



МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

# **МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ**

**МАТЕРИАЛЫ II ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**(Самара, 26–27 марта 2020 г.)**

Самара  
2020

УДК 004  
ББК 32. 81  
М 55

***Редакционная коллегия***

*Ответственный редактор:*

*А. В. Авсиевич* канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте» СамГУПС

*Члены редакционной коллегии:*

*М. А. Гаранин* канд. техн. наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям СамГУПС

*Н. В. Чертыковцева* канд. техн. наук, доцент, декан факультета СИТ СамГУПС

*В. А. Засов* канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте» СамГУПС

*А. П. Припутников* канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте» СамГУПС

М 55 **Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте** : материалы II Всероссийской научно-практической конференции (Самара, 26–27 март 2020 г. ). – Самара : СамГУПС, 2020. – 160 с.

ISBN 978– 5– 98941– 320–1

УДК 004  
ББК 32. 81

Сборник материалов содержит пленарные и секционные доклады, представленные на II Всероссийскую научно-практическую конференцию «Мехатроника, автоматизация, управление на транспорте». Материалы содержат актуальные теоретические и прикладные проблемы мехатроники и управления в области транспорта. Рассматриваются проблемы интеллектуализации мехатронных и робототехнических систем, вопросы исследования и проектирования АСОИУ на транспорте.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

**Авсиевич А. В.**

Модификация критерия устойчивости Михайлова для анализа моделей автоматического управления с нецелыми показателями ..... 7-12

**Анохин Н. С.**

Анализ погрешностей адаптивных методов коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей ..... 13-17

**Бадриева Р. Р., Додонов М. В.**

Автоматизированная система цифровизации путевой инфраструктуры железнодорожных станций ..... 17-20

**Гущин А. В., Соловьев Д. А., Бедин Н. С., Головин К. А.,**

**Илларионов Д. Н., Пименова В. К.**

Решения для нестационарных процессов при транспортных испытаниях ..... 21-23

**Гумаров А. Р., Авсиевич А. В.**

Имитационная модель АЛСН с ортогональным кодово-частотным генератором кодовых сигналов ..... 23-27

**Григоровский Б. К., Припутников А. П.**

Экспериментальное исследование группового представления пространства состояний инфразвуковых информационно-измерительных систем..... 28-33

**Давлетшина А. И.**

Бортовые регистраторы для контроля выработанного и остаточного ресурса двигателей ..... 33-38

**Жарская М. С., Иванов Д. В.**

Исследование влияния шума на точность оценки параметров с общими множителями ..... 38-40

**Засов В. А., Зиновьева Е. А.**

Рекурсивный специализированный процессор для вычисления обратных функций ..... 41-45

**Испухалеева А. Н., Додонов М. В.**

Разработка системы визуализации процессов моделирования работы железнодорожных станций ..... 46-47

**Красильникова А. В.**

Автоматизированная система централизованного сбора данных о параметрах работы ДВС ..... 48-52

**Куршева А. А., Леонова С. С., Авсиевич А. В.**

Реализация обобщенного критерия Михайлова для определения устойчивости моделей систем автоматического управления вещественного порядка в среде MATLAB ..... 53-56

**Лахметкина Н. Ю.**

Цифровые сервисы контейнеризации..... 56-59

**Лобачев А. Ю.**

Показатели эффективности параллельных алгоритмов, реализующих методы главных и независимых компонент ..... 59-64

**Митрошин Д. И., Сандлер И. Л., Иванов Д. В.**

Идентификация параметров авторегрессии с аддитивной помехой в выходном сигнале методом инструментальных переменных ..... 64-65

**Михайлова А. Н.**

Web-сервис МСИ на основе методики для проведения статистической обработки данных ..... 66-67

**Морозова Е. В.**

Автоматизированная система регистрации заявок на разработку схем крепления грузов для перевозки на железнодорожном транспорте ..... 68-71

**Никищенков С. А., Самсонов В. Н., Романова П. Б., Дорофеев Я. В.**

Автоматизация задач в области пересечений железнодорожного полотна коммуникациями предприятий ..... 71-74

