemyj ehlektroprivod nasos-nyh ustanovok Moskva.

Круговой Александр Николаевич, канд. техн. наук, доц., atpp_krugovoi@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

POSITIONING OF THE AUTOMATED ELECTRIC DRIVE OF AN ALTERNATING CURRENT WITH DISCRETE REGULATION OF FREQUENCY

A. N. Krugovoy

At positioning working bodies of the automated technological machines widely apply a way of positioning, at which the basic part of a way is passed on high speed, and the positioning is carried out on low of speed. At use of asynchronous electric drives of an alternating current in a combination with frequency the converters arise an opportunity of maintenance of the given positioning at the expense of discrete change of frequency of a three-phase voltage. At discrete reduction of frequency there is a mode of operations of the asynchronous engine with negative sliding, which is poorly investigated in the modern literature. During braking arise of the large negative acceleration, which increase dynamic loadings by elements of a drive.

Key words: the automated electric drive, positioning, frequency the converter, asynchronous electric motor.

Krugovoy Aleksandr Nikolaevich, candidate of technical sciences, docent, atpp_krugovoi@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ»

УДК 610:641

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Осипов К.Н.¹

***Аннотация.** Показано, что решение задач повышения эффективности приемосдаточных и контрольных испытаний изделий современного двигателестроения, в том числе содержащих резьбовые соединения, может быть достигнуто путем совершенствования методики и алгоритмов обработки измерительной информации, получаемой в ходе испытаний в режиме реального времени, использованием моделей, описывающих статистические нестационарные зависимости между параметрами изделий, содержащими информацию о их техническом состоянии.*

***Ключевые слова.** Испытания, диагностика, резьбовые соединения, геометрически-численные модели, моделирование.*

Задачи повышения эффективности методов оценки параметров, характеризующих качество процесса сборки современных конструктивно сложных машиностроительных изделий в ходе производственных (приемосдаточных и контрольных) испытаний, в том числе в режиме реального времени, по-прежнему остаются актуальными, особенно в условиях постоянного ужесточения требований к конкурентоспособности и надежности изделий при одновременном стремлении производителей к сокращению трудовых и производственных затрат [1,2].

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия и отраженные в научной и технической литературе в виде инженерных методик, например, таких как метод Байеса, метод Неймана-Пирсона, метод разделения в пространстве признаков и т.д. демонстрируют, что решение указанных задач неразрывно связано с использованием новых методик испытаний и современных информационных технологий для управления процессами, протекающими в ходе испытаний, обработки их результатов, а также принятия решений относительно соответствия испытываемых изделий требованиям ТУ, ГОСТ Р, техническому регламенту и т.д. [3,4]. При этом подтверждением эффективности перечисленных подходов является их нередкое использование в современном машиностроительном производстве. Однако, вместе с этим, их эффективность существенно зависит от наличия априорной информации о системе испытаний и самих испытываемых изделий, что проявляется в необходимости накопления большого объема статистических данных, большого числа современных дорогостоящих датчиков, обоснования количества точек съема информации, что, в результате, не только не снижает стоимости испытаний, но и не всегда повышает достоверность выводов о качестве сборки и стабильности производственного процесса.

Целью работы является совершенствование методики обработки результатов измерений в ходе краткосрочных стендовых приемосдаточных испытаний машиностроительных изделий для повышения достоверности результатов оценки качества их сборки.

В современном производстве контроль качества сборки резьбовых соединений проводят непосредственно в процессе их сборки, основываясь на теории винтовой пары, согласно которой крутящий момент $T_z, Нм$, приложенный к головке болта или гайке, полностью расходуется на преодоление трения о неподвижную опорную поверхность соединяемых деталей на торце гайки $T_t, Нм$, и на преодоление трения $T_r, Нм$, в витках резьбы (в паре винт-гайка), обеспечивая заданное силовое замыкание (**Рис.1**) [3,6]:

$$T_z = T_t + T_r. \quad (1)$$

Моменты трения в уравнении (1) зависят от геометрических параметров резьбы ξ (угла подъема, шага и т.д.), коэффициента трения в резьбе f , наружного диаметра резьбы d и осевой силы F , возникающей за счет растяжения болта, шпильки или винта при завинчивании

$$T_z = \varphi(\xi, f, d, F). \quad (2)$$

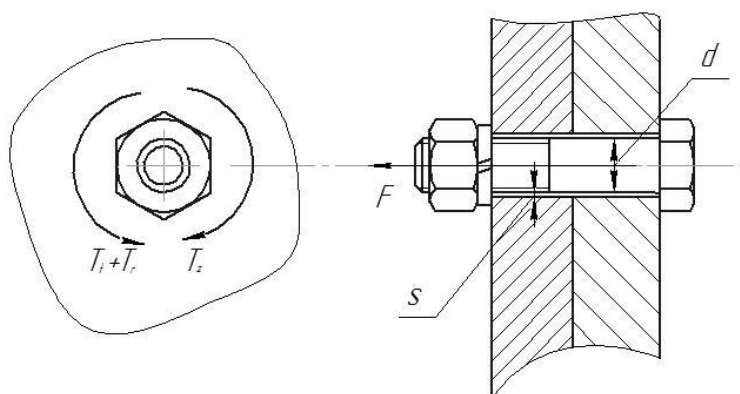


Рис.1 – Схема резьбового соединения

На основании зависимости (1) и (2) в качестве критерия, характеризующего параметры сборки, используют момент затяжки T_z , значения которого сравнивают со значением, указанным в технических условиях на сборку. Нормированное значение рассчитывают, исходя из предположения о том, что выражение (1) справедливо и, как следствие, крутящий момент, приложенный к гайке или болту, обеспечивает требуемое силовое замыкание и контактное напряжение, что не всегда выполняется в реальных условиях производства и эксплуатации. Часто причиной нарушения требуемого силового замыкания является не нарушение равенства (1), а отсутствие информации о том, какая часть (доля) крутящего момента, приложенного, например, к гайке, была затрачена на преодоление сил трения, возникающих в витках резьбы, а какая — на преодоление сил трения, возникающих на торцевых поверхностях сопрягаемых деталей. В результате оказывается невозможным определить, какая часть крутящего момента, приложенного к гайке, была затрачена на деформацию растяжения болта, а какая часть — на деформацию витков резьбы (изгиб, укорачивание или сдвиг). Альтернативным методом оценки качества сборки резьбовых соединений является использование в качестве критерия величины абсолютного удлинения болта (шпильки) или угла поворота гайки, однако в этом случае может возникнуть противоположный результат, т.е. необходимое контактное напряжение может быть достигнуто путем приложения крутящего момента, недостаточного для обеспечения процесса самоторможения гайки. В результате предлагаемые подходы не позволяют обеспечить необходимую в 100 %-х случаях достоверную оценку качества сборки резьбового соединения.

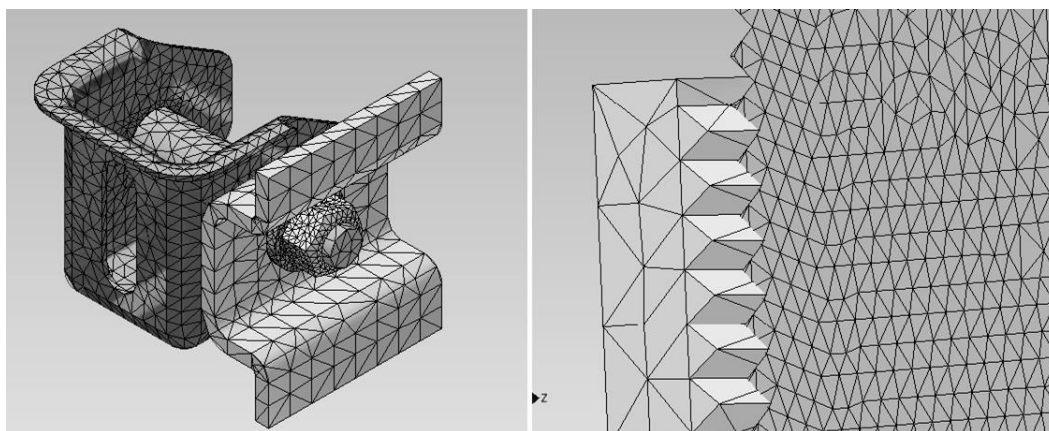
Конечно, если допустить, что в резьбовых соединениях, работающих в условиях статических или квазистатических нагрузок, совместные деформации в витках резьбы абсолютно упругие (принять, что известная модель Н.Е. Жуковского справедлива), то использование в качестве критерия качества сборки резьбовых соединений момента затяжки или абсолютного удлинения болта является допустимым и оправданным решением, т.к. даже при использовании резьбовых деталей, содержащих незначительные дефекты, например, отклонения в геометрических размерах резьбы, процентное распределение крутящего момента, приложенного к гайке T_z между T_i и T_r , закон распределения нагрузок по виткам резьбы и, как следствие, распределение контактных напряжений не оказывает существенного влияния на работоспособность резьбовых соединений из-за известного эффекта самоторможения. Напротив, если резьбовое соединение работает в агрессивных коррозионных условиях, то возникает проблема разборки такого соединения, нередко решаемая намеренным срывом (срезанием) болта (шпильки).

Однако статические и квазистатические условия функционирования резьбовых соединений в составе машиностроительных изделий встречаются редко. В действительности, нагрузку, действующую на резьбовое соединение, в машиностроительных изделиях можно представить, как аддитивную сумму детерминированных нагрузок, обусловленных конструктивными требованиями к изделию и случайных знакопеременных нагрузок, имеющей неизвестный закон распределения и неизвестные вероятностные характеристики. В фундаментальных работах И.А. Биргера, посвященных изучению фланцевых и резьбовых соединений, показано, что такие режимы работы, характеризующиеся высокими частотами колебаний, в независимости от величины приложенного при закручивании крутящего момента, могут вызывать самопроизвольное отвинчивание гаек. При этом одной из основных гипотез, объясняющих самопроизвольное отвинчивание гаек, шпилек, болтов и т.д., работающих в динамических режимах, является гипотеза о снижении коэффициента трения при воздействии вибрационных, знакопеременных, в том числе случайных нагрузок особенно возникающих в сочетании с возможными погрешностями взаимного расположения деталей, температурных воздействий, пластических деформаций [4,5,7,8], вызывающих колебания витков резьбы в радиальном направлении. Однако, по мнению автора работы, даже несмотря на то, что силы трения в движении по модулю меньше сил трения покоя в динамических условиях работы машиностроительных изделий нарушение условия самоторможения гаек возможно только при возникновении дефектов. Обозначим первую гипотезу как H_1 , а вторую как H_2 .

Для проверки первой гипотезы H_1 был выполнен геометрически численный анализ статически и динамически нагруженного резьбового соединения. В ходе анализа применен известный метод конечных элементов и прикладное программное обеспечение *Autodesk Inventor*. По условиям вычислительного эксперимента в месте контакта резьбовой пары возникает только сухое трение, описываемое законом Амонтона-Кулона. Кроме того, в твердотельную модель введена неустранимая неточность изготовления резьбовых соединений в виде отклонения геометрических размеров резьбы от требуемых. Фрагмент твердотельной трехмерной модели, описывающей сопряжение «винт-гайка», представлен на **Рис.2**.

В результате вычислительного эксперимента установлено, что осевая сила, возникающая при затяжке гайки, распределяется по виткам резьбы неравномерно, вследствие чего напряжения и деформации в разных витках

различны. Наибольшие деформации возникают в первых нагруженных витках, после чего по мере удаления снижаются (**Рис.3**). Картина распределения напряжений подтверждает, что силы трения Амонтона-Кулона в различных витках различны.



а)

б)

**Рис.2 – Численно-геометрическая модель резьбового соединения:
а) – модель соединения, б) – увеличенный фрагмент резьбового соединения
болт-гайка в разрезе**

Тогда, даже если допустить существование ударных или вибрационных нагрузок, вызывающих, например, радиальное скольжение в витках резьбы, которое могло бы быть причиной проскальзывания и самоотвинчивания, то это скольжение будет различным в различных витках. Другими словами, в различных витках резьбы в любые моменты времени деформации и напряжения различны, а это означает, что значения коэффициента трения также различны. Значит, если в одном витке сила трения снижается, то в другом она должна возрасть.

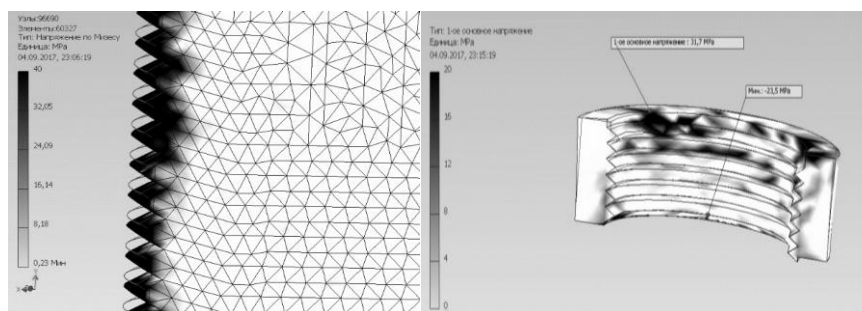


Рис.3 – Распределение напряжений в витках болта и гайки

Таким образом, в конкретный момент времени снижение момента трения в резьбе до нулевого значения практически невозможно. В этом случае единственным параметром, который может изменяться в резьбовом соединении, является осевая сила F . При этом самоотвинчивание может вызывать как снижение осевого усилия, например, из-за наличия перекосов при монтаже деталей или погрешностей изготовления, так и ее увеличение. Кроме того, в условиях работы соединенных таким способом деталей на переходных режимах к дополнительным причинам, вызывающим самоотвинчивание, можно отнести возникновение дополнительного крутящего момента, возникающего вследствие вращения сопрягаемых деталей вокруг своих главных осей инерции из-за

наличия монтажных зазоров между болтом, шпилькой и т.д., и самой деталью (параметр s , **Рис.1**).

Вследствие этого можно предположить, что справедливой является гипотеза H_2 , объясняющая причину самопроизвольного отвинчивания гаек, болтов и т.д. работающих в динамических условиях нагружения. наличием дефектов. В таком случае значение решения задачи повышения достоверности результатов оценки качества сборки резьбовых соединений возрастает, особенно с учетом ограничений, накладываемых современными методами.

Принимая во внимание выше сказанное, предлагается формировать решение о качестве сборки изделий, содержащих резьбовые соединения используя интегральный показатель по результатам косвенных измерений получаемых в ходе приемосдаточных испытаний. В качестве интегрального показателя предлагается использовать величину, характеризующую статистическую стабильность зависимостей между случайными последовательностями изменения численных показателей режимных и диагностических параметров испытываемых изделий, которая, даже в случае нестационарных случайных процессов, имеет вид линейной комбинации между параметрами изделий со случайными, стационарно изменяемыми коэффициентами [6 - 9]. Например, пусть задан многомерный процесс измерения диагностических параметров исследуемого изделия $x_t = (X_{1,t}, \dots, X_{i,t}, \dots, X_{n,t})^T$ измеренных с заданным шагом дискретизации Δt . Тогда линейная комбинация между диагностическими параметрами может быть определена в следующем виде:

$$\beta^T \cdot x_t = 0, \quad (3)$$

где β – вектор коэффициентов равновесия системы.

Выражение (3) является моделью динамического равновесия между параметрами системы с учетом линейного ограничения, в силу того, что любая минимально работоспособная техническая система всегда стремится вернуться к устойчивому состоянию, даже в случае вынужденных отклонений. В действительности, для реальных объектов, вектор x_t периодически будет отклоняться от равновесного состояния, что позволяет одномерную безразмерную величину $z_t = \beta^T \cdot x_t$ назвать ошибкой или отклонением от равновесия, численная величина которой будет пропорциональна отклонению системы от технически исправного состояния. Эта взаимосвязь позволяет использовать безразмерную величину z_t в качестве интегрального критерия, характеризующего качество изготовления и сборки машиностроительных изделий.

Преимуществом предлагаемого подхода к оценке технического состояния сложных машиностроительных изделий является то, что его использование в автоматизированном производстве позволит повысить достоверность испытаний при сокращении сроков и расходов. При этом дальнейшее решение задач повышения достоверности решений о годности изделий к эксплуатации должно быть связано не только с разработкой и совершенствованием методологии оценки параметров β , но и с определением режимов автоматизированных испытаний, т.е. режимов работы испытываемых изделий, обеспечивающих наискорейший поиск неисправностей.

Библиографический список

1. Шульгин, А.Ф. Технологические газоздушные системы стендов экспериментальной испытательной базы авиационных двигателей и

- энергетических установок./ А.Ф. Шульгин, Ю.И. Павлов, В.Г. Попов, В.В. Кулаков. – М.: МАТИ, 2009. – 384 с.
2. Лоскутов, А.С. Испытания ДВС: Учебное пособие. / А.С. Лоскутов, А.Н. Григорьев, Д.В. Кожин. – Йошкар-Ола: Марийский ГТУ, 2007. – С. 136.
3. Биргер, И. А. Техническая диагностика. — М.: Машиностроение, 1978. — 240 с.
4. Орлин, А. С. Круглов, М.Г. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для втузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / А. С. Орлин, М. Г. Круглов.— М.: Машиностроение, 1983. — 372 с.
5. Григорьев, С.Н. Диагностика автоматизированного производства [Электронный ресурс]: монография / С.Н. Григорьев [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 600 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2020>.
6. Голикова, В.В. Идентификация стохастических объектов и процессов в автоматизированной системе производственных приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания. дис. канд. тех. наук по специальности 05.13.07 / Голикова Виктория Викторовна. – Севастополь: СевНТУ – 2008 г. – 205 с.
7. Голикова, В.В. Моделирование измерительных последовательностей диагностических параметров ДВС / В.В. Голикова, Е.Л. Первухина, П.К. Сопин // Двигатели внутреннего сгорания – №2 – 2012 г. С 114 – 117.
8. Первухина, Е.Л. Совершенствование методики приемосдаточных испытаний двигателей внутреннего сгорания после сборки на основе зависимостей между диагностическими параметрами/ Е.Л. Первухина, К.Н. Осипов, Ю.Л. Рапацкий // Проблемы машиностроения и надежности машин, РАН, Россия. – 2011. – № 2. – С. 93-99.
9. Осипов, К.Н. Выбор параметров для оценки технического состояния ДВС / К.Н. Осипов // Сборка в машиностроении, приборостроении – 2011. – №2 С. 19 – 26.
10. Житников Б.Ю. Обоснование моментов затяжки шпилек, ввинчиваемых в корпусную деталь / Б.Ю. Житников //Сборка в машиностроении и приборостроении. М.: «Машиностроение», 2001 г. № 5, С. 33-35.

Bibliograficheskiy spisok

1. SHul'gin A.F. Tekhnologicheskie gazovozdushnye sistemy stendov ehksperimental'noj ispytatel'noj bazy aviacionnyh dvigatelej i ehnergeticheskikh ustanovok./ A.F. SHul'gin, YU.I. Pavlov, V.G. Popov, V.V. Kulakov. – М.: МАТИ, 2009. – 384 с.
2. Loskutov A.S., Grigor'ev A.N., Kozhin D.V. Ispytaniya DVS: Ucheb-noe posobie. / A.S. Loskutov, A.N. Grigor'ev, D.V. Kozhin. – Josh-kar-Ola: Marijskij GTU, 2007. – S. 136.
3. Birger I. A. Tekhnicheskaya diagnostika. — М.: Mashinostroenie, 1978. — 240 s.
4. Orlin A. S. Dvigateli vnutrennego sgoraniya: Teoriya porshnevyh i kombinirovannyh dvigatelej. Uchebnik dlya vtuzov po special'nosti «Dvigateli vnutrennego sgoraniya» / A. S. Orlin, M. G. Kruglov.— М.: Mashinostroenie, 1983. — 372 s.
5. Grigor'ev S.N. Diagnostika avtomatizirovannogo proizvodstva [EHlektronnyj resurs]: monografiya / S.N. Grigor'ev [i dr.]. — EHlek-tron. dan. — Moskva:

- Mashinostroenie, 2011. — 600 s. — Rezhim do-stupa: <https://e.lanbook.com/book/2020>.
6. Golikova V.V. Identifikaciya stohasticheskikh ob"ektov i processov v avtomatizirovannoj sisteme proizvodstvennyh priemosdatochnyh ispytaniy dvigatelej vnutrennego sgoraniya. dis. kand. tekhn. nauk po special'nosti 05.13.07 / Golikova Viktoriya Viktorovna. – Sevasto-pol': SevNTU – 2008 g. – 205 s.
 7. Golikova V.V., Pervuhina E.L., Sopin P.K. Modelirovanie izme-ritel'nyh posledovatel'nostej diagnosticheskikh parametrov DVS / V.V. Golikova, E.L. Pervuhina, P.K. Sopin // Dvigateli vnutrennego sgoraniya – №2 – 2012 g. S 114 – 117.
 8. Pervuhina E.L., Osipov K.N., Rapackij YU.L. Sovershenstvovanie metodiki priemosdatochnyh ispytaniy dvigatelej vnutrennego sgoraniya posle sborki na osnove zavisimostej mezhdru diagnosticheskimi parametrami/ E.L. Pervuhina, K.N. Osipov, YU.L. Rapackij // Pro-blemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, RAN, Rossiya. – 2011. – № 2. – S. 93-99.
 9. Osipov K.N. Vybora parametrov dlya ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya DVS / K.N. Osipov // Sborka v mashinostroyenii, priborostroyenii – 2011. – №2 S. 19 – 26.
 10. ZHitnikov B.YU. Obosnovanie momentov zatyazhki shpilek, vvinchiva-emyh v korpusnuyu detal' / B.YU. ZHitnikov //Sborka v mashinostroyenii i priborostroyenii. M.: «Mashinostroenie», 2001 g. № 5, S. 33-35.

Осипов Константин Николаевич, к.т.н., доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов» Севастопольский государственный университет, assistenttmm@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет,

TO THE QUESTION OF ASSESSING THE QUALITY OF ASSEMBLY OF THREADED CONNECTIONS IN AUTOMATED PRODUCTION

Osipov K.N.

It is shown that the solution of the problems of improving the efficiency of acceptance and control tests of products of modern engine and body construction, including those containing threaded connections, can be achieved by improving the methods and algorithms of processing the measuring information obtained during the tests in real time, using models describing statistical non-stationary dependence between the parameters of products containing information about their technical condition.

Keyword: tests, diagnostics, fittings, geometric and numerical model simulation.

Osipov Konstantin Nikolaevich, Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation, PhD, Docent (Associate Professor), Department of Instrument systems and Automation of Technological Processes, Sevastopol. УДК 004.94:519.873

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБЛАЧНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ МЕТОДОМ ПУТЕЙ

Заморёнов М.В.¹

***Аннотация.** В статье приводится полумарковская модель функционирования системы облачного хранения данных, а в частности определяется функция распределения полного времени обработки запроса на чтение к такой системе. Проводится сравнение результатов полученных при моделировании методом путей и классическим методом, использующим уравнения марковского восстановления.*

***Ключевые слова.** Моделирование, метод путей, функция распределения, полумарковский процесс, стационарное распределение.*

Современное автоматизированное производство представляет собой сложную иерархически подчиненную систему, состоящую из двух основных элементов: технологического комплекса и информационного ядра, обеспечивающего согласованное планирование, функционирование и обслуживание технологического комплекса. Функции информационного ядра значительно шире указанных, однако в данном случае ограничимся только функциями управления. Функционирование такой сложной иерархически подчиненной системы управления машиностроительным производством требует обработки большого объема данных. В настоящее время разработаны различные подходы к обработке и хранению больших объемов данных.

Одним из наиболее перспективных направлений, развиваемых в нашей стране и за рубежом, являются системы облачного хранения данных [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. При этом в ряде случаев производительность таких систем влияет в значительной степени на производительность всего машиностроительного комплекса предприятия. В связи с этим особую актуальность приобретают проблемы связанные с определением производительности указанных систем. Отметим также, что математические модели позволяют не только определять производительность, но также и указывают на пути ее повышения.

Основной характеристикой такой системы является время ожидания ответа на запрос – время отклика системы. Учитывая, что время отклика является случайной величиной, зависящей от ряда факторов различных для каждой конкретной реализации системы, то определение этого времени является непростой задачей.

Целью данной работы является определение функции распределения (ФР) времени отклика блочной системы облачного хранения данных на запрос чтения данных.

Рассмотрим блочную систему облачного хранения данных общего вида. Данная система работает следующим образом.

Блочная система хранения данных предоставляет вычислительным системам доступ на уровне блоков к томам хранения данных. В этой среде файловая система создается на базе вычислительных систем, а доступ к данным осуществляется через сеть на уровне блоков. Блочная система хранения состоит из одного или нескольких контроллеров и системы хранения. В свою очередь контроллер системы хранения данных состоит из трех ключевых компонентов: клиентский интерфейс (внешние порты и контроллеры), кэш-память и серверная

часть. Структура интеллектуальной системы хранения блочного типа приведена на **Рис.1**, подробное описание приведено в [1].