**Петухов С. А., Курманова Л. С., Чинченко Д. С.**

Автоматизированная система контроля за расходом моторного масла на автономных локомотивах ..... 74-77

**Полтева Е. А., Иванов Д. В.**

Идентификация систем Гаммерштейна при наличии автокоррелированной помехи ..... 77-80

**Сандлер И. Л.**

Тестирование рекуррентного алгоритма оценивания многомерных линейных динамических систем разного порядка с помехами во входных сигналах ..... 80-82

**Сидорова Е. А., Подгорная С. О.**

Оценка необходимости корректировки плановой нормы удельного расхода энергоресурсов на тягу поездов ..... 82-84

**Трифорова Н. В., Авсиевич Н. А.**

Система сбора и обработки данных динамических параметров пути ..... 84-88

**Чертыковцева Н. В., Авсиевич В. В., Реуф Т. Р., Ткачѳв М. В.**

Получение математической модели газодизельной установке на базе двигателя внутреннего сгорания Д-242 ..... 88-90

**Юрлов В. А., Сандлер И. Л., Кацюба О. А.**

Критерий для оценивания параметров нелинейной стохастической многомерной системы при помехах во входных и выходных сигналах ..... 91-93

**СЕКЦИЯ 2. МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА НА ТРАНСПОРТЕ**

**Авсиевич Н. А., Залесов Н. А.**

Экспериментальный образец информационно-измерительной системы фиксации ускорения верхнего строения пути ..... 94-96

**Антонова В. В., Болгов А. В., Рудаков А. А.**

Моделирование переходных процессов в асинхронном электродвигателе при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора..... 97-99

**Буштрук Т. Н., Буштрук А. А.**

Моделирование прочностных свойств композитных материалов в робототехнике ..... 100-105

**Козлов В. В., Кабанова В. Д.**

Применение промышленных роботов в индустрии ..... 105-107

**Золкин А. Л.**

Применение бесконтактных датчиков для автоматического сбора, обработки и анализа информации об износе пластин коллектора тягового электродвигателя ..... 107-111

**Колтыгин Д. С., Седельников И. А.**

Система программирования на основе команд-макросов для управления промышленными роботами..... 111-115

**Летягин П. В., Асабин В. В.**

Электронная система подачи газа в цилиндры газодизеля ..... 116-119

**Моисеев М. М., Рудаков А. А., Антонова В. В., Сандлер И. Л.**

Имитационная модель трехфазной нулевой схемы выпрямления на нагрузку типа ДПТ НВ..... 119-123

**Рудаков А. А., Антонова В. В., Сандлер И. Л.**

Имитационная модель трехфазного мостового управляемого выпрямителя на RL-нагрузку с противо-ЭДС ..... 123-127

**Жмуров Д. Б.**

Промышленный комплекс роботизированной окраски изделий ..... 127-129

**СЕКЦИЯ 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Алгайкина Е. С., Коршун Е. А., Зюрина О. А., Кизимиров М. В.**

Легкорельсовый транспорт как инструмент для снижения транспортной нагрузки в Самаре ..... 130-132

**Грязнов А. О., Тарасян В. С.**

Интеллектуальная система управления перекрестком на базе симбиоза нечеткой логики и генетических алгоритмов ..... 132-136

**Куршева А. А., Емелина О. А.**

Имитационная модель кольцевого УДС с его дальнейшей оптимизацией при помощи программы ANYLOGIC ..... 136-140

**Никищенко С. А., Асабин В. В., Семенкина М. А.**

Анализ и диагностика транспортных многооперационных процессов с использованием моделей параллельных вычислений ..... 140-143

**Хайтбаев В. А.**

Моделирование подходов к управлению запасами в цепях поставок..... 143-148

**СЕКЦИЯ 4. ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК В РОБОТОТЕХНИКЕ  
И АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Alekseeva D. A.**

Specificities of the English language for students majoring programming..... 149-151

**Bakanova M. O.**

Design of open urban spaces based on the principle of “deaf space” ..... 152-155

**Bakanova I. G., Kashlakov D. A., Arutynov O. G.**

The effect of electromagnetic radiation from gadget screens on human vision ..... 155-156

**Nasibov R. E., Mekhonoshin S. A.**

Pros of introducing a university mobile application with mining analysis..... 156-157

**Bakanova I. G., Vasileva I. A., Arustamyan L. A.**

The birth of Apple ..... 158-159

---

---

# СЕКЦИЯ 1

## Автоматизированные системы обработки информации и управления на транспорте

УДК 517.58

### МОДИФИКАЦИЯ КРИТЕРИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МИХАЙЛОВА ДЛЯ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕЦЕЛЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

А. В. Авсиевич

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Предложен модифицированный частотный критерий Михайлова, действие которого распространено на системы автоматического управления с комплексными показателями.

**Ключевые слова:** Принцип аргумента, частотный критерий Михайлова, модели САУ с нецелыми показателями.

**Abstract.** A modified Mikhailov frequency criterion is proposed, the effect of which is extended to automatic control systems with complex indicators.

**Keywords:** argument Principle, Mikhailov frequency criterion, ACS models with non-integer indicators.

**Постановка задачи.** В теории автоматического управления для определения устойчивости линейных математических моделей системы (объекта) автоматического управления применяется частотный критерий устойчивости Михайлова. Напомним, определение критерия для систем с натуральными показателями согласно классификации предложенной в работе [1]: *для устойчивой системы необходимо и достаточно, чтобы годограф Михайлова при изменении частоты от нуля до бесконечности повернулся против часовой стрелки, начиная с вещественной оси, на число квадрантов равное порядку характеристического уравнения, последовательно проходя эти квадранты.*

В работе [2] Михуниным В. В. и Рубановым В. Г. предложено следующее определение для систем с рациональными показателями: *система автоматического управления дробного порядка будет устойчивой, если годограф Михайлова ( $D(\sqrt{j\omega})$ ), построенный для диапазона частот от нуля до бесконечности, нигде не обращается в нуль кроме, может быть, начала координат (при  $\omega=0$ ). При этом рациональные показатели можно представить в виде  $n*1/2$  ( $n=1,2,\dots$ ), то есть нецелая часть фиксированная равная  $1/2$ .*

Работа [3] расширяет определения устойчивости Михайлова на системы автоматического управления с вещественным порядком, где  $\alpha$  вещественное число, которое может принимать любое значение из интервала  $0 \leq \alpha < 1$ . Тогда определение Михайлова будет звучать следующим образом: *система автоматического управления будет устойчивой, тогда и только тогда, когда при возрастании частоты от 0 до  $+\infty$  годограф вектора  $D((j\omega)^\alpha)$ , начиная с положительной вещественной полуоси, обходит последовательно в положительном направлении  $[n\alpha]+1$  квадрантов и заканчивается в  $[n\alpha]+1$ -ом квадранте, где  $[ ]$  – целая часть числа. Под квадрантом в данном случае подразумевается сектор с углом равным  $\pi\alpha/2$ .*

В работе [4] критерий Михайлова сформулирован в следующем виде: При изменении частоты от нуля до бесконечности годограф Михайлова должен повернуться в положительном направлении на,  $\frac{\pi n}{2r}$ , где  $\frac{n}{r}$  – степень старшего члена характеристического полинома замкнутой системы

Как видно из выше представленного обзора критерий Михайлова хорошо изучен и сформулирован для систем автоматического порядка с вещественным показателем, но совсем неохваченными остаются системы автоматического управления математическая модель которых имеет в своём составе дифференциальные уравнения с комплексным показателем.