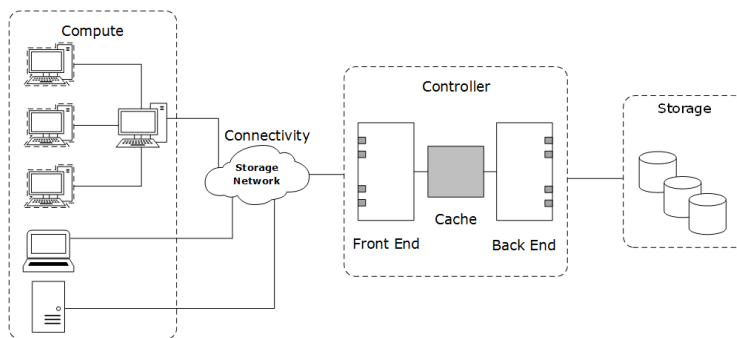


Рис.1 – Компоненты интеллектуальной системы хранения данных

Запрос ввода-вывода передается из вычислительной системы через внешний порт и обрабатывается с помощью кэш-памяти серверной части. Запрос чтения может обслуживаться непосредственно из кэш-памяти, если в ней обнаружены запрошенные данные. В современных системах хранения клиентский интерфейс, кэш-память и серверная часть обычно интегрированы в единую панель (которую называют процессором СХД или контроллером системы хранения данных).

Клиентский интерфейс обеспечивает обмен данными между системой хранения и вычислительной системой. Он состоит из двух компонентов: внешних портов и внешних контроллеров. Обычно клиентский интерфейс имеет резервные контроллеры для обеспечения высокой доступности, а каждый контроллер содержит несколько портов, которые позволяют подключать множество вычислительных систем к интеллектуальной системе хранения данных.

На **Рис.2** представлены операции чтения с использованием кэш-памяти при условии доступности (а) и недоступности (b) данных в кэш-памяти.

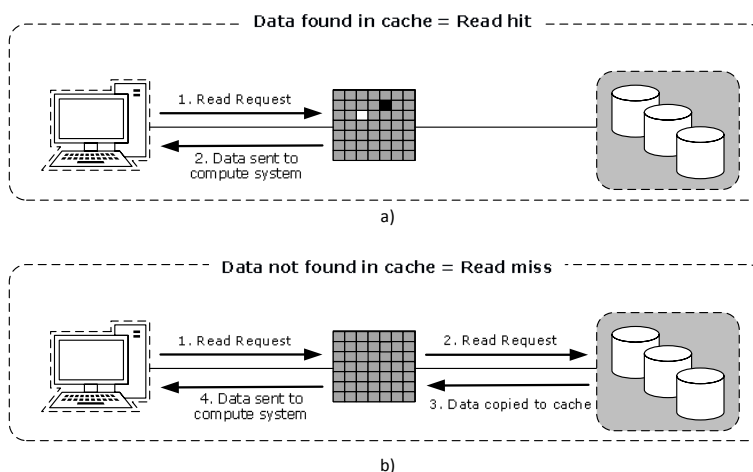


Рис.2 – Операции чтения с использованием кэш-памяти

Когда вычислительная система посылает запрос чтения, контроллер системы хранения данных считывает метку ОЗУ, чтобы определить доступность необходимых данных в кэш-памяти. Если запрошенные данные обнаружены в кэш-памяти, это называется попаданием в кэше считывания или попаданием при чтении, а данные отправляются непосредственно в вычислительную систему без выполнения операций во внутреннем хранилище. Это обеспечивает для

вычислительной системы малое время отклика (около миллисекунды). Если запрошенные данные не обнаружены в кэш-памяти, то это называется промахом кэш-памяти. В этой ситуации данные должны быть считаны из системы хранения. Серверная часть получает доступ к соответствующему устройству хранения данных и извлекает запрошенные данные. Данные помещаются в кэш-память, а затем отправляются в вычислительную систему с помощью клиентского интерфейса. Промахи кэш-памяти увеличивают время отклика при выполнении операций ввода-вывода.

Производительность чтения измеряется коэффициентом попаданий операций чтения или частотой попаданий, которая обычно выражается в процентах. Этот коэффициент представляет собой отношение числа попаданий при чтении к общему числу запросов на чтение. Чем выше коэффициент попаданий операций чтения, тем выше производительность этих операций.

Следует отметить, что время ответа на запрос зависит также и от надежности сетей передачи данных

Для моделирования предлагается метод путей, приведенный в [8]. Данный метод позволяет получать точное решение уравнений марковского восстановления для системы с дискретным фазовым пространством состояний.

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

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

В проводимом исследовании необходимо определить функцию распределения времени полной обработки запроса на чтение указанной системой.

Функционирование системы опишем полумарковским процессом (ПМП) $\xi(t)$ с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Введем следующее множество E полумарковских состояний системы:

$$E = \{S_0, S_1, S_2, S_3\}.$$

Расшифруем содержательный смысл кодов состояний:

S_0 – запрос выполнен (мгновенное состояние);

S_1 – запрос от пользователя получен (или в момент выполнения запроса произошел сбой в канале передачи данных), началось повторное выполнение запроса;

S_2 – производится поиск данных в модулях кэш-памяти;

S_3 – данные в кэш-памяти не найдены, производится запрос к СеХД (или во время выполнения запроса к СеХД произошел сбой в канале передачи данных), выполнение запроса началось с начала.

Граф состояний системы представлен на **Рис.3**.

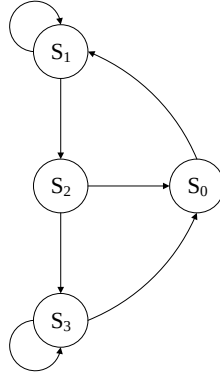


Рис.3 – Граф системы

Следует отметить, что в литературе [16] известна модель такой системы, построенная с применением классического метода, использующего решение уравнения марковского восстановления. Приведем основные результаты

Времена пребывания $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ системы в состояниях S_0, S_1, S_2 и S_3 равны:

$$\theta_0 = 0; \theta_1 = (\alpha_1 \wedge \alpha_2); \theta_2 = \beta; \theta_3 = (\gamma_1 \wedge \gamma_2),$$

где $\wedge$ – знак, обозначающий минимум случайных величин.

Тогда ФР времен пребывания системы в состояниях равны:

$$F_{S0}(t) = 0;$$

$$\bar{F}_{S1}(t) = \bar{F}_1(t) \cdot \bar{F}_2(t);$$

$$F_{S2}(t) = R(t);$$

$$\bar{F}_{S3}(t) = \bar{G}_1(t) \cdot \bar{G}_2(t).$$

Вероятности переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0^1 = 1; \\ p_1^1 \{ \alpha_1 > \alpha_2 \} = \int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt; \\ p_1^2 \{ \alpha_1 < \alpha_2 \} = \int_0^\infty f_1(t) \bar{F}_2(t) dt; \\ p_2^0 = p; \\ p_2^3 = 1 - p; \\ p_3^3 = \int_0^\infty \bar{G}_1(t) g_2(t) dt; \\ p_3^0 = \int_0^\infty g_1(t) \bar{G}_2(t) dt. \end{array} \right.$$

Стационарное распределения вложенной цепи Маркова :

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_0 = \frac{p_1^2 \cdot p_3^0}{2 \cdot p_1^2 \cdot p_3^0 + p_3^0 + p_1^2 \cdot p_2^3}; \\ \rho_1 = \frac{p_3^0}{2 \cdot p_1^2 \cdot p_3^0 + p_3^0 + p_1^2 \cdot p_2^3}; \\ \rho_2 = \frac{p_1^2 \cdot p_3^0}{2 \cdot p_1^2 \cdot p_3^0 + p_3^0 + p_1^2 \cdot p_2^3}; \\ \rho_3 = \frac{p_1^2 \cdot p_2^3}{2 \cdot p_1^2 \cdot p_3^0 + p_3^0 + p_1^2 \cdot p_2^3}. \end{array} \right.$$

Представим множество всех состояний в виде: $E = E_+ \cup E_-$, $E_+ = \{S_1, S_2, S_3\}$, $E_- = \{S_0\}$. Подмножество состояний E_+ описывает процесс обслуживания запроса на чтение.

ФР $\varphi(t)$, описывающая полное время обработки запроса на чтение блочной системой облачного хранения данных равна [16]:

$$\begin{aligned} \varphi(t) = & \int_0^t \varphi_2(y) f_1(t-y) \bar{F}_2(t-y) dy + \\ & + \int_0^t h_1(t-x) \int_0^x \varphi_2(y) f_1(x-y) \bar{F}_2(x-y) dy dx \end{aligned} \quad (1)$$

где $h_1(x) = \sum_{n=1}^{\infty} [\bar{F}_1 \cdot f_2]^{(*)n}(x)$,

$$\begin{aligned} \varphi_2(t) = & p \cdot R(t) + (1-p) \cdot \int_0^t r(t-x) \int_0^x g_1(y) \bar{G}_2(y) dy dx + \\ & + (1-p) \cdot \int_0^t r(t-x) \int_0^x h_3(x-y) \int_0^y g_1(z) \bar{G}_2(z) dz dy dx, \\ h_3(x) = & \sum_{n=1}^{\infty} [\bar{G}_1 \cdot g_2]^{(*)n}(x). \end{aligned}$$

Применим метод путей [8].

Идея метода заключается в построении путей по цепочке переходов в состояния, определении вероятности переходов в состояния по таким цепочкам. ФР времени пребывания в состоянии определяется как последовательная свертка ФР времен пребывания в каждом из состояний цепочки с учетом вероятностей переходов.

Система будет находиться в подмножестве $E_+ = \{S_1, S_2, S_3\}$, проходя по следующим путям:

Первая группа путей:

$$W_1^1 = \{S_1 S_2\}; W_2^1 = \{S_1 S_1 S_2\}; W_3^1 = \{S_1 S_1 S_1 S_2\}; \dots W_n^1 = \{(S_1)^n S_2\}.$$

Определим вероятности реализации каждого пути с учетом того, что каждый путь заканчивается выходом из подмножества E_+ :

$$PW_1^1 = P_1^2 \cdot P_2^0, PW_2^1 = P_1^1 \cdot P_1^2 \cdot P_2^0, PW_3^1 = P_1^1 \cdot P_1^1 \cdot P_1^2 \cdot P_2^0,$$

$$PW_n^1 = \left(P_1^1 \right)^{n-1} \cdot P_1^2 \cdot P_2^0.$$

Определим ПР времен пребывания системы в каждом из путей 1-й группы.

$$f_1^1(t) = f_1(t) * f_2(t); f_2^1(t) = f_1(t) * f_1(t) * f_2(t);$$

$$f_3^1(t) = f_1(t) * f_1(t) * f_1(t) * f_2(t);$$

$$f_n^1(t) = (f_1(t))^{(*)^{(n-1)}} * f_1(t) * f_2(t).$$

Тогда ПР путей 1-й группы может быть вычислена согласно соотношению

$$f^1(t) = f_1^1(t) \cdot PW_1^1 + f_2^1(t) \cdot PW_2^1 + f_3^1(t) \cdot PW_3^1 + \dots + f_n^1(t) \cdot PW_n^1 + \dots =$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} f_i^1(t) \cdot PW_i^1 = \sum_{i=1}^{\infty} \left((f_1(t))^{*(i-1)} * f_1(t) * f_2(t) \right) \cdot \left((P_1^1)^{i-1} \cdot P_1^2 \cdot P_2^0 \right) \quad (2)$$

Вычисление выражения (2) в области оригиналов представляет достаточно сложную инженерную задачу. Поэтому для упрощения расчетов перейдем в область изображений.

Тогда выражение (2) в области изображений по Лапласу примет вид

$$f^1(s) = P_1^2 \cdot P_2^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s) \sum_{i=1}^{\infty} \left((P_1^1 \cdot f_1(s))^{*(i-1)} \right) \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, и ее сумма может быть записана как

$$f^1(s) = \frac{P_1^2 \cdot P_2^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s)}{1 - P_1^1 \cdot f_1(s)} \quad (4)$$

Аналогично определим пути второй группы.

Вторая группа путей:

$$W_1^2 = \{S_1 S_2 S_3\}; W_2^2 = \{S_1 S_1 S_2 S_3\}; W_3^2 = \{S_1 S_2 S_3 S_3\};$$

$$W_n^2 = \left\{ (S_1)^{\overset{\dots}{k}} S_2 (S_3)^l \right\},$$

где $k + l = n$.

Определим вероятности реализации каждого пути с учетом того, что каждый путь заканчивается выходом из подмножества E_+ :

$$PW_1^2 = P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0, PW_2^2 = P_1^1 \cdot P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0, PW_3^2 = P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^3 \cdot P_3^0$$

$$\dots$$

$$PW_n^2 = (P_1^1)^{k-1} \cdot P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot (P_3^3)^{l-1} \cdot P_3^0$$

Определим ПР времен пребывания системы в каждом из путей 1-й группы.

$$f_1^2(t) = f_1(t) * f_2(t) * f_3(t); f_2^2(t) = f_1(t) * f_1(t) * f_2(t) * f_3(t);$$

$$f_3^2(t) = f_1(t) * f_2(t) * f_3(t) * f_3(t);$$

$$\dots$$

$$f_n^2(t) = (f_1(t))^{*(k-1)} * f_1(t) * f_2(t) * f_3(t) * (f_3(t))^{*(l-1)}.$$

Тогда ПР путей 2-й группы может быть вычислена согласно соотношению

$$f^2(t) = f_1^2(t) \cdot PW_1^2 + f_2^2(t) \cdot PW_2^2 + f_3^2(t) \cdot PW_3^2 + \dots + f_n^2(t) \cdot PW_n^2 + \dots =$$

$$= \sum_{i=1}^{\infty} f_i^2(t) \cdot PW_i^2 =$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \left((P_1^1)^{k-1} \cdot P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot (P_3^3)^{l-1} \cdot P_3^0 \right) \cdot \left((f_1(t))^{*(k)} * f_2(t) * (f_3(t))^{*(l)} \right) \quad (5)$$

Аналогично (3) выражение (5) в области изображений по Лапласу примет вид

$$f^2(s) = P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s) \cdot f_3(s) \sum_{k=1}^{\infty} \left(P_1^1 \cdot f_1(s) \right)^{k-1} \cdot \sum_{l=1}^{\infty} \left(P_3^3 \cdot f_3(s) \right)^{l-1} \quad (6)$$

Выражение (5.7) представляет собой бесконечно убывающую геометрическую прогрессию, и ее сумма может быть записана как

$$f^2(s) = \frac{P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s) \cdot f_3(s)}{(1 - P_1^1 \cdot f_1(s)) \cdot (1 - P_3^3 \cdot f_3(s))} \quad (7)$$

Суммируя выражения (5) и (7) получим искомое выражение:

$$f^\Sigma(s) = \frac{P_1^2 \cdot P_2^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s)}{1 - P_1^1 \cdot f_1(s)} + \frac{P_1^2 \cdot P_2^3 \cdot P_3^0 \cdot f_1(s) \cdot f_2(s) \cdot f_3(s)}{(1 - P_1^1 \cdot f_1(s)) \cdot (1 - P_3^3 \cdot f_3(s))} \quad (8)$$

Для вычисления выражения (8) в области изображений с последующим переходом в область оригиналов была написана программа в среде Maple 17. Результаты моделирования представлены на **Рис.4**.

Исходными данными для моделирования служат, ФР $F_1(t)$, $F_2(t)$, $G_1(t)$, $G_2(t)$ и $R(t)$, которые соответствуют обобщенному закону Эрланга второго порядка с параметрами $\lambda_1, \lambda_2; \mu_1, \mu_2; \nu_1, \nu_2; \tau_1, \tau_2$ соответственно. Причем:

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

где $\lambda_1 = 0,275 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\lambda_2 = 2,725 \text{ (с}^{-1}\text{)}$;

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

где $\mu_1 = 0,069 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\mu_2 = 0,681 \text{ (с}^{-1}\text{)}$;

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

где $\nu_1 = 0,275 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\nu_2 = 2,725 \text{ (с}^{-1}\text{)}$;

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

где $\nu_1 = 0,069 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\nu_2 = 0,681 \text{ (с}^{-1}\text{)}$;

$$r(t) = \frac{\tau_1 \tau_2 (e^{-\tau_1 t} - e^{-\tau_2 t})}{\tau_2 - \tau_1},$$

где $\tau_1 = 0,55 \text{ (с}^{-1}\text{)}$; $\tau_2 = 5,45 \text{ (с}^{-1}\text{)}$.

Математические ожидания полного времени обработки запроса на чтение, найденные по формуле (1) и (8) составило соответственно 8,50666666 с и 8,50666666 с, а дисперсии – 29,655466 с² и 28,340435 с².

Выводы. Построенная аналитическая модель позволяет точно определять ФР полного времени обработки запроса на чтение. В дальнейших исследованиях планируется построение аналитической модели более сложной системы, учитывающей запросы, как на чтение, так и на запись.

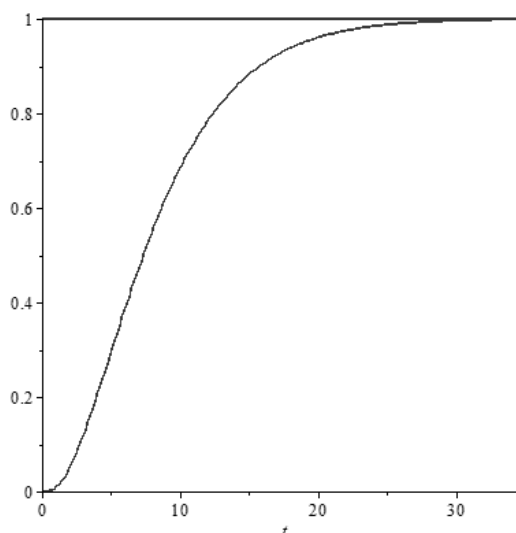


Рис.4 – Вид ФР полного времени обработки запроса на чтение

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. NIST Special Publication 500-307 Cloud Computing Service Metrics Description, NIST Cloud Computing Reference Architecture and Taxonomy Working Group. Web: [http://www.nist.gov/itl/cloud /upload/RATAX-Cloud Service Metrics Description-DRAFT-20141111.pdf](http://www.nist.gov/itl/cloud/upload/RATAX-Cloud%20Service%20Metrics%20Description-DRAFT-20141111.pdf)
2. Скатков, А.В. Расширение референтной модели облачной вычислительной среды в концепции крупномасштабных научных исследований / А.В. Скатков, В.И. Шевченко // Труды ИСП РАН. 2015. № 6. С.285-306. DOI: 10.15514/ISPRAS-2015-27(6)-18
3. Doelitzscher, F. “Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language“, / F. Doelitzscher, T. Ruebsamen, T. Karbe, M. Knahl and C. Reich / International Journal on Advances in Networks and Services, vol 6 no 1&2, 2013, Web: [http://www.iariajournals.org/networks_and_services/ netser_v6_n12_2013_paged.pdf](http://www.iariajournals.org/networks_and_services/netser_v6_n12_2013_paged.pdf).
4. Singha, S.“A Survey Paper on Cloud Storage Auditing with Key Exposure Resistance“, / S. Singha and S.D. Satav // International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4 Issue 11, November 2015, pp. 1821-1823.
5. B. Wang, B. Li and H. Li. “Public Auditing for Shared Data with Efficient User Revocation in the Cloud“, Web: <http://iqua.ece.toronto.edu/papers/bwang-infocom13.pdf>.
6. M. Hogan, F. Liu, A. Sokol and J. Tong, NIST Cloud Computing Standards Roadmap. Computer Security Division Information Technology Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8930 July 2011, Web: http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=909024.
7. От хранения данных к управлению информацией. 2-е изд. – СПб: Питер, 2016. – 544 с.
8. Заморёнов, М.В. Моделирование процесса функционирования обслуживающего устройства с обесценивающими отказами методом путей. / М.В. Заморёнов, В.Я. Копп, Д.В. Заморёнова, Ю.Л. Явкун // Известия

Тулского государственного университета. Технические науки. Вып. 4. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016 с. 225-236

9. Obzherin Yu.E., Boyko E.G. Semi-Markov Models. Control of Restorable Systems with Latent Failures. USA, Elsevier, Academic Press, 2015. 214 p.
10. Peschansky A.I. Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input. Germany: LAP LAMPERT Academic Publishing, 2013. 138 p.
11. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. Пер. с нем. М.: Радио и связь, 1988. 392 с.
12. Королук В.С. Суперпозиция процессов марковского восстановления / В.С. Королук // – Кибернетика. – 1981. №4. – С. 121 – 124.
13. Королук В.С. Полумарковские процессы и их приложения / В.С. Королук, А.Ф. Турбин. – К.: Наук. Думка, 1976. – 181 с.
14. Королук В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. Киев: Наукова думка, 1982. 236 с.
15. Королук В.С. Стохастические модели систем. Отв. ред. А.Ф. Турбин. Киев: Наукова думка, 1989. 208 с.
16. Заморёнов, М.В. Стохастическое моделирование информационной системы облачного хранения данных. / М.В. Заморёнов// Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 12: в 2 ч. Ч. 2 Тула: Изд-во ТулГУ, 2017, С. 306-314.

Bibliograficheskij spisok

1. NIST Special Publication 500-307 Cloud Computing Service Metrics Description, NIST Cloud Computing Reference Architecture and Taxonomy Working Group. The Web: http://www.nist.gov/itl/cloud/upload/the/RATAX-Cloud_Service_Metrics_Description-DRAFT-20141111.pdf
2. A.V. Skatkov, V.I. Shevchenko Extension of the reference model of the cloud computing environment in the concept of large-scale scientific research. Proceedings of ISP RAS. № 6. pp. 285-306. (2015).
3. F. Doelitzscher, T. Ruebsamen, T. Karbe, M. Knahl and C. Reich, "Sun Behind Clouds - On Automatic Cloud Security Audits and a Cloud Audit Policy Language", International Journal on Advances in Networks and Services, № 6 (1&2) (2013).
4. S. Singha, S.D. Satav, "A Survey Paper on Cloud Storage Auditing with Key Exposure Resistance", International Journal of Science and Research (IJSR), Vol. 4. pp. 1821-1823. (2015).
5. B. Wang, B. Li and H. Li. "Public Auditing for Shared Data with Efficient User Revocation in the Cloud", Web: iqua.ece.toronto.edu/papers/bwang-infocom13.pdf.
6. M. Hogan, F. Liu, A. Sokol and J. Tong, NIST Cloud Computing Standards Roadmap. Computer Security Division Information Technology Laboratory Gaithersburg, MD 20899-8930 (2011).
7. From data storage to information management. Peter. P.544. (2016).
8. M.V. Zamoryonov, V.YA. Kopp, D.V. Zamoryonova, YU.L. Yavkun. Modelirovanie processa funkcionirovaniya obsluzhivayushchego ustrojstva s obesenenivayushchimi otkazami metodom putej. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 4. Tula: Izd-vo TulGU, 2016 s. 225-236
9. Yu. E. Obzherin, E.G. Boyko Semi-Markov Models. Control of Restorable Systems with Latent Failures. Elsevier, Academic Press. (2015).
10. A.I. Peschansky Semi-Markov Models of One-Server Loss Queues with Recurrent Input. LAP LAMPERT Academic Publishing. (2013).

11. F. Bayhelt, P Franken. Reliability and maintenance. Mathematical approach. Radio and Communication, (1988).
12. V.S. Korolyuk Superposition of Markov recovery processes. Cybernetics. №4. pp. 121 – 124. (1981).
13. V.S. Korolyuk Semi-Markov processes and their applications. Science. Dumka. (1976).
14. V.S. Korolyuk, A.F. Turbin Markov recovery processes in reliability problems of systems. Naukova Dumka. (1982).
15. V.S. Korolyuk Stochastic models of systems. Naukova Dumka. (1989).
16. Zamoryonov M.V. Stokhasticheskoe modelirovanie informacionnoj sistemy oblachnogo hraneniya dannyh. Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Vyp. 12: v 2 ch. CH. 2 Tula: Izd-vo TulGU, 2017, S. 306-314.

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

MODELING OF THE PROCESS OF THE FUNCTIONING OF THE SYSTEM OF CLOUD STORAGE OF DATA BY THE ROUTE METHOD

Zamoryonov M.V.

The paper presents a semi-Markov model of the cloud data storage system functioning, and in particular, the distribution function of the total processing time of the read request to such a system is determined. A comparison is made between the results obtained by modeling the route method and the classical method using the Markov recovery equations.

Keywords: Modeling, path method, 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.

СТАЦИОНАРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕНАДЕЖНОЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ¹ M/G/N/0Песчанский А.И.¹

Аннотация. Построена полумарковская модель функционирования многоканальной системы обслуживания с потерями, в которой во время обслуживания заявок могут происходить отказы каналов. При этом заявки теряются, а каналы восстанавливаются. Входящий поток заявок является простейшим, а все случайные величины, описывающие эволюцию системы во времени имеют распределения общего вида. Найдены стационарные вероятности пребывания системы в различных физических состояниях и средние стационарные времена пребывания в этих состояниях.

Ключевые слова. Ненадежная система обслуживания, стационарное распределение вложенной цепи Маркова, стационарная вероятность состояний, среднее стационарное время пребывания в состояниях

Введение. Модели систем массового обслуживания, в которых во время обслуживания заявок, могут происходить отказы каналов, исследовались многими авторами. Библиографию этих работ можно найти, например, в [1–3]. Отметим, что наиболее полные результаты получены в предположении, что случайные величины, определяющие эволюцию во времени таких систем, имеют показательные распределения. В этом случае эффективным оказывается аппарат теории марковских процессов. С точки зрения приложений важно освободиться от допущения, что случайные величины имеют показательные распределения. Отказ от этого допущения приводит к значительному усложнению построения моделей. Одной из возможностей исследования систем в этом случае является использование аппарата теории полумарковских процессов с общим фазовым пространством состояний [4–6]. В данной работе с помощью этого аппарата находятся стационарные характеристики ненадежной многоканальной восстанавливаемой системы обслуживания с потерями, в которой все случайные величины, за исключением входящего потока, имеют распределения общего вида.