**Основная часть.** Рассмотрим поведение годографа Михайлова для систем с комплексным показателем на базе принципа аргумента [5], для чего рассмотрим систему описываемую дифференциальным уравнением с показателями комплексного порядка [6]

$$\sum_{k=1}^n a_k D_{0+}^{\alpha_k} y(t) + a_0 y(t) = f(t) \quad (t > 0), \quad (1)$$

где  $n \in N$ ;  $a_k \in R$  – коэффициенты;  $0 < \Re(\alpha_1) < \Re(\alpha_2) \dots < \Re(\alpha_n)$  и  $D_{0+}^{\alpha_k} y(t)$  ( $k = 1, \dots, n$ ) – производная Лиувилля комплексного порядка

$$D_{0+}^{\alpha} y(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)} \frac{d^n}{dt^n} \int_a^t \frac{y(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha-n+1}} d\tau \quad n = [\Re(\alpha)] + 1; [\Re(\alpha)] \geq 0; t > 0. \quad (2)$$

Преобразование Лапласа от нецелого дифференциала комплексного порядка согласно [6] будет

$$L\{D_{0+}^{\alpha} y(t)\} = s^{\alpha} Y(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^{n-k-1} D^k (I_{0+}^{n-\alpha} y(0+)).$$

Тогда с учётом  $\Re(\alpha) > 0$ ,  $n = [\Re(\alpha)] + 1$  для  $\forall b > 0$  и нулевых начальных условий, согласно определению, получим передаточной функцию вида

$$W(s^{\alpha}) = \frac{1}{\sum_{k=1}^n a_k s^{\alpha_k} + a_0}. \quad (3)$$

Известно, что характеристический полином передаточной функции линейной системы полностью определяет поведение системы, определим изменения его аргумента в зависимости от частоты. Для этого запишем характеристический полином в следующем виде

$$F(s^{\alpha}) = \sum_{k=1}^n a_k s^{\alpha_k} + a_0.$$

Предположим, что характеристический полином имеет  $n$  корней относительно главного значения аргумента и можно разложить его по теореме Безу

$$F(s^{\alpha}) = a_n (s^{\alpha} - s_1)(s^{\alpha} - s_2) \dots (s^{\alpha} - s_n), \quad (4)$$

где  $s_1, s_2, \dots, s_n$  – корни полинома.

Перейдем в частотную область с помощью подстановки  $s = j\omega$ , и перепишем полином (4) в следующем виде

$$F((j\omega)^{\alpha}) = a_n ((j\omega)^{\alpha} - s_1)((j\omega)^{\alpha} - s_2) \dots ((j\omega)^{\alpha} - s_n). \quad (5)$$

Рассмотрим, поведение составляющей  $(j\omega)^{\alpha} - s_1$  уравнения (5), которая из себе представляет вектор закрепленный в точке  $s_1$  одним концом и передвигающийся вторым концом по траектории описываемой функцией  $(j\omega)^{\alpha}$  при изменении частоты от  $-\infty$  до  $+\infty$  и заданном  $\alpha = \sigma + j\beta$  и  $0 \leq \sigma < 1$ ,  $\beta \in R$ .

Определим траекторию движения конца вектора  $(j\omega)^{\alpha} - s_1$ . Для этого вместо оператора  $\alpha$  подставим комплексное число  $\alpha = \sigma + j\beta$  в функцию  $(j\omega)^{\alpha}$

$$(j\omega)^{\sigma+j\beta} = j^{\sigma+j\beta} \omega^{\sigma+j\beta}. \quad (6)$$



Возведем отдельно в комплексную степень сомножителя равенства (6):  
первая составляющая

$$j^{\sigma+j\beta} = e^{\ln j^{\sigma+j\beta}} = e^{(\sigma+j\beta)\ln j},$$

исходя из тождества Эйлера  $e^{j\pi} + 1 = 0$ , следует, что  $\ln j = j\pi/2$ , тогда получим

$$j^{\sigma+j\beta} = e^{-\beta\frac{\pi}{2} + j\sigma\frac{\pi}{2}};$$

вторая составляющая

$$\omega^{\sigma+j\beta} = e^{(\sigma+j\beta)\ln\omega} = e^{\sigma\ln\omega} e^{j\beta\ln\omega} = \omega^{\sigma} e^{j\beta\ln\omega}.$$