Постановка задачи. В ненадежную восстанавливаемую N - компонентную систему обслуживания с потерями ($M/G/N/0$ в классификации Кендалла) поступает простейший поток заявок с интенсивностью λ . Время α_k обслуживания заявки k -м каналом имеет произвольную функцию распределения (ФР) $F_k(t) = P\{\alpha_k \leq t\}$. В момент обслуживания может произойти отказ канала, при этом обслуживание прекращается и заявка теряется. Длительность промежутка времени с момента начала обслуживания заявки до отказа канала — СВ γ_k с ФР $\Phi_k(t)$. Отказ канала обнаруживается мгновенно и сразу начинается его восстановление, которое длится случайное время σ_k с ФР $\Psi_k(t)$. Предполагается, что все СВ, описывающие систему, независимы, имеют конечные математические ожидания

¹ Работа поддержана Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках основной части государственного заказа (№ 1.10513.2018/11.12).

$E\alpha_k, E\gamma_k, E\sigma_k$, дисперсии и плотности распределений $f_k(t), \varphi_k(t), \psi_k(t)$, $k = \overline{1, N}$, соответственно.

Цель работы — построить математическую модель функционирования системы, найти стационарные вероятности пребывания системы в различных физических состояниях и средние стационарные времена пребывания в этих состояниях.

Полумарковская модель системы. Для построения математической модели функционирования системы используем аппарат теории полумарковских процессов с дискретно-непрерывным множеством состояний [4,5]. Полумарковский процесс (ПМП) $S(t)$ определим с помощью процесса марковского восстановления $\{S_n, \Theta_n; n \geq 0\}$, где $\{S_n; n \geq 0\}$ — вложенная цепь Маркова (ВЦМ), Θ_n — времена пребывания полумарковского процесса в состояниях.

Определение фазового пространства рассматриваемой системы начнем с описания физических состояний ее элементов. Каждый канал может находиться в следующих состояниях: 0 — канал в работоспособном состоянии ожидает заявку; 1 — канал занят обслуживанием; 2 — канал восстанавливается. Физические состояния всей системы описываются N -мерным вектором $\bar{d} = (d_1, \dots, d_N)$, k -я компонента которого указывает на физическое состояние k -го канала, т.е. $d_k = 0, 1, 2; k = \overline{1, N}$. Для того чтобы в моменты изменений физических состояний системы она обладала марковским свойством, расширим фазовое пространство состояний добавлением непрерывных составляющих. Также перед вектором $\bar{d}$ укажем номер i канала, который изменил свое физическое состояние последним. В результате фазовое пространство состояний будет иметь вид $E = \{\bar{i} \bar{d} \bar{x} \bar{z} \bar{u}, i = \overline{1, N}\}$, где $\bar{x} = (x_1, \dots, x_N)$ — вектор, координаты которого указывают на время, прошедшее с момента начала обслуживания заявки соответствующим каналом. Очевидно, что $x_k = 0$, если $d_k = 0$ или $d_k = 2$. Кроме того, $x_i = 0$ в момент принятия к обслуживанию заявки i -м каналом. Если $d_k = 1$, то соответствующая ненулевая координата вектора $\bar{z} = (z_1, \dots, z_N)$ указывает на оставшееся время до отказа k -го канала, для остальных физических состояний каналов соответствующие компоненты равны 0. Ненулевые компоненты вектора $\bar{u} = (u_1, \dots, u_N)$ — суть оставшиеся времена до восстановления соответствующих каналов в момент изменения физического состояния i -го канала. Очевидно, что $u_k > 0$, если $d_k = 2, k \neq i$; и $u_k = 0$ для $d_k = 0, 1; k = i$.

Определим времена пребывания системы в состояниях. Для этого нам понадобится СВ $[\alpha_k - x_k]_+$ — остаточное время обслуживания заявки k -м каналом при условии, что время обслуживания превысило величину x_k . Эта СВ имеет ФР $P\{[\alpha_k - x_k]_+ \leq t\} = \frac{F_k(x_k + t) - F_k(x_k)}{F_k(x_k)}$ и плотность распределения

$\frac{f_k(x_k + t)}{F_k(x_k)}$. В случае $x_k = 0$ будем полагать, что $[\alpha_k]_+$ есть α_k . Для вектора

$\bar{i} \bar{d} \bar{x} \bar{z} \bar{u}$ введем обозначения: $\omega = \left(\bigwedge_{u_k > 0} u_k \right) \bigwedge \left(\bigwedge_{z_k > 0} z_k \right)$ — минимум

положительных компонент вектора $i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}$; $\Omega_d^0, \Omega_d^1, \Omega_d^2$ — совокупности номеров вектора $\bar{d}$, равных 0, 1, 2 соответственно; $|\bar{d}|$ — число нулевых компонент вектора $\bar{d}$ (число элементов множества Ω_d^0), т.е. число свободных работоспособных каналов в системе.

С учетом введенных обозначений время пребывания системы в состоянии $i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}$ в случае $|\bar{d}| \neq 0$ определяется формулой

$$\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}} = \begin{cases} \beta \wedge \gamma_i \wedge \bigwedge_{k \in \Omega_d^1} [\alpha_k - x_k]_+ \wedge \omega, & d_i = 1, \\ \beta \wedge \sigma_i \wedge \bigwedge_{k \in \Omega_d^1} [\alpha_k - x_k]_+ \wedge \omega, & d_i = 2, \\ \beta \wedge \bigwedge_{k \in \Omega_d^1} [\alpha_k - x_k]_+ \wedge \omega, & d_i = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где $\wedge$ — знак минимума.

Если какие либо из множеств Ω_d^m ($m=0, 1, 2$) пустое, то соответствующая составляющая в формуле (1) отсутствует. Например, в случае $\Omega_d^0 = \emptyset$, т.е. $|\bar{d}| = 0$, в (1) будет отсутствовать СВ β .

Времена пребывания в состояниях ПМП $S(t)$ и события переходов ВЦМ из одного состояния в другие состояния определяются минимумом случайных величин из соотношений (1). Опишем переходные вероятности ВЦМ $\{S_n; n \geq 0\}$. Рассмотрим, например, состояние $i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}$ в случае $d_i = 1$. События переходов из этого состояния определяются минимумом

$$\beta \wedge \gamma_i \wedge \alpha_i \wedge \bigwedge_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} [\alpha_k - x_k]_+ \wedge \omega.$$

Если $\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}} = \alpha_i$, то система переходит в состояние $i\bar{d}'\bar{x}'\bar{z}'\bar{u}'$ с плотностью вероятности

$$p\{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u} \rightarrow i\bar{d}'\bar{x}'\bar{z}'\bar{u}'\} = e^{-\lambda y} \bar{\Phi}_i(y) f_i(y) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\bar{F}_k(x_k + y)}{\bar{F}_k(x_k)},$$

где $\bar{\Phi}_i(y) = 1 - \Phi_i(y)$, $\bar{F}_k(y) = 1 - F_k(y)$, $d'_i = 0$, $d'_k = d_k$, $k \neq i$, $y < \omega$;

$$x'_k = \begin{cases} x_k + y, & k \in \Omega_d^1, k \neq i, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, k = i, \end{cases} \quad z'_k = \begin{cases} z_k - y, & k \in \Omega_d^1, k \neq i, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, k = i, \end{cases} \quad u'_k = \begin{cases} u_k - y, & k \in \Omega_d^2, \\ 0, & k \notin \Omega_d^2. \end{cases}$$

Если $\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}} = \gamma_i$, то

$$p\{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u} \rightarrow i\bar{d}'\bar{x}'\bar{z}'\bar{u}'\} = e^{-\lambda y} \varphi_i(y) \bar{F}_i(y) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\bar{F}_k(x_k + y)}{\bar{F}_k(x_k)},$$

где $d'_i = 2$, $d'_k = d_k$, $k \neq i$, $y < \omega$; $x'_k = \begin{cases} x_k + y, & k \in \Omega_d^1, k \neq i, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, k = i, \end{cases}$

$$z'_k = \begin{cases} z_k - y, & k \in \Omega_d^1, k \neq i, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, k = i, \end{cases} \quad u'_k = \begin{cases} u_k - y, & k \in \Omega_d^2, \\ 0, & k \notin \Omega_d^2. \end{cases}$$

В случае $\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}} = \beta$ имеем

$$p\{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u} \rightarrow j\bar{d}'\bar{x}'\bar{z}'\bar{u}'\} = \frac{\lambda}{|\bar{d}|} e^{-\lambda y} \varphi_i(y + z_i) \bar{F}_i(y) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\bar{F}_k(x_k + y)}{\bar{F}_k(x_k)},$$

где $j \in \Omega_d^0, d'_j = 1, d'_k = d_k, k \neq j, y < \omega, z_i > 0$;

$$x'_k = \begin{cases} x_k + y, & k \in \Omega_d^1, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, \end{cases} \quad z'_k = \begin{cases} z_k - y, & k \in \Omega_d^1, k \neq i, \\ z_i, & k = i, \\ 0, & k \notin \Omega_d^1, \end{cases} \quad u'_k = \begin{cases} u_k - y, & k \in \Omega_d^2, \\ 0, & k \notin \cup \Omega_d^2. \end{cases}$$

Аналогично выписываются плотности вероятностей переходов в оставшиеся состояния.

Очевидно, что в случае пустого подмножества Ω_d^m ($m = 0, 1, 2$) соответствующий множитель в выражении для плотности вероятности перехода отсутствует.

Стационарное распределение вложенной цепи Маркова. Стационарное распределение ВЦМ $\{S_n, n \geq 0\}$ найдем из системы уравнений

$$\rho(B) = \int_E \rho(dx) P(x, B), \quad (2)$$

где $P(x, B)$ — вероятность перехода из состояния x во множество состояний B ; $\rho(\cdot)$ — стационарное распределение ВЦМ [4,5].

Теорема 1. Стационарное распределение ВЦМ $\{S_n, n \geq 0\}$ ПМП $S(t)$ определяется выражениями

$$\rho(i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}) = \begin{cases} \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k), & d_i = 1, \\ \rho_0 \frac{(|\bar{d}| - 1)!}{\lambda^{|\bar{d}| - 1}} \prod_{k \in \Omega_d^1} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k), & d_i = 0, \\ \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) P_i^{omk} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq i}} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k), & d_i = 2, \end{cases} \quad i = \overline{1, N}; \quad (3)$$

$$P_k^{omk} = P(\gamma_k < \alpha_k) = \int_0^\infty \bar{F}_k(x) \varphi_k(x) dx, \quad \rho_0 = const.$$

В справедливости утверждения теоремы можно убедиться непосредственной подстановкой выражений (3) в систему интегральных уравнений (2). Предварительно введем следующие обозначения: если $z = (z_1, \dots, z_k, \dots, z_N)$, то векторы $(\bar{z} + t), (\bar{z} + t)_m$ определяются таким образом:

$$[(\bar{z}+t)]_k = \begin{cases} z_k + t, & z_k > 0, \\ 0, & z_k = 0, \end{cases} \quad [(\bar{z}+t)]_m = \begin{cases} z_k + t, & z_k > 0, k \neq m, \\ 0, & z_k = 0, k = m, \end{cases}$$

Аналогично определяются векторы $(\bar{x}-t)$, $(\bar{u}+t)$, $(\bar{u}+t)_j$. Рассмотрим одно из уравнений системы (2):

$$\begin{aligned} \rho(i\bar{d}xzu) &= \int_0^{x_{\min}} \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{|d|+1} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\overline{F_k}(x_k)}{\overline{F_k}(x_k - t)} \rho[i\bar{d}'(\bar{x}-t)(\bar{z}+t)(\bar{u}+t)] dt + \\ &+ \sum_{j \in \Omega_d^0} \int_0^{x_{\min}} \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{|d|+1} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\overline{F_k}(x_k)}{\overline{F_k}(x_k - t)} \rho[j\bar{d}'(\bar{x}-t)(\bar{z}+t)(\bar{u}+t)] dt + \\ &+ \sum_{j \in \Omega_d^2} \int_0^{x_{\min}} \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{|d|+1} \psi_j(t+u_j) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\overline{F_k}(x_k)}{\overline{F_k}(x_k - t)} \rho[j\bar{d}'(\bar{x}-t)(\bar{z}+t)(\bar{u}+t)_j] dt + \\ &+ \frac{\lambda e^{-\lambda x_{\min}}}{|d|+1} \varphi_m(z_m + x_{\min}) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\overline{F_k}(x_k)}{\overline{F_k}(x_k - x_{\min})} \times \\ &\times \rho[m\bar{d}'(\bar{x} - x_{\min})(\bar{z} + x_{\min})_m(\bar{u} + x_{\min})], \end{aligned}$$

где $d_i = 1$, $d'_i = 0$, $d'_k = d_k$, $k \neq i$; $x_{\min} = \bigwedge_{x_k > 0} x_k$, $x_{\min} = x_m$.

Подставим (3) в правую часть уравнения, в результате преобразований получим

$$\begin{aligned} &\rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \int_0^{x_{\min}} \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{|d|+1} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \overline{F_k}(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k) dt + \\ &+ \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \sum_{j \in \Omega_d^0} \int_0^{x_{\min}} \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{|d|+1} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \overline{F_k}(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k) dt + \\ &+ \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \sum_{j \in \Omega_d^2} \int_0^{x_{\min}} e^{-\lambda t} P_j^{omk} \psi_j(t+u_j) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \overline{F_k}(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \times \\ &\times \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq j}} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k) dt + \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} e^{-\lambda x_{\min}} \overline{F_m}(x_{\min}) \varphi_m(z_m + x_{\min}) \times \\ &\times \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i, m}} \overline{F_k}(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k + x_{\min}) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= -\rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \int_0^{x_{\min}} \frac{\partial}{\partial t} \left\{ e^{-\lambda t} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k + t) \right\} dt + \\
 &+ \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} e^{-\lambda x_{\min}} \bar{F}_m(x_{\min}) \varphi_m(z_m + x_{\min}) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i, m}} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \times \\
 &\quad \times \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k + x_{\min}) = \\
 &= \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \bar{F}_k(x_k) \varphi_k(x_k + z_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \bar{\Psi}_k(u_k) = \rho(i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}).
 \end{aligned}$$

Постоянная ρ_0 находится из условия нормировки.

Стационарные вероятности состояний. Если фазовое пространство состояний E представляется в виде объединения непересекающихся подмножеств $E = \bigcup_{i=1}^n E_i$, $E_i \cap E_j = \emptyset$, то, как известно [4,5], в случае существования единственного стационарного распределения ВЦМ $\{S_n, n \geq 0\}$ стационарные вероятности p_i^* пребывания системы в подмножествах состояний определяются формулами

$$p_i^* = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{S(t) \in E_i / S(0) = x\} = \int_{E_i} m(x) \rho(dx) \left(\int_E m(x) \rho(dx) \right)^{-1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

где $m(x)$ — среднее время пребывания системы в состоянии $x \in E$, $\rho(\cdot)$ — стационарное распределение вложенной цепи Маркова.

С помощью (4) найдем стационарные вероятности пребывания рассматриваемой системы обслуживания в различных физических состояниях. Обозначим D множество всех физических векторов $\bar{d}$, описывающих состояния, а D^* некоторое его подмножество. Пусть $E_{D^*} = \{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}, i = \overline{1, N}, \bar{d} \in D^*\}$ подмножество фазовых состояний системы, дискретная составляющая $\bar{d}$ которых принадлежит D^* . Найдем выражение для $\int_{E_{D^*}} m(x) \rho(dx) = \sum_{\bar{d} \in D^*} \int_{E_{\bar{d}}} m(x) \rho(dx)$, где $E_{\bar{d}}$ подмножество фазовых состояний E с фиксированным вектором состояний $\bar{d}$.

При нахождении выражения для $\int_{E_{\bar{d}}} m(x) \rho(dx)$ учтем, что среднее время $E[\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}}]$ пребывания системы в состоянии $i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}$ определяется формулами

$$E[\Theta_{id\bar{x}zu}] = \begin{cases} \int_0^{\omega} e^{-\lambda t} \bar{F}_i(t) \bar{\Phi}_i(t) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq i}} \frac{\bar{F}_k(x_k + t)}{\bar{F}_k(x_k)} dt, & i \in \Omega_d^1, \\ \int_0^{\omega} e^{-\lambda t} \bar{\Psi}_i(t) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq i}} \frac{\bar{F}_k(x_k + t)}{\bar{F}_k(x_k)} dt, & i \in \Omega_d^2, \\ \int_0^{\omega} e^{-\lambda t} \prod_{k \in \Omega_d^1} \frac{\bar{F}_k(x_k + t)}{\bar{F}_k(x_k)} dt, & i \in \Omega_d^0. \end{cases} \quad (5)$$

Если какое-либо из подмножеств $\Omega_d^1, \Omega_d^2, \Omega_d^0$ — пустое, то соответствующее выражение под знаком интеграла в (5) отсутствует.

В результате преобразований, учитывая вид стационарного распределения ВЦМ (3) и формулу (5), получаем

$$\int_{E_{\bar{d}}} m(x) \rho(dx) = \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)},$$

$$\text{где } T_k^{(1)} = E(\alpha_k \wedge \gamma_k) = \int_0^{\infty} \bar{F}_k(t) \bar{\Phi}_k(t) dt, \quad T_k^{(2)} = P_k^{omk} E \sigma_k.$$

Таким образом, стационарная вероятность $p^*(D^*)$ того, что по дискретной компоненте $\bar{d}$ система находится в состояниях, принадлежащих подмножеству физических состояний D^* , определяется формулой

$$p^*(D^*) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{S(t) \in E_{D^*}\} = \frac{\sum_{\bar{d} \in D^*} \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)}}{\sum_{\bar{d} \in D} \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)}}. \quad (6)$$

В результате преобразований сумм произведения средних формулу (6) можно записать в виде

$$p^*(D^*) = \frac{\sum_{\bar{d} \in D^*} \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)}}{\sum_{n=0}^N \frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n}} \sum_{\{s_1, \dots, s_n\}} \prod_{i=1}^n (T_{s_i}^{(1)} + T_{s_i}^{(2)})}, \quad (7)$$

где $\{s_1, \dots, s_n\}$ — некоторое сочетание из $\{1, 2, \dots, N\}$ по n .

В частности, пусть n число занятых каналов в системе, тогда число свободных работоспособных каналов равно $|\bar{d}| = N - n$. Обозначим D_n^* множество векторов, число ненулевых компонент которых равно n . Из формулы (7) вытекает, что стационарная вероятность того, что число занятых каналов в системе равно n , имеет вид

$$p_n^* = P(D_n^*) = \frac{\frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n}} \sum_{\{s_1, \dots, s_n\}} \prod_{i=1}^n (T_{s_i}^{(1)} + T_{s_i}^{(2)})}{\sum_{n=0}^N \frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n}} \sum_{\{s_1, \dots, s_n\}} \prod_{i=1}^n (T_{s_i}^{(1)} + T_{s_i}^{(2)})}, \quad n = \overline{0, N}. \quad (8)$$

Для однородной системы обслуживания, в которой все каналы описываются одинаковыми случайными величинами, равенства (8) принимают

вид формул Эрланга $p_n^* = \frac{\Lambda^n/n!}{\sum_{n=0}^N \Lambda^n/n!}$, где

$$\Lambda = \lambda \left[E(\alpha \wedge \gamma) + P^{omk} E\sigma \right] = \lambda \left[\int_0^\infty \bar{F}(x) \bar{\Phi}(x) dx + E\sigma \int_0^\infty \bar{F}(x) \varphi(x) dx \right].$$

В частном случае для абсолютно надежной однородной системы, когда $T^{(1)} = E\alpha$, $T^{(2)} = 0$, формулы (8) совпадают с известными стационарными вероятностями того, что в системе $M/G/N/0$ с обслуживанием занято ровно n каналов [6].

Среднее стационарное время пребывания в состояниях. Пусть множество физических состояний системы представимо в виде объединения двух непересекающихся подмножеств, т.е. $D = D_+ \cup D_-$, $D_+ \cap D_- = \emptyset$. Обозначим D'_+ множество пограничных физических состояний, т.е. множество таких векторов $\bar{d} \in D_+$, для которых изменение некоторой одной из компонент переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_- . Для вектора $\bar{d} \in D'_+$ обозначим $G_m^k(\bar{d})$ множество номеров его компонент, изменение значения каждой из которых со значения m на k ($m, k = 0, 1, 2$) переводит вектор во множество D_- . Тогда пространство состояний E разбивается на два непересекающихся подмножества $E = E_{D_+} \cup E_{D_-}$, где $E_{D_\pm} = \{i\bar{d}xz\bar{u}, i = \overline{1, N}, \bar{d} \in D_\pm\}$. Для определения среднего стационарного времени $T(E_{D_+})$ пребывания ПМП $S(t)$ в подмножестве состояний E_{D_+} используем равенство [4,5]

$$T(E_{D_+}) = \int_{E_{D_+}} m(x) \rho(dx) \left[\int_{E_{D_+}} \rho(dx) P(x, E_{D_-}) \right]^{-1}.$$

Теорема 2. Среднее стационарное время пребывания системы в подмножестве состояний E_{D_+} определяется по формуле

$$\begin{aligned} T(E_{D_+}) &= \frac{1}{A} \sum_{\bar{d} \in D_+} \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)}, \\ A &= \sum_{\bar{d} \in D'_+} \left\{ \frac{(|\bar{d}|-1)!}{\lambda^{|\bar{d}|-1}} \sum_{m \in G_0^1(\bar{d})} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \left[\sum_{m \in G_2^0(\bar{d})} P_m^{omk} \prod_{k \in \Omega_d^1} T_k^{(1)} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq m}} T_k^{(2)} + \sum_{m \in G_1^0(\bar{d})} (1 - P_m^{omk}) \times \right. \right. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\left. \times \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq m}} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)} + \sum_{m \in G_1^0(\bar{d})} P_m^{omk} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq m}} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)} \right\}, \quad (10)$$

В случае какого-либо пустого из множеств $G_m^k(\bar{d})$ соответствующие слагаемые в формуле (10) следует опустить.

Для доказательства теоремы преобразуем сумму интегралов в выражении $\int_{E_{D_+}} \rho(dx) P(x, E_{D_-})$. Рассмотрим интегралы, содержащие $\rho(i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u})$, $i = \overline{1, N}$, с фиксированным вектором $\bar{d} \in D'_+$ из пограничного слоя, для которого изменение m -й компоненты с $d_m = 1$ на $d'_m = 0$ переводит вектор $\bar{d}$ во множество D_- , т.е. $m \in G_1^0(\bar{d})$. Из состояния $i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}$ система переходит в подмножество E_- , если минимум времени пребывания в этом состоянии достигается на СВ α_m , т.е. $\Theta_{i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}} = \alpha_m$. Вероятность этого перехода равна

$$\int_0^\omega e^{-\lambda t} f_m(t) \overline{\Phi}_m(t) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq m}} \frac{\overline{F}_k(x_k + t)}{\overline{F}_k(x_k)} dt.$$

В результате преобразований получаем

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^N \iiint \rho(i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}) P(i\bar{d}\bar{x}\bar{z}\bar{u}, E_-) d\bar{x} d\bar{z} d\bar{u} = \\ & = -\rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} \int_0^\infty \frac{d}{dt} \left\{ e^{-\lambda t} \int_t^\infty f_m(s) \overline{\Phi}_m(s) ds \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq m}} \int_t^\infty \overline{F}_k(s) \overline{\Phi}_k(s) ds \times \right. \\ & \times \prod_{k \in \Omega_d^2} P_k^{omk} \int_t^\infty \overline{\Psi}_k(u) du \left. \right\} = \rho_0 \frac{|\bar{d}|!}{\lambda^{|\bar{d}|}} (1 - P_m^{omk}) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq m}} T_k^{(1)} \prod_{k \in \Omega_d^2} T_k^{(2)}. \end{aligned}$$

Таким образом, в правую часть формулы (10) входит сумма слагаемых для всех номеров $m \in G_1^0(\bar{d})$. Аналогичные выкладки проводятся для других векторов из пограничного слоя.

В частности из формулы (9) следует, что среднее время $T_n = T(E_{D_n^*})$, в течение которого заняты n , каналов системы, определяется выражением

$$T_n = \frac{\frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n}} \sum_{\{s_1, \dots, s_n\}} \prod_{i=1}^n (T_{s_i}^{(1)} + T_{s_i}^{(2)})}{\sum_{\{s_1, \dots, s_n\}} \left\{ \frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n}} \sum_{\substack{i=1 \\ j \neq i}}^n \prod_{j=1}^n (T_{s_j}^{(1)} + T_{s_j}^{(2)}) + \frac{(N-n)!}{\lambda^{N-n-1}} \prod_{j=1}^n (T_{s_j}^{(1)} + T_{s_j}^{(2)}) \right\}}, \quad (11)$$

где $n = \overline{1, N-1}$; $\{s_1, \dots, s_n\}$ — некоторое сочетание из $\{1, 2, \dots, N\}$ по n .