Подставим полученный результат в двух составляющих в выражение (6) описывающее траекторию движения конца одного вектора (5)

$$(j\omega)^{\sigma+j\beta} = e^{-\beta\frac{\pi}{2} + j\sigma\frac{\pi}{2}} \omega^{\sigma} e^{j\beta\ln\omega} = \omega^{\sigma} e^{-\beta\frac{\pi}{2}} e^{j\left(\sigma\frac{\pi}{2} + \beta\ln\omega\right)}. \quad (7)$$

Применим к (7) преобразование Эйлера  $e^{j\theta} = \cos\theta + j\sin\theta$

$$(j\omega)^{\sigma+j\beta} = \omega^{\alpha} e^{-\beta\frac{\pi}{2}} \left( \cos\left(\frac{\pi}{2}\sigma + \beta\ln\omega\right) + j\sin\left(\frac{\pi}{2}\sigma + \beta\ln\omega\right) \right). \quad (8)$$

По выражению (8) построим траектории движения конца вектора  $(j\omega)^{\alpha} - s_1$  выражения (5) при разных значениях показателя  $\alpha$ : действительных – рис. 1; комплексных – рис. 2; мнимых – рис. 3.

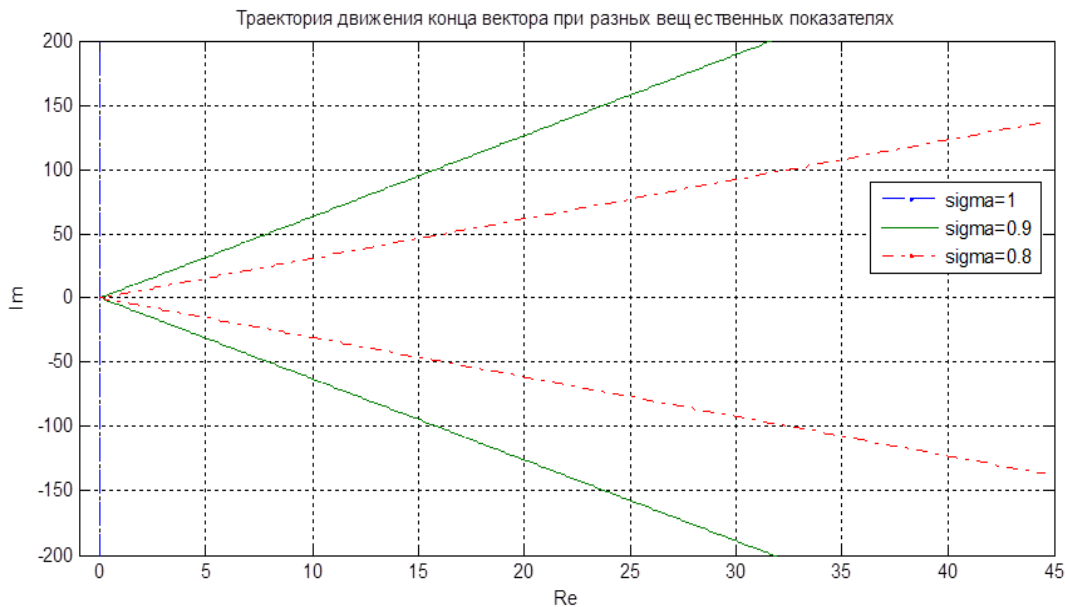


Рис. 1. Траектория движения конца вектора при вещественных показателях  $\alpha$  при, частоте от  $-500$  до  $500$

Как видно из рис. 1, траектория движения конца вектора для вещественных показателей совпадает с результатами, приведенными в работах [2, 3, 4]. При комплексных показателях движение конца вектора происходит по логарифмической спиральной траектории (рис. 2), также наблюдается разность длины траектории при частотах от минус бесконечности до нуля и от нуля до плюс бесконечности. Чисто мнимые показатели дают кольцевую траекторию движения конца вектора (рис. 3), причем радиус окружности при изменении частоты от  $-\infty$  до  $0$  меньше, чем  $0$  до  $+\infty$ .