В частности, среднее время, в течение которого все каналы системы

$$\text{свободны, равно } T_0 = 1/\lambda, \text{ а все приборы заняты — } T_N = \frac{\prod_{j=1}^N [T_j^{(1)} + T_j^{(2)}]}{\sum_{i=1}^N \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N [T_j^{(1)} + T_j^{(2)}]}.$$

Для однородной системы формула (11) принимает вид

$$T_n = \frac{T^{(1)} + T^{(2)}}{n + \lambda[T^{(1)} + T^{(2)}]}.$$

В качестве частного случая выпишем стационарные характеристики для системы обслуживания, в которой все случайные величины ее описывающие, имеют показательные распределения. Пусть время обслуживания заявки k -м каналом имеет плотность $f_k(t) = \mu_k e^{-\mu_k t}$; время γ_k безотказной работы канала — плотность $\varphi_k(t) = \eta_k e^{-\eta_k t}$; время σ_k восстановления канала — плотность $\psi_k(t) = \nu_k e^{-\nu_k t}$. Тогда в формулах (8) и (9) для определения стационарных вероятностей и средних стационарных времен пребывания в состояниях выражения $T_k^{(1)} + T_k^{(2)}$ принимают вид

$$T_k^{(1)} + T_k^{(2)} = \frac{\nu_k + \eta_k}{\nu_k(\mu_k + \eta_k)}.$$

Заметим, что в частном случае однородной системы формулы для вычисления финальных вероятностей совпадают с известными формулами работы [7].

Выводы. С помощью аппарата теории полумарковских процессов с дискретно-непрерывным множеством состояний построена математическая модель функционирования многоканальной системы обслуживания с ненадежными обслуживающими каналами. Решение системы интегральных уравнений для определения стационарного распределения вложенной цепи Маркова позволило найти эффективные формулы для вычисления стационарных вероятностей пребывания системы в различных физических состояниях и среднее время пребывания системы в этих состояниях. Полученные в работе результаты являются обобщением уже известных и позволяют оценить влияние надежности каналов на стационарные характеристики системы.

Библиографический список

1. Гнеденко, Б.В., Коваленко, И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. — М.: ЛКИ, 2012. — 400 с.
2. Бочаров, П.П., Печинкин, А.В. Теория массового обслуживания. — М.: Изд-во РУДН, 1995. — 529 с.
3. Марьянович, Т.П. Обобщение формул Эрланга на случай, когда приборы могут выходить из строя и восстанавливаться/ Т. П. Марьянович // Укр. матем. журн. — 1960. — Т. 12. — №3. — С. 279–286.
4. Королук, В.С., Турбин, А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. — Киев: Наук. думка, 1982. — 236 с.

5. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.И. Новиков, А.Ф. Турбин. — Кишинев: Штиинца, 1991. — 209 с.
6. Копп, В.Я. Стохастические модели автоматизированных производственных систем с временным резервированием/ В.Я. Копп, Ю. Е. Обжерин, А.И. Песчанский. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2000. — 286 с.
7. Якушев, Ю.Ф. Об одной задаче обслуживания потока вызовов ненадежными приборами/ Ю.Ф. Якушев // Проблемы передачи информации. —1969. — Т. 5. — №4. — С. 84–88.

Bibliograficheskiy spisok

1. Gnedenko B.V., Kovalenko I.N. Vvedenie v teoriyu massovogo obsluzhivaniya. — M.: LKI, 2012. — 400 s.
2. Bocharov P.P., Pechinkin A.V. Teoriya massovogo obsluzhivaniya. — M.: Izd-vo RUDN, 1995. — 529 s.
3. Maryanovich T. P. Obobschenie formul Erlanga na sluchay, kogda priboryi mogut vyihodit iz stroya i vosstanavlivatsya/ T. P. Maryanovich // Ukr. matem. zhurn. — 1960. — Т. 12. — #3. — С. 279–286.
4. Korolyuk V.S., Turbin A.F. Protsessyi markovskogo vosstanovleniya v zadachah nadezhnosti sistem. — Kiev: Nauk. dumka, 1982. — 236 s.
5. Polumarkovskie modeli vosstanavlivayemykh sistem i sistem massovogo obsluzhivaniya / A.N. Korlat, V.N. Kuznetsov, M.I. Novikov, A.F. Turbin. — Kishinev: Shtiintsa, 1991. — 209 s.
6. Kopp V.Ya. Stokhasticheskie modeli avtomatizirovannykh proizvodstvennykh sistem s vremennym rezervirovaniem/ V.Ya. Kopp, Yu. E. Obzherin, A.I. Peschanskiy. — Sevastopol: Izd-vo SevNTU, 2000. — 286 s.
7. Yakushev Yu.F. Ob odnoy zadache obsluzhivaniya potoka vyizovov nenadezhnyimi priborami/ Yu.F. Yakushev // Problemyi peredachi informatsii. — 1969. — Т. 5. —#4. — С. 84–88.

Песчанский Алексей Иванович, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры высшей математики, peschansky@mail.ru, Россия, Севастополь, Севастопольский государственный университет

STEADY-STATE CHARACTERISTICS OF UNRELIABLE RESTORABLE M / G / N / 0 QUEUEING SYSTEM

Peschansky A.I.

Semi-Markov model of multicomponent queueing loss system operation is constructed. During request service failures can occur. Herewith, the request is lost, and the channel is restored. The input flow of requests is the simplest, and all the random variables describing the system evolution in time are considered to have general distributions. Steady-state probabilities of system sojourn times in different physical states and average steady-state sojourn times in these states are obtained.

Key words: Unreliable queueing system, the embedded Markov chain steady-state distribution, steady-state probabilities of states, average steady-state sojourn time in states.

Peschansky Aleksey Ivanovich, Doctor of Engineering, Professor, peschansky@mail.ru, Russia, Sevastopol, Sevastopol State University.

НЕЧЁТКО-МНОЖЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВЕ НА НАЛОГОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СТРАНЫ

Агамалыев М.А.

***Аннотация.** Рассматриваются два подхода к оценке влияния изменений в законодательстве на налоговый потенциал страны, реализованных на основе метода взвешенных коэффициентов факторов влияния и на основе системы нечёткого логического вывода, построенной на базе вербальной модели. На произвольных примерах законодательных инициатив проведён сравнительный анализ результатов, полученных с применениями обоих методов.*

***Ключевые слова.** Законодательная инициатива, налоговый потенциал, коэффициент конкордации, экспертная оценка, нечёткое множество, нечёткий вывод.*

Введение. Адекватное управление системой налогообложения (СН) является динамически сложной задачей, а сам налоговый менеджмент (НМ) представляет собой слабо структурированную и, соответственно, трудно формализуемую процедуру. На современной стадии развития информационной и смежных технологий любая СН не может существовать в отрыве от человека. Поэтому её оценка имеет не только объективную, но и субъективную составляющую, поскольку в конечном итоге анализ влияния существующего законодательства и государственного администрирования на уровень её развития осуществляется самим человеком. Это является достаточно важным фактором, который обуславливает необходимость применения качественных категорий для оценки текущего уровня СН, т.е. термов лингвистических переменных (ЛП), являющихся основными структурными единицами естественного языка субъекта управления [1]. Именно эта парадигма и объясняет необходимость применения элементов нечёткой логики.

Постановка задачи. Основными шагами на пути обеспечения оптимального налогообложения являются предвидение налогового потенциала (НП), предотвращение, локализация и устранение ущерба от несбалансированных решений. При этом сама оценка уровня НП всегда относительна, а желание приписать ей числовое значение неприемлемо с точки зрения дальнейшей интерпретации комплексных результатов. СН и НП – это комплексные понятия и не могут рассматриваться в виде простой совокупности своих взаимосвязанных и/или взаимозависимых составляющих, так как каждая из них критически значима. При комплексной оценке НП численное описание критериев оценки невозможен. Поэтому необходимо разработать такую модель для комплексной оценки уровня НП, чтобы на её основе можно было бы унифицировать подходы к формированию СН.

Факторы, влияющие на величину НП страны. НП, реализуясь в бюджетных доходах государства, зависит от большого числа факторов, т.е. в рамках СН государства формирование НП является многофакторным процессом.

Существуют различные способы классификации этих факторов. Мы же ограничимся одним обобщённым *внутренним* и семью *внешними* факторами влияния (ФВ) [2]²: x_1 – *внутренний*, включающий в себя регионально-законодательные, социально-демографический, ресурсно-сырьевой, инфраструктурный, инновационный, экологический, инвестиционный факторы, а также факторы «теневой экономики», отлаженности СН и налоговой культуры; x_2 – *законодательные*, оказывающих прямое и/или косвенное влияния на НП; x_3 – *система государственного устройства*, от которой напрямую зависит формирование доходов в бюджетную систему государства; x_4 – *макроэкономические*, характеризующие состояние глобальной экономики и внешнеэкономическую деятельность страны; x_5 – *политические*, характеризующие политическую ситуацию в стране и реализуемые через отношения между бюджетами различных уровней; x_6 – *инфляционные*, обусловленные повышением уровня цен; x_7 – *географический*, определяющий перспективы развития ресурсной обеспеченности территории страны; x_8 – *природно-климатические*, обусловленные климатическими условиями, наличием и составом природных ресурсов и др.

Предположим, что представленный список ФВ на НП согласован экспертным сообществом, а предварительный анализ ФВ осуществляется на основе двух методов экспертизы: сравнительная качественная оценка ФВ – методом простого ранжирования (или методом предпочтений экспертов), а количественная оценка параметров ФВ – методом задания весов (нормированных значений). Далее, определив степень согласованности экспертных оценок и обобщённые веса ФВ, на основе экспертных заключений принимается решение о формировании взвешенных оценок влияния тех или иных изменений в Налоговом Кодексе на НП страны.

Ранжирование ФВ на НП. Предположим, что путём независимого анкетирования 15-ти экспертов в области налогообложения были установлены их приоритетные оценки r_{ij} ($j=1\div 15$) по перечисленным ФВ x_i ($i=1\div 8$). Для этого каждому эксперту в индивидуальном порядке было предложено ранжировать ФВ x_i по принципу: наиболее важный фактор обозначить цифрой «1», следующий менее важный – цифрой «2» и далее по убыванию порядка предпочтения эксперта. Полученные таким образом ранговые оценки упорядочены в виде **Таблицы 1**.

Таблица 1. – Ранжирование ФВ с учётом приоритетов экспертов

Экспе рт	ФВ x_i ($i=1\div 8$) и их ранговые экспертные оценки (r_{ij})							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
01	1	3	2	4	5	6	7	8
02	1	2	4	3	7	6	5	8
03	2	1	3	5	7	4	6	8
04	1	3	2	4	7	6	8	5

² При этом необходимо иметь ввиду, что полная реализация НП возможна лишь в случае задействования всех факторов влияния.

05	3	1	2	5	4	7	6	8
06	1	3	4	2	5	8	6	7
07	2	3	1	4	6	5	7	8
08	1	4	2	3	5	6	7	8
09	2	1	5	4	3	7	6	8
10	1	2	4	5	3	8	7	6
11	4	1	2	3	6	5	8	7
12	1	2	5	4	3	7	6	8
13	2	1	5	3	4	6	7	8
14	1	2	3	4	5	7	6	8
15	2	3	4	1	5	6	8	7
$\sum r_{ij}$	25	32	48	54	75	94	100	112

Чтобы установить степень согласованности экспертных заключений применим коэффициент Кендалла, демонстрирующий ранговую корреляцию экспертных мнений. Согласно [3] этот коэффициент вычисляется как:

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

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

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

где $r_{ij} \in \{1, 2, \dots, 8\}$ – ранг i -го ФВ, установленный j -ым экспертом ($j=1 \div m$). Согласно (1) ранговая корреляция ФВ при величине $S=7424$ характеризуется числом $W=12 \cdot 7424 / [15^2(8^3-8)]=0.7856$, которое, согласно [3] свидетельствует о достаточно высокой степени согласованности экспертных заключений относительно приоритетности ФВ x_i ($i=1 \div 8$).

Идентификация весов ФВ на основе экспертных оценок. На предварительном этапе независимого анкетирования каждому из привлечённых экспертов также было поручено установить значения нормированных оценок ФВ x_i ($i=1 \div 8$). Результаты этого анкетирования сведены в **Таблицу 2**.

Таблица 2. – Экспертные значения нормированных оценок признаков

Эксперт	ФВ x_i ($i=1 \div 8$) и их нормированные значения (α_{ij})							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
01	0.250	0.150	0.200	0.125	0.100	0.085	0.065	0.025
02	0.250	0.200	0.125	0.185	0.050	0.065	0.100	0.025
03	0.175	0.250	0.150	0.100	0.065	0.125	0.085	0.050
04	0.250	0.150	0.200	0.125	0.060	0.075	0.040	0.100
05	0.175	0.225	0.200	0.100	0.150	0.050	0.075	0.025
06	0.250	0.175	0.125	0.200	0.100	0.025	0.075	0.050

07	0.200	0.175	0.250	0.125	0.075	0.100	0.050	0.025
08	0.250	0.125	0.200	0.175	0.100	0.075	0.050	0.025
09	0.200	0.250	0.100	0.125	0.175	0.050	0.075	0.025
10	0.250	0.200	0.125	0.100	0.175	0.025	0.050	0.075
11	0.125	0.250	0.200	0.175	0.075	0.100	0.025	0.050
12	0.250	0.200	0.100	0.125	0.175	0.050	0.075	0.025
13	0.200	0.250	0.100	0.175	0.125	0.075	0.050	0.025
14	0.250	0.200	0.175	0.125	0.100	0.050	0.075	0.025
15	0.200	0.175	0.125	0.250	0.100	0.075	0.025	0.050
$\sum r\alpha_{ij}$	3.275	2.975	2.375	2.210	1.625	1.025	0.915	0.600

Отправляясь от данных, представленных в **Таблице 2**, определим групповые оценки ФВ. Так средняя α_i по i -ой группе нормированных оценок ФВ находится на основе следующего равенства:

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

где $w_j(t)$ – величина, характеризующая степень компетентности j -го эксперта ($j=1 \div m$) на момент времени t . Усреднение групповых оценок нормированных значений является итерационным процессом, который завершается после выполнения условия:

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

где ε – допустимая точность, которую выберем как $\varepsilon=0.001$.

На начальном этапе ($t=0$) допускается, что эксперты обладают одинаковыми степенями компетентности: $w_j(0)=1/m$ ($j=1 \div 15$). Тогда в 1-ом приближении усреднением по i -ой группе нормированных оценок ОП будет:

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

Согласно (3) усреднёнными оценками ФВ по группам в 1-ом приближении будут следующие соответствующие числа: $\{\alpha_1(1); \alpha_2(1); \alpha_3(1); \alpha_4(1); \alpha_5(1); \alpha_6(1); \alpha_7(1); \alpha_8(1)\} = \{0.2183; 0.1983; 0.1583; 0.1473; 0.1083; 0.0683; 0.0610; 0.0400\}$, для которых, как не трудно проверить, требование (4) не выполняется. Поиск 2-го приближения начинается с определения нормирующего множителя $\eta(1)$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} \eta(1) &= \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(1) \alpha_{ij} = \\ &= 0.2183 \cdot 3.275 + 0.1983 \cdot 2.975 + 0.1583 \cdot 2.375 + 0.1473 \cdot 2.210 + \\ &+ 0.1083 \cdot 1.625 + 0.0683 \cdot 1.025 + 0.0610 \cdot 0.915 + 0.04 \cdot 0.600 = 2.3326, \end{aligned}$$

с помощью которого обновляются показатели компетентности экспертов по средствам следующих выражений:

$$\begin{cases} w_j(1) = \frac{1}{\eta(1)} \sum_{i=1}^8 \alpha_i(1) \cdot \alpha_{ij}, j = 1 \div 14; \\ w_{15}(1) = 1 - \sum_{j=1}^{14} w_j(1); \\ \sum_{j=1}^{15} w_j(1) = 1, \end{cases} \quad (6)$$

где $w_{15}(1)$ – показатель компетентности 15-го эксперта. Согласно (6) соответствующими показателями компетентности экспертов будут: $\{w_1(1); w_2(1); w_3(1); w_4(1); w_5(1); w_6(1); w_7(1); w_8(1); w_9(1); w_{10}(1); w_{11}(1); w_{12}(1); w_{13}(1); w_{14}(1); w_{15}(1)\} = \{0.0669; 0.0678; 0.0639; 0.0654; 0.0662; 0.0676; 0.0666; 0.0672; 0.0666; 0.0667; 0.0655; 0.0671; 0.0676; 0.0687; 0.0662\}$. Тогда во 2-ом приближении усреднениями по группам нормированных значений ФВ по частному выражению формулы (3): $\alpha_i(2) = \sum_{j=1}^{15} w_j(1) \alpha_{ij}$, будут следующие соответствующие числа: $\{\alpha_1(2); \alpha_2(2); \alpha_3(2); \alpha_4(2); \alpha_5(2); \alpha_6(2); \alpha_7(2); \alpha_8(2)\} = \{0.5194; 0.4289; 0.3423; 0.4016; 0.2693; 0.1590; 0.1986; 0.1540\}$.

Как видно из следующих расчётов:

$$\begin{aligned} \max_i \{|\alpha_i(2) - \alpha_i(1)|\} &= \max_i \{ |0.5194 - 0.2183|, |0.4289 - 0.1983|, \\ &|0.3423 - 0.1583|, |0.4016 - 0.1473|, |0.2693 - 0.1083|, |0.1590 - 0.0683|, \\ &|0.1986 - 0.0610|, |0.1540 - 0.0400| \} = 0.3011 > \varepsilon, \end{aligned}$$

условие (4) вновь не выполняется и, поэтому, переходя к следующей итерации, определим нормирующий множитель $\eta(2)$ в виде:

$$\begin{aligned} \eta(2) &= \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(2) \alpha_{ij} = \\ &= 0.5194 \cdot 3.2750 + 0.4289 \cdot 2.975 + 0.3423 \cdot 2.375 + 0.4016 \cdot 2.210 + \\ &+ 0.2693 \cdot 1.625 + 0.1590 \cdot 1.025 + 0.1986 \cdot 0.915 + 0.1540 \cdot 0.600 = 5.5523, \end{aligned}$$

и по формуле (6) соответствующие показатели компетентности экспертов: $\{w_1(2); w_2(2); w_3(2); w_4(2); w_5(2); w_6(2); w_7(2); w_8(2); w_9(2); w_{10}(2); w_{11}(2); w_{12}(2); w_{13}(2); w_{14}(2); w_{15}(2)\} = \{0.0666; 0.0685; 0.0633; 0.0656; 0.0654; 0.0687; 0.0657; 0.0675; 0.0665; 0.0668; 0.0648; 0.0673; 0.0675; 0.0683; 0.0673\}$. Тогда усреднения по группам ФВ в 3-ем приближении: $\alpha_i(3) = \sum_{j=1}^{15} w_j(2) \alpha_{ij}$, будут следующие числа: $\{\alpha_1(3); \alpha_2(3); \alpha_3(3); \alpha_4(3); \alpha_5(3); \alpha_6(3); \alpha_7(3); \alpha_8(3)\} = \{0.5204; 0.4297; 0.3430; 0.4027; 0.2703; 0.1599; 0.1997; 0.1551\}$.

Как видно из:

$$\begin{aligned} \max_i \{|\alpha_i(3) - \alpha_i(2)|\} &= \max_i \{ |0.5204 - 0.5194|, |0.4297 - 0.4289|, \\ &|0.3430 - 0.3423|, |0.4027 - 0.4016|, |0.2703 - 0.2693|, |0.1599 - 0.1590|, \\ &|0.1997 - 0.1986|, |0.1551 - 0.1540| \} = 0.0012 > \varepsilon, \end{aligned}$$

условие (4) также не выполняется. Поэтому продолжаем искать групповые усреднённые оценки ФВ на НП в 4-ом приближении. Т.е., полагая, что:

- нормирующий множитель:

$$\begin{aligned}\eta(3) &= \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{15} \alpha_i(3) \alpha_{ij} = \\ &= 0.5204 \cdot 3.2750 + 0.4297 \cdot 2.975 + 0.3430 \cdot 2.375 + 0.4027 \cdot 2.210 + \\ &+ 0.2703 \cdot 1.625 + 0.1599 \cdot 1.025 + 0.1997 \cdot 0.915 + 0.1551 \cdot 0.600 = 5.5666,\end{aligned}$$

- показатели компетентности экспертов: $\{w_1(3); w_2(3); w_3(3); w_4(3); w_5(3); w_6(3); w_7(3); w_8(3); w_9(3); w_{10}(3); w_{12}(3); w_{12}(3); w_{13}(3); w_{14}(3); w_{15}(3)\} = \{0.0668; 0.0687; 0.0635; 0.0658; 0.0656; 0.0689; 0.0658; 0.0677; 0.0667; 0.0670; 0.0649; 0.0675; 0.0677; 0.0685; 0.0649\}$,

согласно (4): $\alpha_i(4) = \sum_{j=1}^{15} w_j(3) \alpha_{ij}$, получим следующие средние оценки ФВ по группам: $\{\alpha_1(4); \alpha_2(4); \alpha_3(4); \alpha_4(4); \alpha_5(4); \alpha_6(4); \alpha_7(4); \alpha_8(4)\} = \{0.5206; 0.4299; 0.3433; 0.4026; 0.2705; 0.1601; 0.1999; 0.1553\}$. В этом случае допустимое отклонение, как видно из:

$$\begin{aligned}\max_i \{|\alpha_i(4) - \alpha_i(3)|\} &= \max_i \{ |0.5206 - 0.5204|, |0.4299 - 0.4297|, \\ &|0.3433 - 0.3430|, |0.4026 - 0.4027|, |0.2705 - 0.2703|, |0.1601 - 0.1599|, \\ &|0.1999 - 0.1997|, |0.1553 - 0.1551| \} = 0.0003 < \varepsilon,\end{aligned}$$

уже является приемлемым для прекращения вычислений. Это означает, что групповые усреднения ФВ в 4-ом приближении: $\{\alpha_1(4); \alpha_2(4); \alpha_3(4); \alpha_4(4); \alpha_5(4); \alpha_6(4); \alpha_7(4); \alpha_8(4)\}$, можно считать окончательными весами ФВ.

Анализ влияния изменений в законодательстве на НП методом экспертных оценок. Метод экспертных оценок предполагает обсуждение законодательных инициатив, влияющих на уровень НП. Каждому из привлечённых экспертов предлагается в индивидуальном порядке дать независимую оценку влияния изменений в законодательстве на объём НП страны в базисе рассмотренных выше ФВ x_i ($i=1 \div 8$) на основе сто балльной шкалы: 100 – СИЛЬНОЕ; 75 – СУЩЕСТВЕННОЕ; 50 – ЗАМЕТНОЕ; 25 – СЛАБОЕ; 0 – НЕЗНАЧИТЕЛЬНОЕ. Экспертные оценки подвергаются предварительному анализу на предмет их непротиворечивости по правилу: максимально допустимая разница между двумя экспертными мнениями по любой законодательной инициативе на предмет соответствия ФВ не должна превышать 50. Благодаря этому фильтруются недопустимые отклонения в экспертных оценках. Величину итоговой взвешенной оценки законодательной инициативы (ЗИ), располагающейся в интервале от 0 до 100, на предмет её соответствия ФВ x_i ($i=1 \div 8$) можно вычислить посредством критерия:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^8 \alpha_i e_i}{\max_i \sum_{i=1}^8 \alpha_i e_i} \times 100, \quad (7)$$

где α_i – вес i -го ФВ; e_i – экспертная оценка ЗИ на предмет её соответствия i -му ФВ по сто балльной шкале. Тогда предположим, что экспертному сообществу предложено по сто балльной шкале оценить 10 ЗИ a_k ($k=1 \div 10$) на предмет их соответствия ФВ. На основе усреднённых оценок экспертных заключений и критерия оценки (7), для этих ЗИ получены итоговые оценки их влияния на объём НП, которые сведены в **Таблицу 3**.

Таблица 3. – Оценка влияния ЗИ на объём НП на основе усреднённых оценок экспертных заключений

ЗИ	Веса ФВ x_i ($i=1\div 8$)								Итоговая оценка
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8	
	0.5206	0.4299	0.3433	0.4026	0.2705	0.1601	0.1999	0.1553	
a_1	18	17	52	12	40	46	89	93	36.34
a_2	58	84	96	37	89	53	11	21	61.44
a_3	16	94	48	70	68	84	24	97	58.38
a_4	50	90	43	18	33	28	13	59	44.98
a_5	95	85	72	87	35	10	97	48	73.91
a_6	21	67	6	2	6	67	40	56	28.92
a_7	3	15	8	2	81	10	24	67	20.34
a_8	6	28	54	9	75	71	12	47	31.94
a_9	24	52	74	51	95	48	45	48	52.80
a_{10}	90	75	85	85	90	80	95	95	85.97

Оценка влияния ЗИ на объём НП методом нечёткого вывода. Для агрегации экспертных заключений относительно ЗИ в базисе ФВ x_i ($i=1\div 8$) на предмет прямого и/или косвенного влияния на НП за основу выберем следующие логически непротиворечивые рассуждения:

d_1 : «Если ЗИ обладает признаками ФВ x_1 , x_2 , x_4 и x_5 , тогда её консолидированное влияние на объём НП сильное»;

d_2 : «Если дополнительно к этому ЗИ обладает признаками ФВ x_6 и x_8 , тогда её консолидированное влияние на объём НП более, чем сильное»;

d_3 : «Если ЗИ обладает признаками всех ФВ $x_1 - x_8$, тогда её консолидированное влияние на объём НП чересчур сильное»;

d_4 : «Если ЗИ обладает признаками ФВ x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 и x_6 , тогда её консолидированное влияние на объём НП очень сильное»;

d_5 : «Если же ЗИ обладает признаками ФВ x_1 , x_2 , x_4 , x_5 и x_6 , но при этом не отражает признаки x_7 и x_8 , тогда её консолидированное влияние на объём НП все же будет сильным»;

d_6 : «Если ЗИ не отражает в себе признаки ФВ x_1 , x_2 , x_4 и x_6 , тогда её консолидированное влияние на объём НП слабое».

Интерпретируя данные высказывания в виде причинно-следственных связей между приемлемостью ЗИ, с одной стороны, и величиной её консолидированного влияния на объём НП, с другой, входными характеристиками будем считать наличие (и/или отсутствие) у ЗИ a_k ($k=1\div 10$) признаков ФВ x_i ($i=1\div 8$) в виде термов X_i =ИМЕЕТ МЕСТО и/или $\neg X_i$ =НЕ ИМЕЕТ МЕСТО, а выходной характеристикой – лингвистическую переменную (ЛП) u , по средствам термов: S =СИЛЬНОЕ, MS =БОЛЕЕ ЧЕМ СИЛЬНОЕ, VS =ОЧЕНЬ СИЛЬНОЕ, TS =ЧЕРЕСЧУР СИЛЬНОЕ и US =СЛАБОЕ, отражающую величины консолидированного влияния на объём НП.

Фаззификацию термов входной ЛП x осуществим на базе совокупностей экспертных оценок относительно наличия в ЗИ признаков ФВ x_i ($i=1\div 8$) (см. таблицу 3), т.е. дискретных универсумов $\{a_1, a_2, \dots, a_{10}\}$ посредством Гауссовской функции принадлежности: $\mu(u)=\exp[-(u-100)^2/\sigma^2]$, где $\sigma^2=1225$ –

плотность, выбранная единой для всех случаев. Тогда влияния ЗИ на НП, будет отражаться в виде следующих нечётких множеств (НМ):

- *внутренние* – $X_1 = \{0.0041/a_1; 0.2369/a_2; 0.0032/a_3; 0.1299/a_4; 0.9798/a_5; 0.0061/a_6; 0.0005/a_7; 0.0007/a_8; 0.0090/a_9; 0.9216/a_{10}\}$;
- *законодательные* – $X_2 = \{0.0036/a_1; 0.8114/a_2; 0.9710/a_3; 0.9216/a_4; 0.8322/a_5; 0.4111/a_6; 0.0027/a_7; 0.0145/a_8; 0.1525/a_9; 0.6004/a_{10}\}$;
- *система государственного устройства* – $X_3 = \{0.1525/a_1; 0.9870/a_2; 0.1100/a_3; 0.0705/a_4; 0.5273/a_5; 0.0007/a_6; 0.0010/a_7; 0.1778/a_8; 0.5759/a_9; 0.8322/a_{10}\}$;
- *макроэкономические* – $X_4 = \{0.0018/a_1; 0.0392/a_2; 0.4797/a_3; 0.0041/a_4; 0.8711/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7; 0.0012/a_8; 0.1409/a_9; 0.1409/a_{10}\}$;
- *политические* – $X_5 = \{0.0529/a_1; 0.9059/a_2; 0.4335/a_3; 0.0256/a_4; 0.0318/a_5; 0.0007/a_6; 0.7448/a_7; 0.6004/a_8; 0.9798/a_9; 0.9216/a_{10}\}$;
- *инфляционные* – $X_6 = \{0.0925/a_1; 0.1648/a_2; 0.8114/a_3; 0.0145/a_4; 0.0013/a_5; 0.4111/a_6; 0.0013/a_7; 0.5033/a_8; 0.1100/a_9; 0.7214/a_{10}\}$;
- *географический* – $X_7 = \{0.9059/a_1; 0.0016/a_2; 0.0090/a_3; 0.0021/a_4; 0.9927/a_5; 0.0529/a_6; 0.0090/a_7; 0.0018/a_8; 0.0846/a_9; 0.9798/a_{10}\}$;
- *природно-климатические* – $X_8 = \{0.9608/a_1; 0.0061/a_2; 0.9927/a_3; 0.2535/a_4; 0.1100/a_5; 0.2059/a_6; 0.4111/a_7; 0.1010/a_8; 0.1100/a_9; 0.9798/a_{10}\}$.

Для описания термов выходной ЛП у в качестве универсума выберем дискретное множество $J = \{0; 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9; 1\}$. Тогда, для описания обозначенных выше термов в виде НМ в качестве функций принадлежности (ФП) $\forall j \in J$ выберем следующие функции [1, 4]: $\mu_S(j) = j$; $\mu_{MS}(j) = j^{1/2}$; $\mu_{VS}(j) = j^2$; $\mu_{TS}(j) = 1$, если $j = 1$ и $\mu_{TS}(j) = 0$, если $j < 1$; $\mu_{US}(j) = 1 - j$.

С учётом введённых формализмов высказывания $d_1 \div d_6$ запишутся как:

- d_1 : «Если $x_1 = X_1$ и $x_2 = X_2$ и $x_4 = X_4$ и $x_5 = X_5$, то $y = S$ »;
- d_2 : «Если $x_1 = X_1$ и $x_2 = X_2$ и $x_4 = X_4$ и $x_5 = X_5$ и $x_6 = X_6$ и $x_8 = X_8$, то $y = MS$ »;
- d_3 : «Если $x_1 = X_1$ и $x_2 = X_2$ и $x_3 = X_3$ и $x_4 = X_4$ и $x_5 = X_5$ и $x_6 = X_6$ и $x_7 = X_7$ и $x_8 = X_8$, то $y = TS$ »;
- d_4 : «Если $x_1 = X_1$ и $x_2 = X_2$ и $x_3 = X_3$ и $x_4 = X_4$ и $x_5 = X_5$ и $x_6 = X_6$, то $y = VS$ »;
- d_5 : «Если $x_1 = X_1$ и $x_2 = X_2$ и $x_4 = X_4$ и $x_5 = X_5$ и $x_6 = X_6$ и $x_7 = \neg X_7$ и $x_8 = \neg X_8$, то $y = S$ »;
- d_6 : «Если $x_1 = \neg X_1$ и $x_2 = \neg X_2$ и $x_4 = \neg X_4$ и $x_6 = \neg X_6$, то $y = US$ ».

Реализуя для левых частей правил логическую операцию «И» путём пересечения НМ, а именно [1]:

- $\mu_{M1}(u) = \min\{\mu_{x1}(a), \mu_{x2}(a), \mu_{x4}(a), \mu_{x5}(a)\}$, $M_1 = \{0.0018/a_1; 0.0392/a_2; 0.0032/a_3; 0.0041/a_4; 0.0318/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7; 0.0007/a_8; 0.0090/a_9; 0.6004/a_{10}\}$;
- $\mu_{M2}(u) = \min\{\mu_{x1}(a), \mu_{x2}(a), \mu_{x4}(a), \mu_{x5}(a), \mu_{x6}(a), \mu_{x8}(a)\}$, $M_2 = \{0.0018/a_1; 0.0061/a_2; 0.0032/a_3; 0.0041/a_4; 0.0013/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7; 0.0007/a_8; 0.0090/a_9; 0.6004/a_{10}\}$;
- $\mu_{M3}(u) = \min\{\mu_{x1}(a), \mu_{x2}(a), \mu_{x3}(a), \mu_{x4}(a), \mu_{x5}(a), \mu_{x6}(a), \mu_{x7}(a), \mu_{x8}(a)\}$, $M_3 = \{0.0018/a_1; 0.0016/a_2; 0.0032/a_3; 0.0021/a_4; 0.0013/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7; 0.0007/a_8; 0.0090/a_9; 0.6004/a_{10}\}$;
- $\mu_{M4}(u) = \min\{\mu_{x1}(a), \mu_{x2}(a), \mu_{x3}(a), \mu_{x4}(a), \mu_{x5}(a), \mu_{x6}(a)\}$, $M_4 = \{0.0018/a_1; 0.0392/a_2; 0.0032/a_3; 0.0041/a_4; 0.0013/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7; 0.0007/a_8; 0.0090/a_9; 0.6004/a_{10}\}$;

- $\mu_{M5}(u)=\min\{\mu_{X1}(a), \mu_{X2}(a), \mu_{X4}(a), \mu_{X5}(a), \mu_{X6}(a), 1-\mu_{X7}(a), 1-\mu_{X8}(a)\}$,
 $M_5=\{0.0018/a_1; 0.0392/a_2; 0.0073/a_3; 0.0041/a_4; 0.0013/a_5; 0.0004/a_6; 0.0004/a_7;$
 $0.0012/a_8; 0.1100/a_9; 0.0202/a_{10}\}$;
- $\mu_{M6}(u)=\min\{1-\mu_{X1}(a), 1-\mu_{X2}(a), 1-\mu_{X4}(a), 1-\mu_{X6}(a)\}$, $M_6=\{0.9075/a_1; 0.1886/a_2;$
 $0.0290/a_3; 0.0784/a_4; 0.0202/a_5; 0.5889/a_6; 0.9973/a_7; 0.4967/a_8; 0.8475/a_9;$
 $0.0784/a_{10}\}$,

и импликацию Лукасевича [5]: $\mu_{X \times Y}(u, j)=\min\{1; 1-\mu_X(u)+\mu_Y(j)\}$, для каждой пары $(u, j) \in X \times Y$ были сформированы нечёткие отношения в виде матриц $R_1 \div R_6$. В результате пересечения этих отношений получено искомое функциональное решение в виде следующей матрицы:

$$R = \begin{bmatrix} & 0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.8 & 0.9 & 1 \\ a_1 & 0.9982 & 0.9925 & 0.8925 & 0.7925 & 0.6925 & 0.5925 & 0.4925 & 0.3925 & 0.2925 & 0.1925 & 0.0925 \\ a_2 & 0.9608 & 0.9708 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9984 & 0.9114 & 0.8114 \\ a_3 & 0.9927 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9968 & 0.9710 \\ a_4 & 0.9959 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9979 & 0.9216 \\ a_5 & 0.9682 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9987 & 0.9798 \\ a_6 & 0.9996 & 0.9996 & 0.9996 & 0.9996 & 0.9996 & 0.9111 & 0.8111 & 0.7111 & 0.6111 & 0.5111 & 0.4111 \\ a_7 & 0.9996 & 0.9027 & 0.8027 & 0.7027 & 0.6027 & 0.5027 & 0.4027 & 0.3027 & 0.2027 & 0.1027 & 0.0027 \\ a_8 & 0.9988 & 0.9993 & 0.9993 & 0.9993 & 0.9993 & 0.9993 & 0.9033 & 0.8033 & 0.7033 & 0.6033 & 0.5033 \\ a_9 & 0.8900 & 0.9900 & 0.9525 & 0.8525 & 0.7525 & 0.6525 & 0.5525 & 0.4525 & 0.3525 & 0.2525 & 0.1525 \\ a_{10} & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.3996 & 0.9216 \end{bmatrix}$$

Согласно [4] нечёткий вывод относительно итоговой оценки влияния k -ой ЗИ на объём НП отражается в виде нечёткого подмножества E_k универсума J с соответствующими значениями ФП из k -ой строки матрицы R . В частности, вывод относительно влияния 1-ой ЗИ на НП отражается в виде НМ: $E_1=\{0.9982/0; 0.9925/0.1; 0.8925/0.2; 0.7925/0.3; 0.6925/0.4; 0.5925/0.5; 0.4925/0.6; 0.3925/0.7;$
 $0.2925/0.8; 0.1925/0.9; 0.0925/1\}$. Определяя уровневые множества $E_{1\alpha}$ и вычисляя в виде $M(C_\alpha) = \sum_{r=1}^n i_r / n$, где $i_r \in C_\alpha$, соответствующие им мощности $M(E_{1\alpha})$ [4], получим:

- для $0 < \alpha < 0.0925$: $\Delta\alpha=0.0925$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.9; 1\}$, $M(E_{1\alpha})=0.50$;
- для $0.0925 < \alpha < 0.1925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; \dots; 0.8; 0.9\}$, $M(E_{1\alpha})=0.45$;
- для $0.1925 < \alpha < 0.2925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.7; 0.8\}$, $M(E_{1\alpha})=0.40$;
- для $0.2925 < \alpha < 0.3925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.6; 0.7\}$, $M(E_{1\alpha})=0.35$;
- для $0.3925 < \alpha < 0.4925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; \dots; 0.5; 0.6\}$, $M(E_{1\alpha})=0.30$;
- для $0.4925 < \alpha < 0.5925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; 0.3, 0.4, 0.5\}$, $M(E_{1\alpha})=0.25$;
- для $0.5925 < \alpha < 0.6925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; 0.3, 0.4\}$, $M(E_{1\alpha})=0.20$;
- для $0.6925 < \alpha < 0.7925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2; 0.3\}$, $M(E_{1\alpha})=0.15$;
- для $0.7925 < \alpha < 0.8925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1; 0.2\}$, $M(E_{1\alpha})=0.10$;
- для $0.8925 < \alpha < 0.9925$: $\Delta\alpha=0.1$, $E_{1\alpha}=\{0; 0.1\}$, $M(E_{1\alpha})=0.05$;
- для $0.9925 < \alpha < 0.9982$: $\Delta\alpha=0.0057$, $E_{1\alpha}=\{0\}$, $M(E_{1\alpha})=0.00$.

Численную оценку вывода E_1 получим путём следующих расчётов [4]:

$$F(E_1) = \frac{1}{\alpha_{\max}} \int_0^{\alpha_{\max}} M(E_1) d\alpha = \frac{1}{0.9982} [0.0925 \cdot 0.5 + 0.1 \cdot 0.45 + 0.1 \cdot 0.4 +$$

$$+ 0.1 \cdot 0.35 + 0.1 \cdot 0.3 + 0.1 \cdot 0.25 + 0.1 \cdot 0.2 + 0.1 \cdot 0.15 + 0.1 \cdot 0.1 + 0.1 \cdot 0.05] = 0.3168.$$

Аналогичными действиями установлены численные оценки и для других выводов: $F(E_2)=0.4895$; $F(E_3)=0.4989$; $F(E_4)=0.4973$; $F(E_5)=0.5006$; $F(E_6)=0.3984$; $F(E_7)=0.2265$; $F(E_8)=0.4260$; $F(E_9)=0.3744$; $F(E_{10})=0.7832$.

Заключение. На основании усреднённых предварительных экспертных оценок влияния ЗИ на объём НП (см. таблица 3) получены агрегированные оценки 10-ти ЗИ с применением метода взвешенных коэффициентов ФВ и системы нечёткого вывода, которые сведены в **Таблицу 4**.

Таблица 4 – Сравнение итоговых оценок влияния ЗИ на объём НП

ЗИ	Оценка	Ранг	Оценка	Ранг
a_1	36.34	7	0.3168	9
a_2	61.44	3	0.4895	5
a_3	58.38	4	0.4989	3
a_4	44.98	6	0.4973	4
a_5	73.91	2	0.5006	2
a_6	28.92	9	0.3984	7
a_7	20.34	10	0.2265	10
a_8	31.94	8	0.4260	6
a_9	52.80	5	0.3744	8
a_{10}	85.97	1	0.7832	1

Благодарность. Автор выражает свою искреннюю признательность руководству Института систем управления Национальной Академии Наук Azerbaijan и лично главному научному сотруднику этого института, доктору технических наук, профессору Рзаеву Рамину Рза оглы за оказанную помощь при написании настоящей статьи.

Библиографический список

1. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – № 3. – Pp. 199–249.
2. Филатова, Е.А. Анализ факторов, влияющих на величину налогового потенциала региона // Вестник экономики, права и социологии. – 2013. № 1. – С. 112-116.
3. Lin A.S. Hedayat, and W. Wu, Statistical Tools for Measuring Agreement. – New York: Springer, 2012. – 173 p.
4. Рзаев Р.Р. Аналитическая поддержка принятия решений в организационных системах. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 с.
5. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – pp. 87–88.

Bibliograficheskiy spisok

1. Zadeh, L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information sciences. – 1965. – V. 8. – # 3. – Pp. 199–249.
2. Filatova, E.A. Analiz faktorov, vliyayuschih na velichinu nalogovogo potentsiala regiona // Vestnik ekonomiki, prava i sotsiologii. – 2013. # 1. – S. 112-116.

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

4. Rzaev R.R. Analiticheskaya podderzhka prinyatiya resheniy v organizatsionnyih sistemah. – Saarbruchen(Germany): Palmerium Academic Publishing, 2016. – 306 s.

5. Lukasiewicz J. On three-valued logic: Selected Works / Ed. by Borkowski L. – Amsterdam: NorthHolland Publishing Company, 1970. – pp. 87–88.

*Агамалиев Муса Агамалы оглы, канд. экон. наук, доц.,
musa.agamaliyev@gmail.com, Азербайджан, Баку, Университет «Евразия».*

FUZZY SET BASED ANALYSIS THE TAX POTENTIAL OF THE COUNTRY UNDER THE INFLUENCE OF CHANGES IN LEGISLATION

M. A. Agamaliyev

Two approaches to assessing the impact of changes in legislation on the tax potential of the country, implemented on the base of the weighted coefficients of influence factors, and verbal model based fuzzy inference are considered. On arbitrary examples of legislative initiatives, a comparative analysis of the results obtained with the application of both methods was carried out.

Key words: legislative initiative, tax potential, concordance coefficient, expert evaluation, fuzzy set, fuzzy conclusion.

*Agamaliyev Musa Agamali, candidate of economical sciences, docent,
musa.agamaliyev@gmail.com, Azerbaijan, Baku, Eurasia University*

УДК 004.9 – 027.236

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ СИСТЕМ ПЕРЕМЕННОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ

Доронина Ю.В.¹, Рябовая В.О.²

***Аннотация.** Функционирование информационных систем (ИС) предполагает решение всего комплекса задач, связанных со сбором, обработкой, анализом и распределением информации, часто в режиме реального времени, что невозможно без применения эффективных методов использования современных информационных технологий (ИТ). При этом возникают всегда актуальные вопросы, связанные с совершенствованием как ИС, так и ИТ. Специалисту в области создания и модернизации ИТ и ИС в процессе работы необходимо иметь рычаги согласования начальных требований к системе в рамках поддержания адекватного состояния и эффективного процесса функционирования этой системы. Исследования, направленные на разработку теоретических основ и создание методов совершенствования информационных технологий поддержки принятия решений по реструктуризации систем экологического мониторинга на основе программного обеспечения являются, безусловно, актуальными.*

***Ключевые слова.** Информационные технологии, системы переменной цикличности, мониторинг, реструктуризация, структурно-функциональный синтез.*

В последнее десятилетие все активнее развивается новая наука об информационных технологиях (ИТ – наука) или итология [1]. Предмет итологии – информационные технологии (ИТ), а также процессы, связанные с их созданием и применением. Информационная технология (ИТ) – процесс, использующий совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных (первичной информации) для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления (информационного продукта) [2].

Сбор и обработка информации различной локализации и вида, особенно, если эти процессы касаются задач обеспечения жизнедеятельности человека, безусловно, должны быть приоритетными. Но эта область нуждается в модернизации и требует оперативных решений. Среди решений, связанных с реализацией задач, опирающихся на структуру системы, например, решений с жесткими функциональными требованиями, выделяется класс задач, требующих изменения структуры системы. Следовательно, реструктуризация систем, с целью их усовершенствования, также должна быть оперативной [3-5]. Рассматриваемая в статье задача связана с построением ИТ для реализации процесса структурного обеспечения систем переменной цикличности.

Характеристика получения и анализа данных отражает форму полученных данных и способ их анализа: без повторения (например, система электронного голосования), интерактивно (например, анализ данных по согласованию или по запросу) и циклически (например, обязательный анализ ежедневных наблюдений за климатом). Системой, функционирующей «по требованию» (запросу) относительно измеряемых параметров с ограничением по времени,

является *система мониторинга переменной цикличности (СМПЦ)* (например – система мониторинга параметров непрерывно функционирующих производств). В этих условиях принятие решений по анализу данных мониторинга во многих случаях проблематично. В реальных задачах принятия управленческих решений к этапу выбора наилучшего решения все еще сохраняется большая неопределенность информации, обусловленная наличием многих ситуаций и целей [6]. Поэтому, сразу осуществить выбор решения из множества возможных очень сложно.

В качестве успешного примера решения задач данного класса можно привести результаты, полученные в работах Цвиркуна А.Д. и научной школы Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН) [7-9]. Авторами данных работ был предложен агрегативно-декомпозиционный подход, предусматривающий (на основе альтернативно-графовой формализации) построение многоуровневого комплекса взаимосвязанных моделей различного типа: оптимизационных аналитических и/или имитационных.

При попытке использования какой-либо стандартной технологии (в рамках СМПЦ) на любом этапе появляется потребность сравнительного анализа выбора между устоявшимися приоритетами и новыми ИТ. Именно поэтому метод реструктуризации является одним из наиболее эффективных в этой области. Практическая полезность разрабатываемой ИТ заключается в том, чтобы сократить время и затраты на выполнение поставленных перед СМПЦ задач, получить своевременную информацию о показателях, изменивших свои значения, улучшить значения показателей эффективности системы.

Целью статьи является формирование информационной технологии поддержки принятия решений по реструктуризации систем переменной цикличности на основе программного обеспечения «СМ-1».

Структуру СМПЦ в соответствии с множеством необходимых функций можно представить следующим образом: пусть G – исходная (базовая) структура СПЦ, а G' – новая структура СПЦ, тогда

$$G\left\{\sum_{i=1}^k f_i\right\} \equiv G'\left\{\sum_{j=1}^n f_j\right\}, \quad (1)$$

где f_i – функции исходной структуры СМПЦ, f_j – функции новой структуры СМПЦ; k – количество функций структуры G ; n – количество функций структуры G' при $k > n$, $k < n$, и $k = n$. Подобные варианты возможны при наличии многообразия функциональных элементов в системе (элементов с разной функциональностью, которая и определяет эффективность СМПЦ).

Цель реструктуризации СМПЦ – формирование (корректировка, трансформация) такой новой структуры на основе базовой с целью производства информации для ее анализа и регистрации, а также своевременного принятия решения по выполнению какого-либо требования. Причем, полученная информация должна быть качественной для решения определенной задачи в сфере безопасности, и соответствовать пользовательскому запросу [11].

Внедрение новой ИТ в СМПЦ существенно дополняет содержание различных (привычных) видов деятельности [12]. В понятие новой ИТ СПЦ включены также процессы, обеспечивающие обработку информации разными средствами, а именно – функциональная реструктуризация, повышение эффективности СМПЦ, модернизация и выбор оптимальной комплектации

СМПЦ. В **Таблице 1** приведены основные характерные черты новой ИТ для СМПЦ.

Таблица 1. – Основные характеристики новой ИТ, повышающей эффективность СМПЦ

Методы	Основной признак	Результат
Новые средства обработки информации	«Встраивание» в технологию управления	Новая технология коммуникаций
Системы с переменной структурой	Интеграция функций элементов и подсистем	Новая технология обработки информации
Целенаправленное создание, передача, хранение и отображение информации	Учет требований и закономерностей	Новая технология принятия управленческих решений

Комплекс задач, решаемых с помощью ИТ и ПО «СМ-1» достаточно широк, основные из них приведены на **Рис.1**.

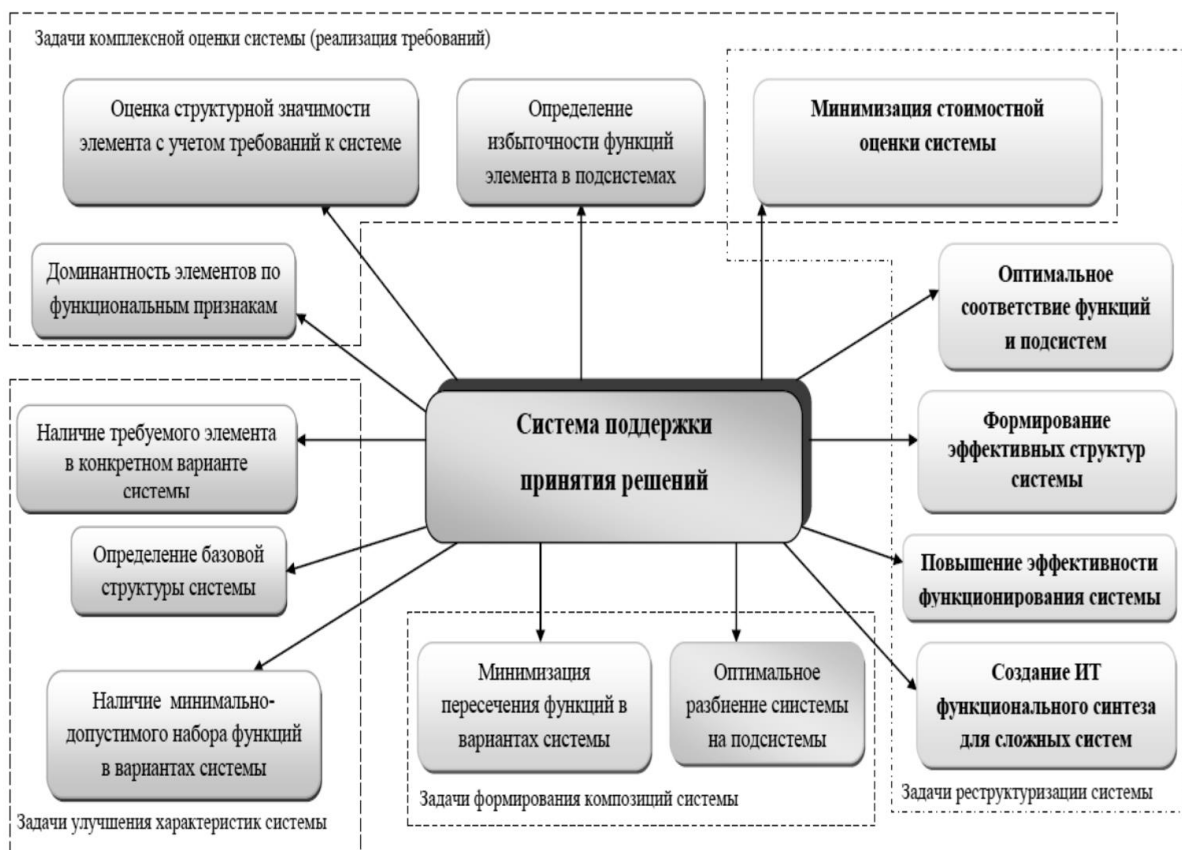


Рис.1 – Задачи, решаемые СППР

Алгоритм функционирования системы поддержки принятия решений (СППР) по реструктуризации СМПЦ (**Рис.2**) – совокупность четко определенных действий функционального синтеза для решения поставленных перед системой задач, на основе программного обеспечения «СМ-1», с целью повышения эффективности работоспособности (функционирования) СМПЦ, а также улучшения процесса принятия решений на различных этапах реструктуризации СМПЦ.