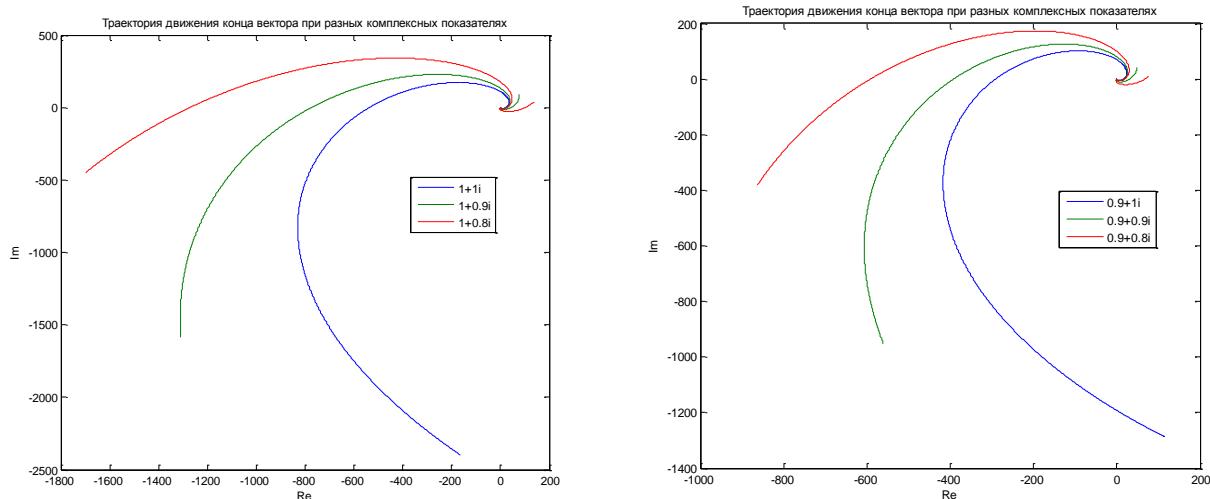


Рис. 2. Траектория движения конца вектора при комплексных показателях  $\alpha$ ,

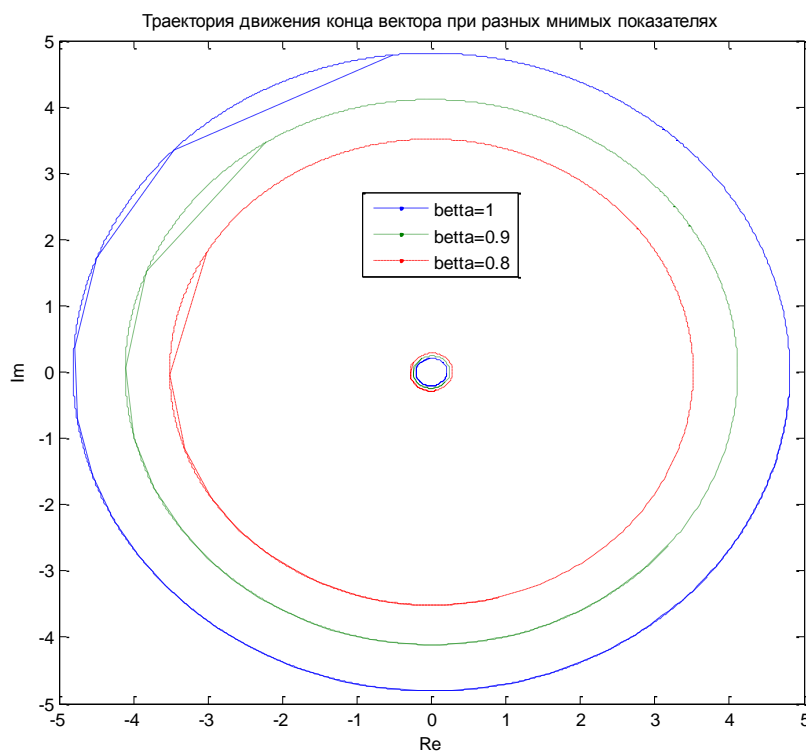


Рис. 3. Траектория движения конца вектора при комплексных показателях  $\alpha$ , при частоте от  $-500$  до  $500$