СППР по реструктуризации СМПЦ обладает обратной связью и рекурсивностью процесса, при этом на каждом новом шаге уменьшается мощность множества, что обеспечивает сходимость процесса. Каждая системная

задача является уникальной, ввиду того, что их решения во многом зависят от взаимосвязей и взаимозависимости разных факторов и условий, физических допущений и технологических ограничений, наложенных на функционирование исследуемого объекта. В целом, для эффективного процесса реструктуризации необходимо соответствие информации той, которая необходима для принятия решения, а также соответствие ресурса времени на формирование и принятие решения ресурсу времени от момента получения информации, до момента реализации решения.

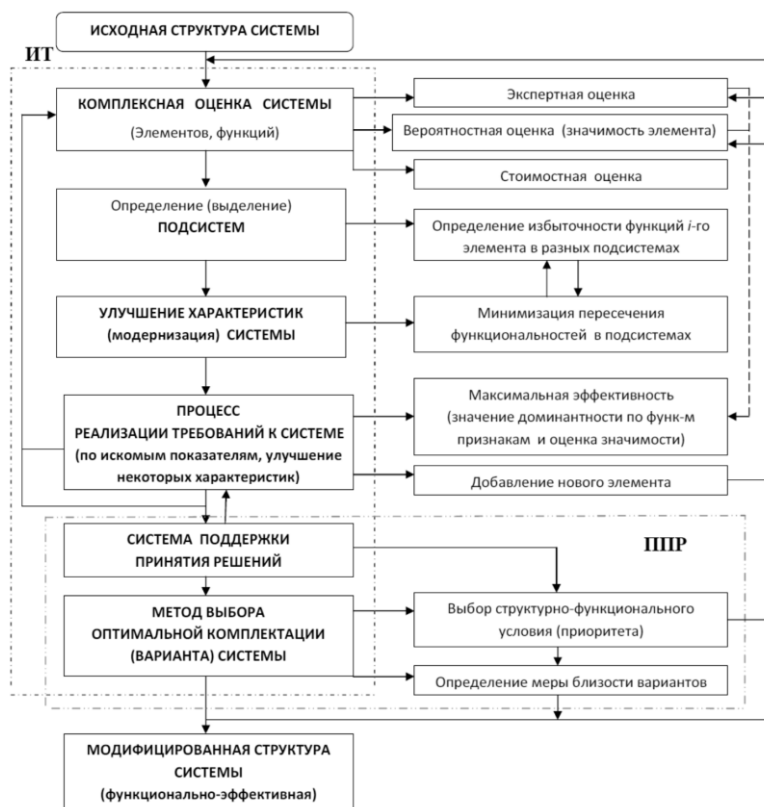


Рис.2 – Алгоритм функционирования системы поддержки принятия решений по реструктуризации СМПЦ

Управление в СМПЦ является одним из альтернативных решений в СППР, однако в данной ситуации результатом являются качественные показатели СМПЦ: достоверность, своевременность, окупаемость. В общем смысле, эффективность СМПЦ – свойство системы достигать конечной цели, т.е. получать продукт труда с заданным качеством в заданных условиях и обусловленные достижением цели результаты или эффект от них [10].

Выбор решения является заключительным и наиболее ответственным этапом процесса принятия решений. Основная работа на этом этапе выполняется лицом, принимающим решения (ЛПР), которое должно осмыслить всю полученную на этапах постановки задачи и формирования решений информацию и использовать ее для обоснования выбора.

Программное обеспечение для реструктуризации СМПЦ «СМ-1» реализовано со всеми преимуществами, которые предоставляют объектно-ориентированный язык C#. Модуль включает в себя более 25 классов, в том числе 6 элементов управления графическим интерфейсом для динамичной настройки параметров метода и извлечения информации из txt - документов, а также диалоговые окна взаимодействия с пользователем для ввода и вывода данных и решений.

Основными и дополнительными функциональными возможностями разработанной программы являются:

- построение матрицы состояний СМПЦ на основе общего и минимально-необходимого количества элементов системы, определенного пользователем или ЛПР (**Рис.3**);

- генерация вариантов СМПЦ, исходя из экспертных оценок и минимально-необходимых функций системы, реализующих i -ю задачу;

- уменьшение мощности множества на основе расчета оценок структурной значимости элементов СМПЦ, с учетом требований, возникающих в процессе функционирования системы (**Рис.4**);

- разбиение СМПЦ на подсистемы с учетом функциональной и структурной избыточностей (**Рис.5**);

- определение области возможных решений (**Рис.6**);

- выбор единственного решения путём определения оптимальных структур и параметров, обеспечивающих модификацию СМПЦ с целью снижения структурной и функциональной избыточностей (**Рис.7**);

- расчет коэффициента экономической эффективности системы переменной цикличности.

Ниже на рисунках показаны некоторые окна интерфейса ПО «СМ-1» с элементами решения конкретного примера по реструктуризации системы экологического мониторинга.

Система поддержки принятия решений по реструктуризации СМПЦ улучшает процесс функционирования системы на различных этапах её жизненного цикла. Использование полученных результатов ведет к сокращению сроков внедрения и адаптации системы переменной цикличности (20% от общего времени проектирования, занимающих обычно до 40%). Основная выгода при использовании метода заключается в разработке ресурсосберегающих технологий.

Заключение и направление дальнейших исследований. Представленный в статье подход к реализации ИТ для реструктуризации СМПЦ показал эффективность применения ПО «СМ-1» для решения реальной задачи по реструктуризации системы по сравнению с исходной.

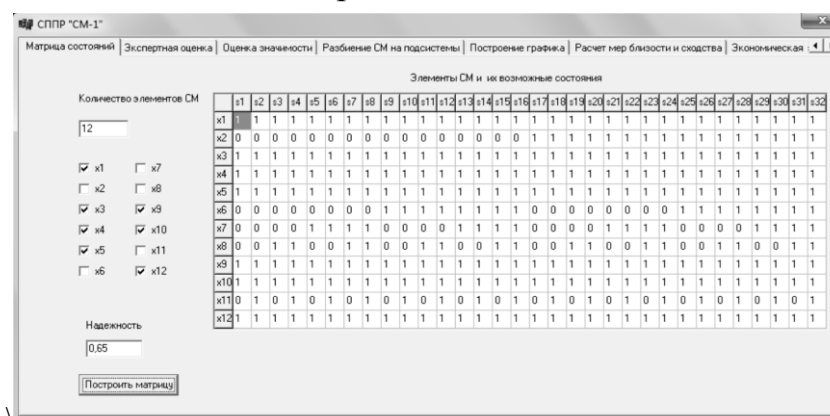


Рис.3 – Интерфейс ПО «СМ-1» для расчета матрицы элементов СМПЦ и их возможных состояний

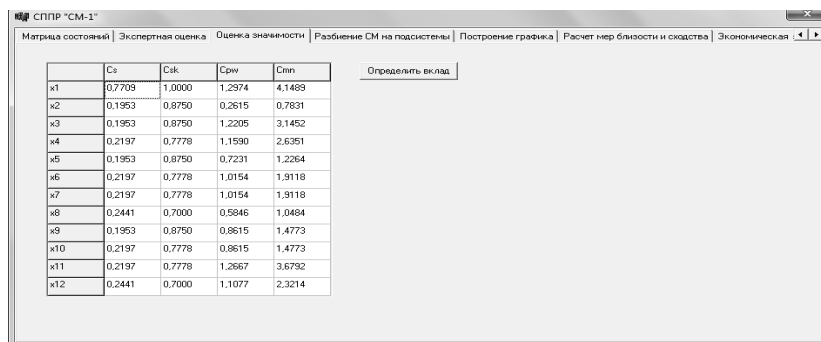


Рис.4 – Интерфейс ПО «СМ-1» для расчета оценок структурной значимости элементов СМПЦ

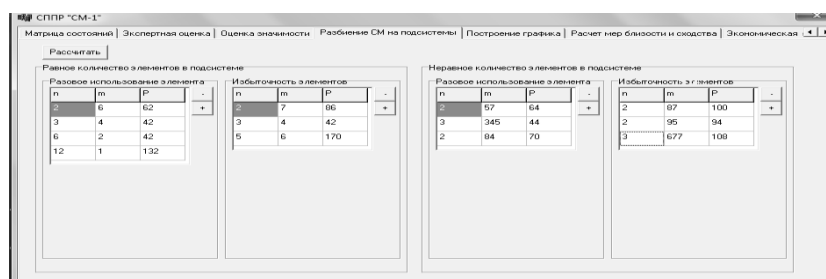


Рис.5 – Интерфейс ПО «СМ-1». Разбиение СМПЦ на подсистемы

С помощью методов реструктуризации СМПЦ выбран и построен наилучший вариант системы, рассчитаны показатели эффективности СМПЦ и её варианта (Таблица 2). Получены аналитическая и качественная оценки эффективности иерархических структур.

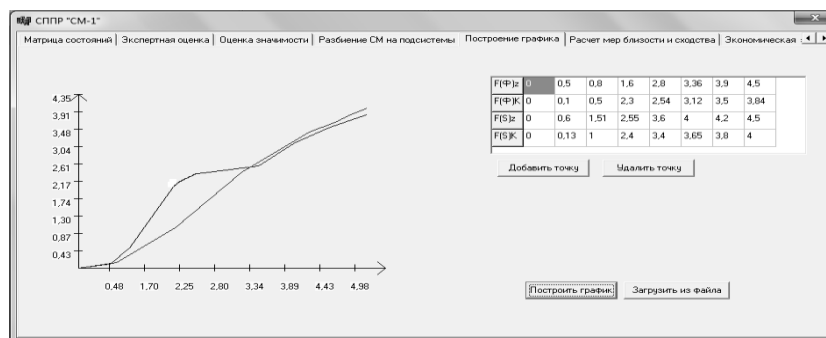


Рис.6 – Интерфейс ПО «СМ-1» для определения области возможных решений

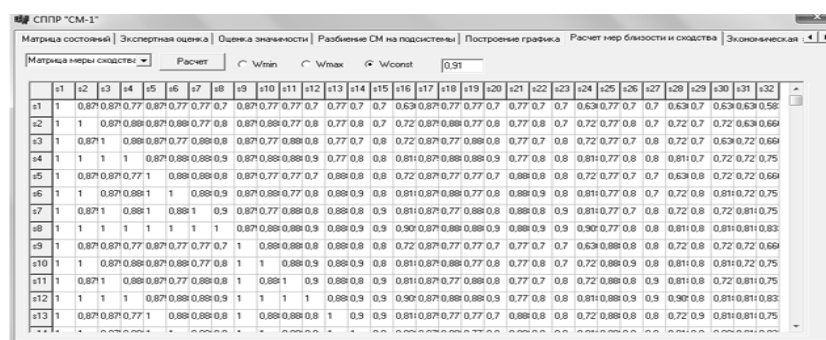


Рис.7 – Интерфейс ПО «СМ-1» для расчета меры включения вариантов СМПЦ

Таблица 2. – Значения и оценки показателей эффективности СМПЦ

Показатели эффективности СМПЦ	Значения показателей эффективности СМПЦ	Значения показателей эффективности варианта СМПЦ
Достоверность	0,5	0,8
Своевременность	0,45	0,95
Надежность	0,625	0,8
Аналитическая оценка	0,485	0,36
Качественная оценка	удовлетворительно	хорошо

В дальнейшем планируется расширить практические возможности разработанных проблемно-ориентированных методов реструктуризации систем переменной цикличности, алгоритмов, программных комплексов в рамках основных направлений исследования, рекомендованных к использованию в проектных организациях, занимающихся разработками систем мониторинга окружающей среды, а также в системе глобального мониторинга JGMASS, интегрирующей в своём составе бортовую аппаратуру обнаружения ранних признаков стихийных бедствий разрушительного характера.

Библиографический список

1. Итология – наука об информационных технологиях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citforum.ru/programming/prg96/sukhomlin.shtml> – Загл. с экрана
2. James E. Science and Technology in World History. Second Edition / E. James, McClellan III, Harold Dorn. – Johns Hopkins university press, 2006. – 491 p.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 399 с.
4. Методология совершенствования бизнес-процессов. [Электронный ресурс]/R-Про. IT-Концерн. – Режим доступа: <http://www.r-p-c.ru/solution/metodologiya-sovershenstvovaniya-biznes-processov-0> – Загл. с экрана.
5. Методология совершенствования бизнес-процессов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.keyelement.ru/index.php?page&folder=1_technology&contentsite=bp_i.html – Загл с экрана.
6. Згуровский М.З. Системный анализ. Проблемы. Методология. Приложения:[монография] / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова; М-во образ. и науки, молодежи и спорта Украины, НАН Украины, Ин-т прикладного системного анализа. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наукова думка, 2011. – 727 с.
7. Соколов Б.В. Анализ влияния информатики и информационных технологий на развитие теории и систем управления сложными объектами / Б. В. Соколов, Е. Г. Цивирко, Р. М. Юсупов // Труды СПИИРАН. Санкт-Петербург: Изд-во СПИИРАН. – 2009. – №11– С.11–51.
8. Охтилев М.Ю. Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов / М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов // Труды СПИИРАН. Санкт-Петербург: Изд-во СПИИРАН. – 2002. – Выпуск 1 (1). – С.167–180.
9. Цвиркун А.Д. Основы синтеза структуры сложных систем. – М.: Наука,

1982. – 200 с.

10. Доронина Ю.В., Рябовая В.О. Метод модернизации информационных систем экологического мониторинга на основе анализа их функциональной загрузки / Ю.В. Доронина, В.О. Рябовая // Труды СПИИРАН. Санкт-Петербург: Изд-во СПИИРАН. – 2016. – Выпуск 1 (44). – С. 133–153.
11. James E. Science and Technology in World History. Second Edition / E. James, McClellan III, Harold Dorn. – Johns Hopkins university press, 2006. – 491 p.
12. Особенности новых информационных технологий. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/vseoit/home/informacionnyye-tehnologii/osobennosti-novyh-informacionnyh-tehnologii> – Загл. с экрана.

Bibliograficheskij spisok

1. Itologiya – nauka ob informacionnyh tekhnologiyah. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://citforum.ru/programming/prg96/sukhomlin.shtml> – Zagl. s ekrana
2. James E. Science and Technology in World History. Second Edition / E. James, McClellan III, Harold Dorn. – Johns Hopkins university press, 2006. – 491 p.
3. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnyh sistem. – M.: Nauka, 1978. – 399 s.
4. Metodologiya sovershenstvovaniya biznes-processov. [Elektronnyj resurs]/R-Pro. IT-Koncern. – Rezhim dostupa: <http://www.r-p-c.ru/solution/metodologiya-sovershenstvovaniya-biznes-processov-0> – Zagl. s ekrana.
5. Metodologiya sovershenstvovaniya biznes-processov. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.keyelement.ru/index.php?page&folder=1_technology&contentsite=bp_i.html – Zagl s ekrana.
6. Zgurovskij M.Z. Sistemnyj analiz. Problemy. Metodologiya. Pri-lozheniya:[monografiya] / M. Z. Zgurovskij, N. D. Pankratova; M-vo obrazov. i nauki, molodezhi i sporta Ukrainy, NAN Ukrainy, In-t prikladnogo sistemnogo analiza. – 2-e izd., pererab. i dop. – K.: Naukova dumka, 2011. – 727 s.
7. Sokolov B.V. Analiz vliyaniya informatiki i informacionnyh tekhnologij na razvitie teorii i sistem upravleniya slozhnymi ob'ektami / B. V. Sokolov, E. G. Civirko, R. M. Yusupov // Trudy SPIIRAN. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPIIRAN. – 2009. – №11 – S.11–51.
8. Ohtilev M.Y. Teoreticheskie i prikladnye problemy razrabotki i primeneniya avtomatizirovannyh sistem monitoringa sostoyaniya slozhnyh tekhnicheskikh ob'ektov / M.Y. Ohtilev, B.V. Sokolov // Trudy SPIIRAN. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPIIRAN. – 2002. – Vypusk 1 (1). – S.167–180.
9. Cvirkun A.D. Osnovy sinteza struktury slozhnyh sistem. – M.: Nauka, 1982. – 200 s.
10. Doronina Y.V., Ryabovaya V.O. Metod modernizacii informacionnyh sistem ekologicheskogo monitoringa na osnove analiza ih funkcional'noj zagruzki / Y.V. Doronina, V.O. Ryabovaya // Trudy SPIIRAN. Sankt-Peterburg: Izd-vo SPIIRAN. – 2016. – Vypusk 1 (44). – S. 133–153.
11. James E. Science and Technology in World History. Second Edition / E. James, McClellan III, Harold Dorn. – Johns Hopkins university press, 2006. – 491 p.
12. Osobennosti novyh informacionnyh tekhnologij. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://sites.google.com/site/vseoit/home/informacionnyye-tehnologii/osobennosti-novyh-informacionnyh-tehnologii> – Zagl. s ekrana.

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

Рябовая Валентина Олеговна, valentina_rb@mail.ru, Россия, Севастополь

**INFORMATION TECHNOLOGY SUPPORTING DECISION-MAKING
RESTRUCTURING OF VARIABLE CYCLIC SYSTEMS**

Yu.V. Doronina, V.O. Ryabovaya

The functioning of information systems (IS) involves solving the entire complex of tasks related to the collection, processing, analysis and distribution of information, often in real time, which is impossible without the use of effective methods of using modern information technology (IT). At the same time, there are always topical issues related to the improvement of both IP and IT. A specialist in the field of creating and modernizing IT and IP in the process of work needs to have levers to harmonize the initial requirements for the system in the framework of maintaining an adequate state and effective process of functioning of this system. Research aimed at developing theoretical foundations and creating methods for improving information technologies to support decision-making on the restructuring of environmental monitoring systems on the basis of software provision is, of course, topical.

Key words: information technology, variable-cycle personality systems, monitoring, restructuring, structural-functional synthesis.

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

Ryabovaya Valentina Olegovna, valentina_rb@mail.ru, Russia, Seva-stopol.

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

УДК 62-26

ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ

Котельников М. А.¹, Щенятский А. В.²

Аннотация. В данной научной статье подробно описан принцип действия одного из навигационных измерительных приборов - твердотельного волнового гироскопа (ТВГ) со стержневым чувствительным элементом (СЧЭ). Выбраны материалы, подходящие для изготовления ЧЭ и приведен анализ влияния материалов на технические характеристики ЧЭ навигационного прибора. Сделаны выводы о наиболее подходящем материале для ЧЭ. В конце сформирован список литературы из 10 источников.

Ключевые слова. Чувствительный элемент (ЧЭ), твердотельный волновой гироскоп (ТВГ), резонатор, конструктивные параметры, технические характеристики, собственная частота резонатора, отклонения ножки резонатора.

В современной технике существует множество различных датчиков некоторые, из которых работают на принципах, основанных на создании собственной частоты и измерения отклонения. Чувствительные элементы (ЧЭ) самого датчика могут иметь различные геометрические формы, размеры основных элементов, кроме того, современные материалы, из которых изготавливаются данные детали, имеют значительное расхождение в свойствах. Следовательно, актуальным является исследование влияния материалов на технические характеристики ЧЭ навигационных приборов. Рассмотрим ЧЭ измерительного прибора, который рассматривался в научных статьях [6,7,8].

Твердотельные волновые гироскопы (ТВГ) находят широкое применение в различных областях науки и техники благодаря возможности быстро выходить на рабочий режим, высокой надежности и разрешающей способности при незначительных дрейфах изделия [9]. Одним из направлений совершенствования конструкций ТВГ является применение нового по конструкции стержневого чувствительного элемента (СЧЭ) [6,7].

Основное преимущество ТВГ со стержневым чувствительным элементом (резонатором) перед ТВГ с полусферическим резонатором заключается в том, что он технологичнее в изготовлении и экономически более целесообразен в производстве. Главное его преимущество: не потребуется создавать глубоковакуумный корпус, как у ТВГ с полусферическим резонатором, что значительно снижает издержки производства и себестоимость конструкции в целом. На **Рис.1** представлена объемная модель ЧЭ предлагаемая к рассматриваемому типу гироскопа.

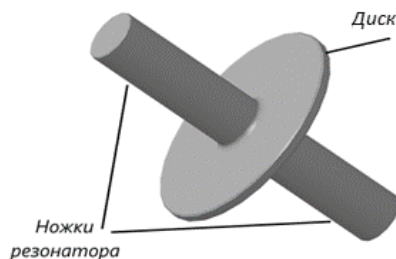


Рис.1 – Объемная модель стержневого ЧЭ

Принцип работы и конструкция ТВГ со стержневым резонатором.

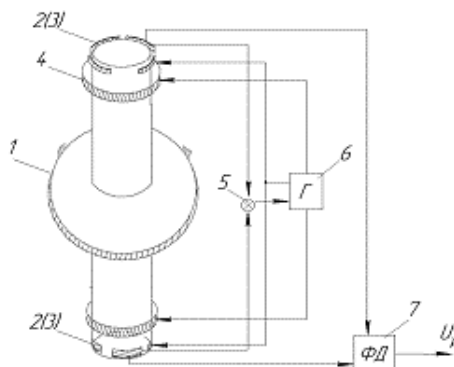


Рис.2. – Конструкция СЧЭ ТВГ

где: 1 - стержневой резонатор; 2 - емкостные датчики, служащие для определения положения ножек; 3 - позиционные емкостные датчики, предназначенные для начального возбуждения; 4 - параметрический датчик, устанавливается с целью поддержания заданной амплитуды колебаний и представляет из себя кольцевой электрод; 5 - сумматор; 6 - генератор управляющего и поддерживающего сигнала для возбуждения и поддержания колебаний резонатора; 7 - фазовый детектор для выделения полезного сигнала.

В рассматриваемом ТВГ применен принцип разделения по времени, т.е. позиционный электрод и датчик угла выполнены в виде одного узла, но работают по своему предназначению в разные моменты времени.

Система съема информации (возбуждения) представляет из себя устройство из четырех равных по площади электродов.

Принцип действия рассматриваемого гироскопа основан на следующем:

В первоначальный момент времени электроды возбуждения (3) прикладывают на ножки резонатора переменную силу с резонансной частотой, возбуждая тем самым колебания резонатора. Через некоторый промежуток времени, как только ножка вышла из положения равновесия, электроды переключаются в режим съема сигнала и работают в этом режиме до конца работы гироскопа. В это же время в работу включается параметрический электрод, который возбуждает ножку до определенной амплитуды и поддерживает ее в течении всей работы[6,7,8].

Предположим, что возникла входная угловая скорость (**Рис.3**), тогда колеблющиеся точки будут совершать сложное движение в результате которого, возникнет ускорение Кориолиса, а вследствие этого момент от кориолисовых сил. Этот момент будет поворачивать ножку на угол пропорциональный изменению входной угловой скорости. Тогда имея сведения об этом угле, можно знать относительную угловую скорость объекта. Точность измерения угла будет тем выше, чем большие значения будут иметь перемещения (амплитуды отклонения) точек ножки резонатора.

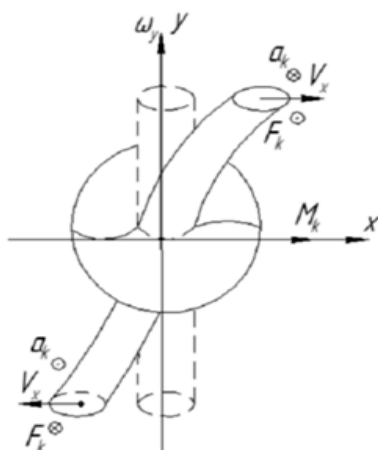


Рис.3 – Пояснение принципа работы ТВГ со СЧЭ

Вторым дополнительным преимуществом ТВГ со стержневым резонатором перед ТВГ с полусферическим резонатором является более простая геометрическая форма. Со стороны точностных показателей, как показали предварительно проведенные расчеты, новая конструкция не будет уступать гироскопу с полусферическим резонатором. Недостатком является то, что данный тип ЧЭ мало изучен. В научных работах [7,8] проведен анализ влияния конструктивных, в том числе и геометрических параметров на такие технические характеристики как собственные частоты колебаний и амплитуды отклонений, сделаны необходимые выводы и построены зависимости влияния изменения геометрии на выходные технические характеристики.