Сравним траектории движения конца вектора уравнения (7) в диапазонах частоты от  $-\infty$  до  $0$ , и от  $0$  до  $+\infty$ . Так как в области действительных чисел натуральный логарифм не определён, то уравнение (7) в указанных диапазонах частот будет выглядеть по разному:

на отрезке частоты  $0$  до  $+\infty$

$$H(j\omega)_+ = \omega^\sigma e^{-\frac{\pi}{2}\beta} e^{j\left(\sigma\frac{\pi}{2} + \beta \ln \omega\right)}; \quad (9)$$

а на отрезке от  $-\infty$  до  $0$  значения логарифма в области действительных чисел не существует, тогда запишем отрицательную частоту в следующем виде  $-\omega$ , где  $\omega > 0$  и с учетом свойств логарифма, и тождества Эйлера  $\ln(-1) = j\pi$  получим

$$H(j\omega)_- = (-\omega)^\sigma e^{-\beta \frac{\pi}{2}} e^{j\left(\sigma \frac{\pi}{2} + \beta \ln(-\omega)\right)} = \omega^\sigma e^{-\frac{3\pi}{2}\beta} e^{j\left(\frac{3\pi}{2}\sigma + \beta \ln \omega\right)}. \quad (10)$$

Сравнивая выражения (9) и (10) можно заметить, что модули вектора при положительных частотах  $H(j\omega)_+$  и при отрицательных частотах  $H(j\omega)_-$  не совпадают, определим коэффициент их пропорции

$$kH(j\omega)_- = H(j\omega)_+.$$

Определим величину коэффициента пропорции  $k$

$$k = \frac{H(j\omega)_+}{H(j\omega)_-} = \frac{\omega^\sigma e^{-\frac{\pi}{2}\beta} e^{j\left(\sigma \frac{\pi}{2} + \beta \ln \omega\right)}}{\omega^\sigma e^{-\frac{3\pi}{2}\beta} e^{j\left(\frac{3\pi}{2}\sigma + \beta \ln \omega\right)}} = e^{\beta\pi - j\sigma\pi} = e^{\beta\pi} e^{-j\sigma\pi}. \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что угол между двумя траекториями движения конца вектора (6) при изменении частоты от  $-\infty$  до  $+\infty$  составляет  $\sigma\pi$  и не зависит от типа показателя дифференцирования. При значении  $\sigma = 0$  угол между траекториями движения равен нулю, что демонстрируется на рис. 3. (идут параллельно). Длины векторов при вещественных показателях векторов с изменением частоты от  $-\infty$  до 0 и от 0 до  $+\infty$  между собой равны, при комплексных показателях вектор  $H(j\omega)_-$  короче, чем вектор  $H(j\omega)_+$  на величину зависящую от вещественной части показателя  $e^{\beta\pi}$ . При нулевой вещественной части угол разности фаз между двумя векторами при изменении частоты  $-\infty$  до  $+\infty$  равен нулю. Это означает следующее, что концы вектора (6) выходят на одно значения угла поворота, проходя при этом  $2\pi k$  поворотов, вследствие многозначности логарифмической функции.

Основываясь на равенстве (7) видно, что при обходе конца вектора одного корня по траектории, приведенной на рис. 1 при изменении частоты от  $-\infty$  до  $+\infty$  угол поворота вектора составит  $\sigma\pi$  при вещественных значениях показателя. При комплексных показателях из рис. 2 наблюдается скручивание в логарифмическую улитку границ движения конца вектора, но из выражения (11) можно сделать заключение, что при исключении из характеристического уравнения мнимой части, устойчивость системы можно определить предложенными в работах [2, 3, 4] способами.