В настоящей научной статье представлены результаты исследования влияния материалов на технические характеристики ЧЭ.

Исследования влияния различных материалов на технические характеристики выполнялись в следующей последовательности.

На первом этапе, выбрали материалы, подходящие для резонатора, характеристики выбранных материалов занесли в **Таблицу 1**.

Таблица 1. - Характеристики материалов резонатора

№	Материал	Плотность(гр/см ³)	Модуль Юнга (Н/м ²)	Коэффициент Пуассона
1	Кварцевое стекло	2,2	$7,5 \times 10^{10}$	0,19
2	Сталь	7,7	$19,3 \times 10^{10}$	0,31
3	Алюминий	2,1	$9,5 \times 10^{10}$	0,35
4	Сплав алюминия	2,7	$7,1 \times 10^{10}$	0,33

На втором этапе, рассматривалось изменение собственной частоты, перемещение подвижных частей и максимальное напряжение при изменении материала, результаты занесены в **Таблицу 2**. Анализ проводился методом конечных элементов [1,3,5]. Модель стержневого резонатора с реальными размерами представлена на **Рис.4**. По полученным результатам построим графики и сделаем вывод о наиболее подходящем материале для резонатора. Исходными данными примем значения времени становления в рабочий режим гироскопа опираясь на ТЗ.

В датчике резонатор закрепляется за диск, а подвижными элементами будут являться ножки резонатора, поэтому в программе фиксируем диск. Крепление диска обеспечивает неподвижность поверхностей в области прижима в радиальном, окружном и осевом направлениях. Поворот также невозможен. Исходя из выше сказанного проводим анализ. Для получения более достоверной информации при моделировании и проведении расчетов выполняем сгущение сетки конечных элементов [2,4,5,10] в зонах изменения геометрии. Наименьший размер конечного элемента составляет 0,1мм.

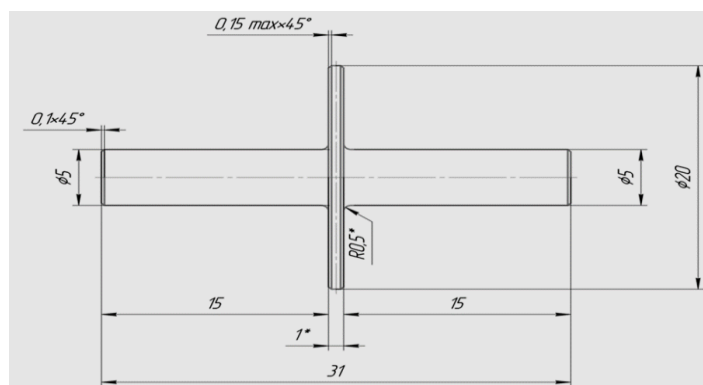


Рис.4 – Эскиз резонатора

Таблица 2. – Результаты анализа влияния материала на выходные параметры

Материал резонатора	Измеренная собственная частота резонатора, (Гц)	Измеренное максимальное перемещение ножек ЧЭ (мкм)	Измеренное максимальное напряжение (МПа)	Коэффициент запаса прочности
Кварцевое стекло	5381,5	1,96	3,16	14,2
Сталь	7304,5	0,15	0,22	909
Алюминий	6417,4	0,9	2,04	9,8
Сплав алюминия	4791	1,06	1,57	15,9

Исходя, из **Таблицы 2** сделаем следующие выводы:

1. Все измеренные собственные частоты резонатора могут быть реализованы на практике, но лучше всего осуществляется съем информации при диапазоне собственных частот от 5 до 7 кГц. Следовательно, по первому показателю лучше подходят 2 материала: кварцевое стекло и алюминий.
2. По измеренному максимальному перемещению ножек можно считать необходимую информацию, таким образом, лучше всего подходит образец из кварцевого стекла.
3. По измеренному максимальному напряжению видно, что все образцы удовлетворяют требованиям по запасу прочности.

В данной научной статье был рассмотрен один из навигационных приборов, ТВГ, основной частью которого является стержневой резонатор. В работе представлены исследования применяемых материалов, влияющих на выходные параметры прибора. На данной стадии исследования лучше всего подходит для изготовления резонатора – кварцевое стекло.

Библиографический список

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: - М.: Наука, 1976, - 278 с., ил.
2. Айроне Б., Задачи о собственных значениях матриц конструкции: исключение лишних переменных. // Ракетная техника и космонавтика. – 1965. - Т.3, №5, с. 207-215.
3. Большаев, Л. Н. Таблицы математической статистики. / Л. Н. Большаев, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1965. – 474 с.
4. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. - М.: Статистика, 1973.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / Пер. с англ. Под ред. Б.Е. Победри.- М.: Мир, 1975. – 541с.
6. М.А. Котельников, А.А. Башарова, П.В. Лекомцев, А.В. Щенятский. Постановка задачи математического моделирования стержневого чувствительного элемента твердотельного волнового гироскопа. //Интеллектуальные системы в производстве – 2016. с. 69-73.

7. М.А. Котельников, А.В. Щенятский. Анализ стержневого чувствительного элемента твердотельного волнового гироскопа. //Интеллектуальные системы в производстве – 2016. с. 189-195.
8. М.А. Котельников, А.В. Щенятский, А.А. Башарова. Влияние конструктивных параметров чувствительного элемента на технические характеристики твердотельного волнового гироскопа. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 92–106.
9. Матвеев В.В., Распопов В.Я. "Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем" - СПб.: ГНЦ РФ ОАО "Концерн ЦНИИ "Электроприбор"" 2009 г. - 208 с.
10. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов / Пер. с англ. Под ред. Б.Е. Победри.- М.: Мир, 1979. – 392с.

Bibliograficheskiy spisok

1. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovskiy Yu.V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy: - М.: Nauka. 1976. - 278 s. il.
2. Ayrone B., Zadachi o sobstvennykh znacheniyakh matrits konstruktсии: isklyucheniye lishnikh peremennykh. // Raketnaya tekhnika i kosmonavtika. – 1965. - Т.3. №5. s. 207-215.
3. Bolshayev. L. N. Tablitsy matematicheskoy statistiki. / L. N. Bolshayev. N. V. Smirnov. – М. : Nauka. 1965. – 474 s.
4. Dreyper N., Smit G. Prikladnoy regressionnyy analiz. - М.: Stati-stika. 1973.
5. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike / Per. s angl. Pod red. B.E. Pobedri.- М.: Mir. 1975. – 541s.
6. М.А. Kotelnikov. А.А. Basharova. P.V. Lekomtsev. A.V. Shchenyatskiy. Postanovka zadachi matematicheskogo modelirovaniya sterzhnevoogo chuvstvitelnogo elementa tverdotelnogo volnovogo giroskopa. //Intellectualnyye sistemy v proizvodstve – 2016. s. 69-73.
7. М.А. Kotelnikov. A.V. Shchenyatskiy. Analiz sterzhnevoogo chuvstvitelnogo elementa tverdotelnogo volnovogo giroskopa. //Intellectualnyye sistemy v proizvodstve – 2016. s. 189-195.
8. М.А. Kotelnikov. A.V. Shchenyatskiy. А.А. Basharova. Vliyaniye konstruktivnykh parametrov chuvstvitelnogo elementa na tekhnicheskiye kharakteristiki tverdotelnogo volnovogo giroskopa. // Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroyeniye. materialovedeniye. – 2017. – Т. 19. № 2. – S. 92–106.
9. Matveyev V.V., Raspopov V.Ya. "Osnovy postroyeniya besplatformennykh inertsiyalnykh navigatsionnykh sistem" - SPb.: GNTs RF ОАО "Kontsern TsNII "Elektroprigor"" 2009 g. - 208 s.
10. Segerlind L. Primeneniye metoda konechnykh elementov / Per. s angl. Pod red. B.E. Pobedri.- М.: Mir. 1979. – 392s.

Котельников М. А., Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова. Ижевск, Российская Федерация

Щенятский А.В. Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова. Ижевск, Российская Федерация.

*INFLUENCE OF DESIGN DATA OF A SENSITIVE ELEMENT ON
TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A SOLID-STATE WAVE GYROSCOPE*

M. A. Kotelnikov, A. V. Shchenyatskiy

This article describes in detail the principle of the operation of one of the navigation measuring instruments - a solid-state wave gyro (SSWG) with a rod sensing element (RSE). Materials suitable for the manufacture of SE were selected and an analysis of the influence of materials on the technical characteristics of the navigational instrument is presented. Conclusions are drawn about the most suitable material for the SE. At the end, a list of 10 sources has been compiled.

Key words: sensitive element (SE), solid state wave gyro (SSWG), resonator, design parameters, technical characteristics, natural resonator frequency, deviation of resonator leg.

M. A. of Kotelnikov, Kalashnikov Izhevsk State Technikal University.

A. V. of Shchenyatskiy, Kalashnikov Izhevsk State Technikal University.

MV*-ФРЕЙМВОРКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОДНОСТРАНИЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ (SPA)

Гардейчик С.М.¹, Шербаф А.И.²

***Аннотация.** На основе SPA-технологии был разработан многофункциональный веб-сервис для фиксации показателей физического развития, функционального состояния и физической подготовленности студента. Дано краткое описание SPA-архитектуры, описаны ее преимущества, также приводится сравнительный анализ MV*-фреймворков, которые представляют собой семейство JS-фреймворков и обеспечивают разделение кодовой базы. Дано описание шаблонов проектирования пользовательского интерфейса.*

***Ключевые слова.** Фреймворк, одностраничное приложение, шаблоны пользовательского интерфейса, веб-сервисы.*

Веб-технологии развиваются с большой скоростью, одни технологии приходят на смену другим. Одним из трендов веб-разработки в настоящее время является высокопроизводительная SPA-технология. **Цель настоящей статьи** познакомить читателей с этим современным подходом к разработке веб-приложений, описать особенности и преимущества применения данной технологии. Ниже будут приведены результаты использования данной технологии для разработки мультифункционального приложения для управления и статистического анализа большого объема данных для определения показателей здоровья.

По определению Википедии «одностраничное приложение (SPA, или single page application) представляет собой веб-сайт или приложение, размещенное на одной веб-странице». Другими словами, SPA – это веб-приложение, размещенное на одной веб-странице, которая для работы приложения загружает весь необходимый код вместе с загрузкой самой страницы.

Были попытки использовать такие технологии, как, например, IFrames, Java-апплеты, Adobe Flash и Microsoft Silverlight, для сведения десктопного приложения в межплатформенную среду веб-браузера. Одностраничное веб-приложение (SPA) решает эту задачу без расширения (плагинов) для браузера или изучения нового языка программирования, SPA может быть реализована с использованием (как минимум) только JavaScript, HTML и CSS.

Для SPA характерен более гибкий и удобный пользовательский интерфейс, сходный с интерфейсом десктопного приложения». SPA использует современные браузеры и язык HTML5 для переноса интерфейса и логики приложений с веб-серверов на браузер. SPA обеспечивает более естественный и контролируемый опыт взаимодействия, скрывая сложные переходы (запросы, отклики и пр.). SPA отображает только запрашиваемый пользователем контент, загружая HTML- данные частями. Средой реализации веб-приложений становится не операционная система, а браузер, управляющий памятью и предоставляющий функционал для работы с системными функциями, аппаратным окружением.

Существует множество подходов к конструированию одностраничных приложений. Чтобы найти правильное решение для будущего SPA-проекта, необходимо выбрать технологию по реализации SPA-архитектуры, подходящие

для решения поставленной задачи библиотеки и фреймворки, а также четко понимать SPA-технология, ее преимущества и недостатки.

Использование SPA – архитектуры имеет следующие преимущества:

- в случае, когда визуальный интерфейс не содержит бизнес-логики, каждый ресурс может работать параллельно, не внося конфликтов в проект;
- разделение представления и логики помогает разработчикам осуществлять более «чистое» модульное тестирование, так как им приходится работать только с невизуальной стороной функции;
- отдельные уровни (представление, данные, бизнес-логика и т.п.) помогают в обслуживании и развертывании веб-приложения; изолированный код можно легко изменить, не затрагивая другие части приложения.

Для грамотной реализации конкретного SPA-проекта необходимо владеть широким спектром технологий, для этого проанализируем существующие подходы к разработке SPA.

Остановимся подробнее на описании и сравнительном анализе MV*-фреймворков, которые представляют собой семейство JS-фреймворков и обеспечивают разделение кодовой базы. Здесь М обозначает Model (модель), а V - View (представление/вид). Кратко охарактеризуем эти понятия [1].

- Модель обычно содержит данные, бизнес-логику и логику валидации (проверку данных на достоверность), реагирует на команды контроллера, изменяя свое состояние.

- Представление является визуальным отображением данных, предоставленных моделью. Это может быть простая структура, взаимодействующая с другими частями фреймворка для обновлений и ответов на запросы пользователей; может содержать небольшое количество логики, в зависимости от реализации MV*-фреймворка.

Традиционные шаблоны пользовательского интерфейса включают в себя третий компонент, который помогает управлять отношениями между моделью и представлением. Большинство современных шаблонов проектирования пользовательских интерфейсов, основанных на MVC / MVVM содержат два главных компонента, модель и представление. Третий компонент, который изменяется, как по имени, так и по функционалу, обозначен звездочкой (*).

Приведем описание шаблонов пользовательского интерфейса (UI) проектирования, которые оказали наибольшее влияние на разработку веб-приложений (на стороне клиента/браузера): Model-View-Controller (MVC), Model-View-Presenter (MVP) и Model-View-ViewModel (MVVM).

Model-View-Controller (MVC). Шаблон MVC включает модель, представление и контроллер (**Рис.1**).

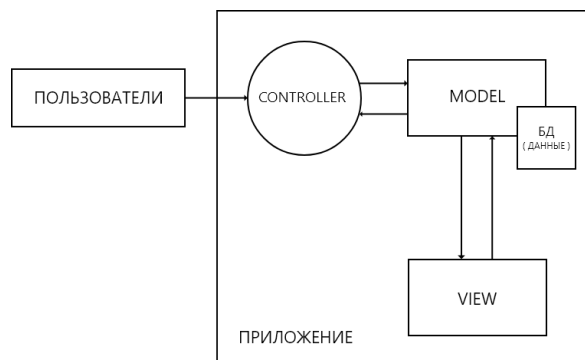


Рис.1 – Шаблон MVC

Контроллер является точкой входа в веб-приложение, принимает сигналы от элементов управления в пользовательском интерфейсе (UI). Содержит логику, которая обрабатывает запросы пользователя, генерирует и отправляет команды модели для обновления своего состояния на основе полученных инструкций.

Взаимодействие с контроллером инициирует событие, приводящее к обновлению представления. Пользовательский интерфейс (UI) обновляется на основании данных, предоставленных моделью.

MODEL-VIEW-PRESENTER. Идея этой концепции заключается в том, чтобы модель сделать более независимой от двух других компонентов MVC. В MVP объект, подобный контроллеру, и представление будут совместно определять пользовательский интерфейс (UI). За моделью остается логика управления данными. Как отмечено на **Рис.1**, в MVP нет контроллера, действующего в качестве посредника. Каждый вид поддерживается компонентом, называемым Presenter:

- Presenter содержит логику представления. Вид реагирует на действия пользователя, делегируя ответственность Presenter. Presenter имеет прямой доступ к модели для любых необходимых изменений и передает данные обратно в представление. Таким образом, он действует как «посредник» между моделью и видом (**Рис.2**).

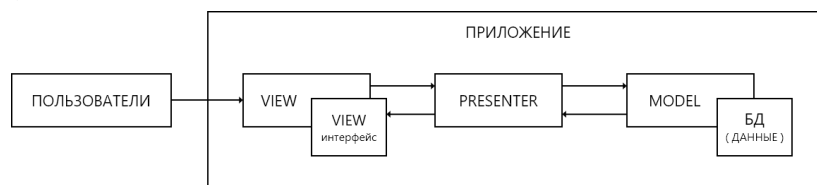


Рис.2 – Model-View-Presenter

MODEL-VIEWS-VIEWMODEL. Данная парадигма была создана для стандартизации процесса разработки пользовательских интерфейсов и на ранних этапах использовалась в Microsoft® Windows Presentation Foundation (WPF). Это еще один шаблон проектирования, который возник для организации управляемого кода, связанного с пользовательским интерфейсом и сохраняющего различные компоненты отдельно. Как и в MVP, представление является точкой входа в приложение, компонент, который находится между моделью и видом называется ViewModel:

- ViewModel является посредником между моделью и представлением, содержит свойства данных и определяет логику по обновлению данных в модели. Если в модели изменяются значения этих свойств, автоматически происходит обновление отображаемых данных в представлении, хотя напрямую модель и представление не связаны (**Рис.3**).

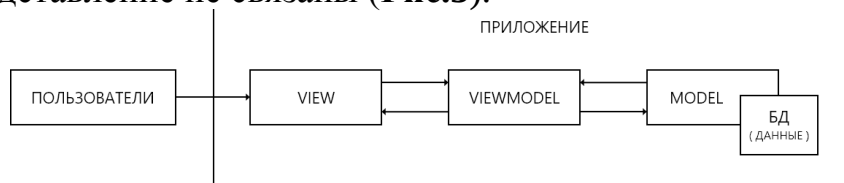


Рис.3 – Model-Views-ModelView

С помощью описанных технологий был разработан многофункциональный веб-сервис (дневник здоровья), направленный на фиксацию показателей физического развития, функционального состояния и физической подготовленности студента.

В дневнике здоровья фиксируются показатели физического развития, функционального состояния и физической подготовленности студента. Анализ динамики индивидуальных показателей физического состояния позволяет выбрать наиболее эффективные средства физического воспитания, дозировать и корректировать физическую нагрузку в процессе учебных и самостоятельных занятий физическими упражнениями без ущерба для здоровья, правильно организовывать двигательную активность студента. В дневнике здоровья отмечаются задания преподавателя для самостоятельных занятий, а также участие студентов в физкультурно-оздоровительных мероприятиях университета. Дневник здоровья служит документом, характеризующим уровень физического состояния будущего специалиста.

Перечислим технические преимущества разработанного проекта:

Отсутствие инсталляции программного обеспечения: web-приложение в отличие от десктопного (реализующего Windows Forms интерфейс) не требует инсталляции или загрузки программных модулей на персональный компьютер.

Обновления программного обеспечения: настольные приложения необходимо периодически обновлять, в большинстве случаев это нужно делать вручную, а web-приложения обновляются поставщиком услуг.

Использование ресурсов: сложные приложения, такие как «Дневник здоровья», требуют большого объема памяти и высокого быстродействия. В web-приложениях большая часть тяжелой обработки выполняется поставщиком услуг, что минимизирует требования по настройке системы и частично снижает нагрузку на систему.

Независимость от платформы: настольные приложения нужно разрабатывать для разных платформ, таких как Windows, Linux, Mac. Поскольку большинство облачных приложений предназначено для использования в web-браузере, они работают на разных платформах.

Хранение данных: в настольных приложениях данные хранятся в компьютере, тогда как в web-приложениях они размещаются в выделенном пользователю пространстве сервера, что обеспечивает постоянный доступ к данным из любой точки мира.

Библиографический список

1. Dockins, K. Design Patterns in PHP and Laravel / K. Dockins. – New York : Apress, 2017. – 1st ed. – 238 p.
2. Mikowski, M. S. Single Page Web Applications: JavaScript End-to-end / M. S. Mikowski, J. C. Powell. – New York : Manning Publications Co., 2014 – 432 p.
3. PHP-фреймворк Laravel: документация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://laravel.ru>. – Дата доступа: 24.03.2018.
4. Scott, E. SPA Design and Architecture: Understanding Single Page Web Applications / E. Scott. – New York : Manning Publications Co., 2015 – 314 p.
5. Гардейчик, С. М. Программная платформа Laravel для создания веб-ориентированных приложений и сервисов / С. М. Гардейчик, А. И. Шербаф // Вести БГПУ. Серия 3. Информатика. – 2017. – №3. – С. 82–90.

Bibliograficheskiy spisok

1. Dockins, K. Design Patterns in PHP and Laravel / K. Dockins. - New York: Apress, 2017. - 1st ed. - 238 p.
2. Gardeychik, S. Laravel software platform for creating web-oriented applications and services / SM Gardeichik, AI Sherbaf // Vesti BSPU. Series 3. Informatics. - 2017. - № 3. - P. 82-90.
3. Mikowski, M. S. Single Page Web Applications: JavaScript End-to-end / M. S. Mikowski, J. C. Powell. - New York : Manning Publications Co., 2014 - 432 p.
4. PHP-framework Laravel: documentation [Electronic resource]. - Access mode: <https://laravel.ru>. - Access date: March 24, 2018.
5. Scott, E. SPA Design and Architecture: Understanding Single Page Web Applications / E. Scott. - New York: Manning Publications Co., 2015 - 314 p.

Гардейчик Сергей Михайлович, магистрант, hardzeichyksiarihei@gmail.com, Белорусский государственный педагогический университет, ул. Советская 18, Минск 220050, Беларусь.

Шербаф Алмас Ибрагимовна, канд. физ.-мат. наук, доц., sherbaf@bspu.by, Белорусский государственный педагогический университет, ул. Советская 18, Минск 220050, Беларусь.

MV*-FRAMEWORKS FOR THE DEVELOPING A SINGLE-PAGE APPLICATION (SPA)

S.M. Gardeichik, A. I. Sherbaf

A multifunctional web-service for the physical development indicators fixation, functional state and physical fitness of the students was developed on the basis of SPA-technology. A brief description of SPA-architecture is given, its advantages are described, as well as a comparative analysis of MV frameworks, which are a family of JS-frameworks and provide a codebase separation. A user interface design patterns description is given.*

Keywords: framework, one-page application, user interface patterns, web-services.

Gardeichik Sergei Mikhailovich, master student, hardzeichyksiarihei@gmail.com, Belarusian State Pedagogical University, ul. Sovetskaya 18, Minsk 220050 Belarus.

Sherbaf Almas Ibragimovna, candidate of physics and mathematics sciences, docent, sherbaf@bspu.by, Belarusian State Pedagogical University, ul. Sovetskaya 18, Minsk 220050 Belarus.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОВЫШЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКИ ПРИБОРОВ

Григорьева Н.С.¹, Шабайкович В.А.²

Аннотация. Рассмотрены основные подходы получения высококачественных приборов за счет применения модульной разработки при виртуальном проектировании и производстве при минимальных затратах. Описаны методы разработки технологических модульных процессов сборки разнотипных приборов. Особенности состоят в создании доступной общей базы установления группы приборов, которые будут собираться по модульным технологическим процессам. В зависимости от заданий разработка имеют технологические, конструкторские, организационные и экономические взаимосвязанные направления. Научная новизна состоит в повышении качества приборов за счет применения модульных конструкций и технологий при их виртуальной разработке.

Ключевые слова. Качество, автоматизация, технология, гибкость, модули, затраты.

Введение. Повышение качества приборов при сборке всегда являлось актуальнейшей и важнейшей задачей производства, где фактически формируются их показатели. Среди разных методов повышения качества при гибкой автоматической сборке большое значение имеют также методы унификации, типизации и модуляризации, обеспечивающие разнообразие приборов при минимальных затратах, необходимом количестве и многие другие.

Постановка проблемы. Оценка и обеспечение качества приборов при конструкторской и технологической проработке с применением различных методов является одной из наиболее актуальных современных проблем, позволяющих уменьшить количество типовых технологий, автоматического оборудования, оснастки и создать дополнительный экономический эффект. Для достижения этого необходимо широкое применение технического, математического, информационного, программного и других видов обеспечений, которые будут использоваться в будущем в *CIM* и его системах *CIMS*.

Анализ последних исследований и публикаций. Публикаций по автоматизации приборостроения достаточно много и все они могут быть разделены на три группы: описывающие старые известные проблемы сборки в приборостроении, нейтральные, которые бездумно переписывают материал с Интернета и критические, наиболее ценные, раскрывающие новые возникающие проблемы гибкой автоматизации [1]. *ГОСТ 15467-79* определяет качество продукции, как совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением. В *ISO 8402:1994* система качества определяется совокупностью организационной структуры, процедур, процессов и ресурсов общего управления качеством. В составе элементов системы качества (*ISO 9004-1:1994*) управление качеством не

выделено. Основные вопросы качества регламентируют нормы серии *ISO 9000, 10000, 13065, 14010, 14011, 14012, 19011* и другие.

Международные стандарты качества являются нормативными документами, в которых сконцентрирован международный опыт по управлению качеством продукции. Эти стандарты приняты в качестве национальных. Модель системы обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве и обслуживании описывает стандарт *ISO 9001*, а руководящие указания по общему руководству качеством и элементам системы качества – в *ISO 9004*, но все они носят общий характер. В последнее время появилось и лавинообразно увеличивается количество литературы по качеству продукции, но при этом качество пропорционально ухудшается. Причин много, но основной можно считать ту, что статьи пишутся экономистами, непонимающими, формирование качества изнутри, а также отрицательное влияние окружающей среды.

Выделение нерешенных прежде частей общей проблемы. Нерешенных проблем также достаточно, но в статье решаются такие нужные для производства проблемы, как современные способы повышения качества приборов – виртуальный и модульный при проектировании конструкции и технологии изготовления при минимальных затратах, с использованием логистики.

Целью статьи является повышение эффективности автоматизированного гибкого сборочного производства качественных приборов путем применения виртуализации разработки, модульного принципа конструкции, технологии и организации, при внедрении логистической концепции.

Изложение основного материала исследования. Все показатели качества, автоматически собираемых приборов, формируются на протяжении всего процесса, а также и до его начала. Поэтому для полноты модели формирования качества приборов необходимо рассматривать пять этапов: логистический, конструкторский, технологический, организационный и эксплуатационный, на которых формируются отдельные показатели качества за счет технологических свойств конструкции образующих деталей и сборочных узлов. На втором этапе за счет влияния свойств собираемых деталей и сборочных узлов изначально формируются показатели качества конструкции изделия. Это преобладающий этап и его можно считать фундаментом. На технологическом этапе во время реализации технологических процессов обработки деталей и их сборки достигнутые величины показателей качества материализуются в реальных деталях, узлах и приборах. Поскольку во время сборки показатели качества приборов формируются окончательно, то на технологическом этапе указываются только основные сборочные факторы и опущены, влияющие на обработку собираемых деталей. Важными будут и организационные свойства, также определяющие показатели качества. Правда, эти факторы носят как бы вспомогательный характер, но способствуют обеспечению более высоких показателей качества приборов через оптимальную организацию работ на указанных этапах. И, наконец, эксплуатационный этап, факторы которого также оказывают большое влияние на показатели качества приборов. Во-первых, это относится к сохранению полученного качества во время эксплуатации изделий, работы технологического сборочного оборудования и оснащения. Во-вторых, это результат обратной связи влияния результатов эксплуатации на конструкцию приборов и технологию их изготовления и сборки, что недостаточно полно используется сейчас. Предприятия ошибочно считают производство окончанием своей работы, а далее эксплуатацию выпущенных изделий не прослеживают, чем упускается возможность повышения качества приборов.



Рис.1 – Схема влияния управления качеством на элементы цикла жизни прибора: 1 - маркетинг и изучение рынка; 2 - проектирование и разработка конструкции прибора; 3 – разработка технологических процессов изготовления; 4 – закупка необходимого; 5 – производство прибора; 6 – его проверка; 7 - упаковка и складирование; 8 – сбыт и продажа; 9 – монтаж, сдача в эксплуатацию; 10 – техническая помощь, обслуживание; 11 – эксплуатация; 12 – утилизация

Сущность качества приборов можно представить механизмом его формирования путем влияния внутренних и внешних факторов. Внутренние факторы влияют непосредственно на предприятия, а внешние - создают среду, в которой работают предприятия. Все факторы взаимосвязаны, но кроме их прямого влияния необходимо учитывать и полноту влияния на процесс формирования качества. Большую проблему в обеспечении качества создает коррупция, взяточничество и т.п., с которыми никто не борется, создается только имитация такой борьбы. До того времени, пока с коррупцией будут бороться сами коррупционеры, все останется по-старому, увеличится только дальнейшая имитация бурной их деятельности.

Поскольку система качества регламентирует значительно более широкий круг вопросов, чем норма *ISO 9000*, на **Рис.1** приведена схема такого влияния на элементы жизненного цикла прибора. Улучшение качества проходит как сверху за счет запланированных мероприятий, так и изнутри, как следствие инновационной и инвестиционной деятельности. Каждое предприятие должно проводить систематическое совершенствование приборов, что в первую очередь предусматривает корректирующие действия, устраняющие выявленные несоответствия. С технической стороны основными способами повышения качества приборов при автоматической гибкой сборке являются: отработка технологичности конструкции в соответствии с требованиями гибкой сборки, сборочного оборудования и оснащения, анализ и синтез структуры сборочного процесса, установление оптимальной, реализация принципов типизации, группирования, унификации и модульности, ограничение разнообразия гибкого модульного оборудования и оснащения, проектирование перенастраиваемого автоматического сборочного оборудования и оснащения модульного типа, экспериментальные и опытно-промышленные исследования новых способов повышения качества при гибкой автоматической сборке приборов и их внедрение.

Система управления качеством представляет собой совокупность управляющих органов и субъектов управления, взаимодействующих с помощью материально-технических и информационных средств, при управлении качеством приборов на всех стадиях их жизненного цикла. Элементы системы

качества подразделяются на две группы: по основным этапам жизненного цикла (маркетинг, проектирование, разработка процессов, закупка, производство, продажа, утилизация) и по видам деятельности (управление документацией и данными, регистрация данных о качестве, подготовка кадров, учет и анализ затрат на качество).

На современном этапе дальнейшей тенденцией развития производства является *CIM*, в котором имеются все достаточные условия по управлению качеством изделий с помощью виртуальной компьютерной разработки [2]. Такое управление будет иметь огромное значение, поскольку с его помощью откроется возможность закладывания более высоких показателей качества приборов, технологических процессов их изготовления, организации выполнения в пространстве и во времени всех процессов, последующей эксплуатации при минимальных затратах. Особенно ценно то, что на компьютере возможно смоделировать как конструкцию приборов, будущую технологию изготовления, так и их эксплуатацию, что позволит вводить корректирующие действия даже в их конструкции и технологии. Поскольку эти процессы выполняются внутри компьютера, но по параметрам реального прибора, то очевидно, что такие затраты на существенное повышение качества будут минимальными по сравнению с традиционным подходом. Большое значение приобретает оптимальное качество, определяющее величиной затрат.

Проблема обеспечения высокого качества приборов решается только в тесной взаимосвязи с другими общими и частичными функциями производства. Они тесно связаны с материальными, энергетическими, информационными, финансовыми и другими производственными потоками. Весомые резервы повышения качества приборов находятся не в производственном процессе, как считалось ранее, а в логистическом. Если в современном предприятии доминирует собственный эффект, то в будущем – синергетический, а признаками качества, конкурентности и затрат выступает логистический сервис. Сегодня в обеспечении качества приборов преимущественно учитывается взаимосвязь эксплуатационных свойств со структурой приборов и технологией изготовления. При системном подходе рамки данного процесса расширяются за счет дополнительных взаимосвязей с другими системами, а при логистическом – дополнительно за счет анализа и синтеза взаимосвязей между действующими логистическими потоками. Это означает, что открываются новые возможности управления качеством приборов и его повышения. Концепция логистического управления качеством приборов развивается от минимизации уровня запасов до интеграции компьютерного обеспечения логистических и производственных процессов типа *MRP* (Material Requirements Planning), *DRP* (Distribution Requirements Planning), *EDI* (Electronic Data Interchange), *CAD* (Computer Aided Design), *CAM* (Computer Aided Manufacturing), *CIM* (Computer Integrated Manufacturing), *TQM* (Total Quality Management) и других.

Существенно повысить качество приборов можно за счет использования модульного принципа [3] как в конструкции, так и технологии изготовления. Сущность модульного принципа состоит в построении модульных конструкций, процессов и систем из взаимосвязанных модулей, которыми являются хорошо отработанные оптимизированные сборочные единицы многократного использования ограниченной номенклатуры с характерными чертами автономности, стыкуемости, связанности и избыточности. В общем модуль описывается матрицей основных и вспомогательных сборочных движений и действий, а функция разработки структуры модульного процесса совокупностью состыкованных модулей

$$P: \left\langle \sum_{i=1}^a MTK_i \right\rangle \Rightarrow \left\langle \sum_{j=1}^b MK_j \right\rangle \Rightarrow \left\langle \sum_{l=1}^c TM_l \right\rangle,$$

где MTK , MK , TM – соответственно, модульные технологические комплексы, комплекты и технологические модули; a , b , c – их оптимальное количество. В таком модульном сборочном процессе каждый модуль связан с предыдущим и последующим по горизонтали и вертикали.

При моделировании модульной технологии изготовления приборов вначале выполняется анализ, затем синтез модульного процесса с целью установления рациональной структуры сборочных модулей и модульного процесса в целом. Новая концепция их формирования заключается в том, что технологические и конструкционные модули формируются одновременно на базе выбранных сборочных движений и действий для типового прибора группы, выявляются связи между совокупностью таких движений и действий. Схема процесса синтеза модульной сборки включает 9 этапов: На этапе 1 формируется типовой прибор группы и проводится отработка технологичности конструкции, этапе 2 – выявляется множество возможных порядков модульной сборки с учетом особенностей как конструкции, так и их реализации. Устанавливаются базы и на основе анализа положений деталей – последовательность сборки с определением затрат времени. На этапе 3 на базе синтеза последовательности сборки, условий и ограничений выполняется формирование множества технологических переходов модульной сборки. На этапе 4 выполняется анализ применения инновационных способов переналадки со следующим синтезом возможных схем. Рациональный порядок модульной сборки определяется на этапе 5. На этапе 6 проводится формирование элементарных и комплексных модулей за критериями точности, производительности и надежности. На этапе 7 проводится разработка модульного процесса прибора компоновкой и стыковкой последовательности необходимых модулей, которые обеспечивают высокое качество сборки. На этапе 8 формируется нужное модульное переналаживаемое оборудование с оснащением подбором конструкционных модулей. После установления параметров и характеристик модульного переналаживаемого оборудования и оснащения на этапе 9 окончательно корректируются как отдельные модули, так и процесс в целом.

Разработанный процесс организации модульного сборочного производства состоит из применения триады комплексных типовых модулей: планирования расположения сборочных средств соответственно модульным технологическим процессам, потокам, обеспечению полученной компоновки и проверки ее эффективного функционирования. Разработаны структуры модулей организации, представленные графом, и описаны матрицами [3]. Разработка организации модульной сборки заключается в поиске минимального пути в графе по типовым модулям и ограничениям.

Для обеспечения высокого качества приборов развиты принципы и подходы получения опережающей оценки качества еще на этапе технической подготовки конструктивно-технологических решений модульной сборки приборов, что обеспечивает преодоление противоречия между эффективными и не до конца проработанными процессами и конструкциями. Сущность методики состоит в разработке виртуальных модульных технологий и конструкций, проверки технологии протекания модульной сборки приборов и прогнозируемой их эксплуатации с одновременным направленным формированием виртуальных показателей качества на компьютере с помощью известного, но еще дорогого программного обеспечения, позволяющего выбрать оптимальные варианты

решений, устранить неперспективные и тем самым обеспечить высокую эффективность гибкой модульной сборки высококачественных приборов.

Выводы. Существенно повысить показатели качества автоматически собираемых приборов в современном производстве можно за счет применения модульной концепции при разработке их конструкции и технологии изготовления в модульном сборочном производстве. Его сущность заключается в работе с конструкционными, технологическими и организационными хорошо отработанными модулями многократного использования, ограниченной номенклатуры с характерными чертами автономности, стыкуемости, связанности и избыточности. Но при этом необходимо еще использовать виртуализацию производственных процессов, когда все (конструкция, технология, организация, эксплуатация) вначале разрабатываются по необходимому программному обеспечению на компьютерах на соответствующих моделях в логистическом производстве.

Библиографический список

1. Холодкова, А.Г. Технология автоматической сборки: монография / А.Г. Холодкова [и др.] – М.: Машиностроение, 2010. – 560 с.
2. Божидарнік, В.В. Автоматичне складання виробів: навч. посібник / В.В. Божидарнік [та ін.] – Луцьк: Надстир'я, 2005. – 386 с.
3. Григор'єва, Н.С. Науково-технологічні основи гнучкого модульного автоматичного складання виробів: монографія – Луцьк: Надстир'я, 2008. – 520 с.

Bibliograficheskiy spisok

- 1-Tekhnologiya avtomaticheskoy sborki: monografiya/ A.G. Holodkova-[i-dr-]-M.: Mashinostroenie. 2010 560 s.
- 2-Avtomatichne skladannya virobiv: navch. Posibnik/ V.V. Bozhidarnik-[ta in.] – Luck: nadstiriya. 2005. 386 s.
- 3-Grigoriva N.S. Naukovo-tehnologichn osnovi gnuchkogo modulnog avtomatichnogo-skladannya virobiv: monografiya. Luck-nadstiriya. 2008. 520 s.

Григорьева Н.С., к.т.н., доцент, Луцкий национальный технический университет, Украина.

Шабайкович В.А., д.т.н., проф., Луцкий национальный технический университет, Украина.

PROVISION INCREASED QUALITY INDICATORS FOR AUTOMATIC ASSEMBLING

Grigoryeva N. S., Shabaykovich V. A.

The main approaches to obtaining high-quality devices are discussed at the expense of application in their design and production of virtualization and module development with minimal costs. The methods for developing technological modular assembly processes for various types of instruments are described. The peculiarities are to create an accessible common base for establishing a group of devices that will be assembled according to modular technological processes. Depending on the tasks, the development has a technological, design, organizational and economic interdependent direction. Scientific novelty consists in improving the quality of devices using modular structures and technologies in their virtual development.

Key words: quality, automation, flexibility, modules, costs.

Grigoryeva N. A., candidate of technical sciences, Lutsk National Technical University, Ukraine.

Shabaykovich V.A. doctor of technical sciences, professor, Ukraine, Lutsk National Technical University.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ JAVA-МАШИНЫ НА ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В МАШИНОПРИБОРОСТРОЕНИИ

Фисун С.Н., Дзюба С.Н.

Аннотация. Статья посвящена исследованию влияния виртуальной Java-машины на оценки производительности информационных систем в машиноприборостроении. На примере информационной системы автоматизации построения синтаксических анализаторов методом LL(1) проверено предположение о влиянии виртуальной машины на оценку производительности. По результатам изучения влияния работы JVM на длительность исполнения кода внесены правки в методику тестирования и получены новые результаты оценок производительности, максимально приближенные к ожидаемым.

Ключевые слова. Синтаксический анализ, нисходящий метод LL(1), JVM, виртуальная машина Java, динамическая компиляция, HotSpot, OSR.

История языка Java берет свое начало с 1995 года, связанное с появлением первой версии языка. Слоган нового языка гласил: «Написано однажды, работает везде». Он означал, что Java должна быть не просто еще одним языком программирования, а целой платформой, на которой можно было бы разрабатывать приложения для чего угодно, начиная от компьютеров и заканчивая бытовой техникой. Компилятор Java транслирует программу не в машинные коды процессора, а в промежуточный язык – байт-код. Особенность байт-кода заключается в том, что он запускается не на самом «железе», а в виртуальной машине Java (JVM). Эта «машина» является специальной программой-переводчиком с байт-кода в машинные коды. Благодаря этому достигается кросс-платформенность Java.

Традиционным способом определения того, что Вариант А быстрее Варианта Б, является написание маленького теста производительности, часто называемого микротестом производительности. Но написание (и интерпретация) тестов производительности является намного более трудной и запутанной задачей для языка Java. В большинстве случаев написанные на Java микротесты не покажут ожидаемого результата.

Процесс компиляции Java-кода отличается от принципов компиляции C и C++ подобных языков программирования. Динамический компилятор JVM выполняет небольшое количество оптимизирующих преобразований, а оптимизация, проводимая статическими компиляторами для языков C и C++, выполняется во время исполнения программы.

В настоящее время Java код компилируется при помощи исполняющего процесса HotSpot, осуществляющего динамическую компиляцию. Исполняющий процесс HotSpot объединяет интерпретацию, профилирование и динамическую компиляцию. Вместо преобразования всех байткодов в машинный код HotSpot начинает работу как интерпретатор и компилирует только "горячий" код, то есть код, выполняющийся наиболее часто [1]. Во время исполнения он определяет фрагменты кода, выполняющиеся достаточно часто и заслуживающих компиляции. Компиляция часто исполняемого кода позволяет не тратить время на компиляцию редко выполняющегося кода. Поэтому компилятор может тратить больше времени на оптимизацию "горячего" кода.

Откладывая компиляцию, компилятор может использовать данные анализа, которые могут быть полезны для лучшей оптимизации.

Первые версии HotSpot выполняли компиляцию по одному методу в каждый момент времени. Метод считался "горячим", если он выполнял итерации цикла, превышающие определенное количество раз (10000 в первой версии HotSpot). Однако после компиляции метода переключение на скомпилированную версию не производилось до тех пор, пока не происходил выход из метода и повторный вход. Поэтому скомпилированная версия могла использоваться только для последовательных вызовов. В такой ситуации вычисляющий метод может быть скомпилирован, но объектный код ни разу не использоваться [1].

Более современные версии HotSpot используют технологию, называемую on-stack replacement (OSR). Переключение от интерпретируемого кода к объектному (или замены одной версии скомпилированного кода на другую) производится в середине цикла. Для динамических компиляторов без замещения в стеке измерение производительности метода осуществляется следующим образом: выполнить определенное количество вызовов метода, запустить таймер, затем выполнить метод определенное количество раз. Если число тренировочных вызовов превышает порог срабатывания процедуры компиляции метода, фактически измеренные вызовы относятся к скомпилированному коду, а все издержки компиляции должны были проявиться до начала измерения.

В настоящее время динамический компилятор запускается в трудно предсказуемые моменты времени, JVM по своему желанию переключает код с интерпретируемой версии на скомпилированную, а один и тот же код при выполнении может быть скомпилирован и перекомпилирован более одного раза. Если не определить время наступления этих событий, то измерения могут быть серьезно искажены. Например, при исследовании эффективности работы синтаксических анализаторов, представленных в [2], получены недостаточно корректные результаты. Они свидетельствуют об искажении результатов измерений из-за прогрева JVM.

Для доказательства влияния «прогрева» виртуальной машины Java на длительность обработки синтаксическим анализатором входных данных был разработан следующий тестовый пример.

В качестве грамматики для синтаксического анализа была взята грамматика C-подобного учебного языка программирования, использующегося для разработки информационных систем в машиноприборостроении. Эта грамматика имеет следующий вид:

```
1. classDeclaration => className 'BEGIN' classBody 'END' '#' ;
2. className : qualifiedName ;
3. classBody : sequenceStatement ;
4. sequenceStatement : statement x ;
5. x : sequenceStatement | ;
6. statement : variableDeclaration | assignment | whileStatement |
  ifStatement | expression ;
7. variableDeclaration : 'VAR' name 'EQUALS' expression ;
8. assignment : name 'EQUALS' expression ;
9. ifStatement : 'IF' '(' expression ')' 'BEGIN' sequenceStatement
  'END' ;
10. y : 'ELSE' 'BEGIN' sequenceStatement 'END' | ;
whileStatement : 'WHILE' '(' expression ')' 'BEGIN' sequenceStatement
  'END';
11. name : 'ID' ;
12. expression : factor a ;
13. a : '+' factor | '-' a | ;
14. factor : b primary ;
15. b : factor c | ;
```

```

16. c : '*' c | '/' c | ;
17. primary : 'ID' | value | '(' d ;
18. d : expression ')' | comparison ')' ;
19. comparison : expression e ;
20. e : 'EQU' expression | 'NEQ' expression ;
21. value : '-' 'NUM' | 'NUM' | 'BOOL' | 'STRING' ;
22. qualifiedName : name f ;
23. f : '.' qualifiedName | ;

```

Грамматика может распознавать классы, условные операторы, операторы цикла, переменные и константы нескольких типов.

На вход программы подается строка, соответствующая грамматике, длиной 10528 терминальных символов или 41619 текстовых символа:

```

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

```

Фрагмент, заключенной в ****[]**** повторяется 10500 раз. Строка представляет собой класс, в который вложены множество операторов цикла и условных операторов, а также операторов присвоения и не содержащая синтаксических ошибок. Программа, осуществляющая построение управляющей таблицы, а затем синтаксический разбор входной строки, перезапускается 1 000 000 раз. Каждый запуск и окончание работы программы фиксируется при помощи стандартной функции библиотеки System Java *System.nanoTime()*. После фиксирования времен начала и конца работы программы вычисляется разница между ними и записывается в массив. По окончании всех итераций синтаксического анализа происходит обработка полученных значений времени. Для снижения статистического шума, все полученные результаты делятся на группы по 1000 значений, а далее вычисляется среднее значение на группу. Таким образом, получено 1000 значений длительности времени синтаксического разбора входной цепочки длиной 10528 терминальных символов. Результаты измерений представлены на **Рис.1**.



Рис.1 - График длительности синтаксического разбора входной цепочки

Анализ полученных результатов свидетельствует о крайне нестабильном характере графика. До приблизительно 830 000 итераций видны резкие скачки длительности времени синтаксического разбора строки. После 830 000 итераций

наблюдается стабилизация времени разбора. Таким образом, очевидно влияние «прогрева» (тренировки) JVM на производительность информационной системы.

Используя полученные данные о влиянии динамической компиляции на время работы программы, была скорректирована методика замера длительности синтаксического разбора строки, длина которой с каждой итерацией увеличивается. Новая методика состоит в следующем: длина строки увеличивается за счет добавления в нее вложенных операторов. На каждой итерации количество вкладываемых операторов увеличивается вдвое от 2 до 2048 раз. Таким образом, длина входной строки увеличивается от 70 терминальных символов до 81924 терминальных символов. Входная строка подается на вход информационной системы автоматизации построения синтаксических анализаторов методом LL(1) 1 000 000 раз, из которых для достоверного исключения влияния динамической компиляции 850 000 считаются «тренировочными». Длительность синтаксического разбора фиксируется после завершения каждого разбора. Затем для усиленного снижения статистического шума для оставшихся 150 000 результатов подсчитывается среднее значение, которое принимается в качестве среднего времени обработки входной строки длиной соответствующей итерации. В результате, получены следующие данные, отраженные на графике на Рис.2.



Рис.2 - Зависимость среднего времени синтаксического разбора от длины входной цепочки

Рассматривая полученные результаты и их графическое представление, нетрудно заметить, что теперь на графике нет резких скачков и провалов, график имеет практически линейный характер. Это характерно для нисходящих синтаксических анализаторов LL(1) [3,4,5].

В ходе исследования влияния виртуальной Java-машины на оценки производительности информационных систем в машиноприборостроении, стало очевидным, что «прогрев» JVM необходимо учитывать при разработке микротестов производительности информационных систем.

Библиографический список

1. В.Goetz Теория и практика Java: Динамическая компиляция и измерение производительности // ibm.ru: статьи по изучению Java. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/java/library/j-jtp12214/> (дата обращения: 10.05.2018).
2. Фисун, С.Н. Программная система для реализации синтаксических анализаторов / С.Н. Фисун, С.Н. Дзюба // Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции ИНФОТЕХ-2017. Севастополь, 18-20 сент. 2017г. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2017. – С. 31-35.
3. Малявко, А. А.Формальные языки и компиляторы: учебное пособие для вузов / А. А. Малявко. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 429с.

4. Ахо, А. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий / А. Ахо, М. Лам, Р. Сети, Дж. Ульман – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 1184 с.
5. Соломатин, Д.И. Основы синтаксического разбора, построение синтаксических анализаторов: учебно-методическое пособие для вузов / Д.И. Соломатин, А.В.Копытин, А.И. Другалев. – Воронеж: Изд-во Воронежского ГУ, 2014. – 57 с.

Bibliograficheskiy spisok

1. B.Goetz Teoriya i praktika Java: Dinamicheskaya kompilyaciya i izmerenie proizvoditel'nosti // ibm.ru: statji po izucheniya Java. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/java/library/j-jtp12214/> (data obratneniya: 10.05.2018).
2. Fisun, S.N. Programmaya sistema dlya realizacii sintaksicheskikh analizatorov / S.N. Fisun, S.N. Dzyuba // Sbornik statey Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii INFOTEKH-2017. Sevastopolj, 18 20 sent. 2017g. – Sevastopolj: Izd-vo SevGU, 2017. – S. 31 35.
3. Malyavko, A. A. Formal'niye yazihki i kompilyatorih: uchebnoe posobie dlya vuzov / A. A. Malyavko. — М.: Izdatel'stvo Yurayt, 2017. — 429s.
4. Akho, A. Kompilyatorih: principih, tekhnologii i instrumentariy / A. Akho, M. Lam, R. Seti, Dzh. Uljman – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2008. – 1184 с.
5. Solomatin, D.I. Osnovih sintaksicheskogo razbora, postroenie sintaksicheskikh analizatorov: uchebno-metodicheskoe posobie dlya vuzov / D.I. Solomatin, A.V.Kopihtin, A.I. Drugalev. – Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo GU, 2014. – 57 s.

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

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

SURVEY OF THE INFLUENCE OF VIRTUAL JAVA-MACHINE ON EVALUATION OF INFORMATION SYSTEM'S PERFORMANCE IN MACHINE-TOOL CONSTRUCTION

Fisun S. N., Dzyuba S. N.

The article is devoted to the study of the influence of a virtual Java-machine on evaluating the performance of information systems in machine-tool construction. On the example of the information system for the automation of the developing of LL(1) parsers, the assumption of the virtual machine's influence on the performance evaluation is checked. Based on the results of the study of the impact of the JVM on the duration of code execution, corrections were made to the testing methodology and new results of performance estimates were obtained, as close as possible to the expected ones.

Key words: parsing, top-down method LL (1), JVM, Java virtual machine, dynamic compilation, HotSpot, OSR.

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

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

Научное издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ В МАШИНО-ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Научный журнал
Выпуск №1, 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.