Рассмотрим принцип аргумента для систем с комплексными показателями и чисто мнимыми, для чего рассмотрим принцип аргумента в диапазоне частот от  $-\infty$  до  $+\infty$ . В результате получим следующее изменение аргумента:

$$\begin{aligned} \Delta F(j\omega) &= \alpha(n-m)\frac{\pi}{2} + \beta(n-m)\ln \omega - \alpha m \frac{\pi}{2} - \beta m \ln \omega = \\ &= \alpha(n-2m)\frac{\pi}{2} + \beta(n-2m)\ln \omega \end{aligned}, \quad (12)$$

где  $n$  – число корней характеристического уравнения,  $m$  – число неустойчивых корней,  $n - m$  – число устойчивых корней.

Тогда для того чтобы система была устойчивой аргумент должен повернуться на угол

$$\Delta F(j\omega) = \alpha n \frac{\pi}{2} + \beta n \ln \omega. \quad (13)$$

Однако введя выражение (13), принцип аргумента трудно применить, так как при изменении частоты от  $-\infty$  до  $+\infty$  угол поворота аргумента будет стремиться к  $\infty$  (годограф Михайлова будет вращаться вокруг точки начало координат бесконечное число раз).

Поэтому, для эффективного использования принципа аргумента (13) необходимо ввести ограничения на диапазон частот.

Определим, границы изменения частоты исходя из следующих рассуждений, система будет устойчивой, если годограф Михайлова повернется последовательно вокруг точки на положительной оси на  $2\pi$ , то есть сделает полный круг.

Для этого определим значения частот, при которых годограф повернёт от 0 до  $2\pi$ .

Определим значение частоты, при котором аргумент будет равен нулю, для чего составим уравнение

$$\alpha n \frac{\pi}{2} + \beta n \ln \omega = 0,$$

откуда начальное значение частоты  $\omega_0 = e^{-\frac{\alpha\pi}{\beta^2}}$ .

Для конечного значения диапазона уравнение будет выглядеть следующим образом

$$\alpha \frac{\pi}{2} + \beta \ln \omega = \frac{2\pi}{n},$$

откуда значение конечной частоты будет  $\omega_\infty = e^{\left(\frac{4-\alpha n}{2n}\right)\frac{\pi}{\beta}}$

Таким образом, диапазон частот будет следующий

$$e^{-\frac{\alpha\pi}{\beta^2}} \leq \omega \leq e^{\left(\frac{4-\alpha n}{2n}\right)\frac{\pi}{\beta}}. \quad (14)$$

Исходя из выражения (13) с наложенными на него ограничениями по частоте (14) получим следующее определение, на базе критерия Михайлова, для определения устойчивости систем автоматического управления с комплексными показателями: При изменении частоты от  $e^{-\frac{\alpha\pi}{\beta^2}}$  до  $e^{\left(\frac{4-\alpha n}{2n}\right)\frac{\pi}{\beta}}$

годограф Михайлова должен повернуться в положительном направлении на  $2\pi$ , в противном случае система автоматического управления будет неустойчивой.

**Заключение.** В данной работе сформулирован частотный критерий устойчивости на базе критерия Михайлова для систем автоматического управления с комплексным порядком. В ходе работы определены траектории движения концов векторов корней характеристического уравнения и определен угол их конечного поворота для действительных и комплексных показателей. При чисто мнимых показателях траектории движения конца вектора от корня характеристического уравнения вырождаются в две несвязанных между собой окружности (рис. 3) по которым движутся концы векторов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Авсиевич А. В. Текущее состояние математического моделирования САУ нецелого порядка // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно– практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г.). – Самара : СамГУПС, 2019. – С. 6– 10.
- 2 Мишуниин В. В., Рубанов В. Г. Системы автоматического управления и контроля с дробно– иррациональными передаточными функциями : монография. – Белгород : Из– во БГТУ им. Шухова, 2004. – 255 с.
- 3 Авсиевич А. В., Авсиевич В. В. Частотные критерии Михайлова и Найквиста для моделей систем автоматического управления с дробным порядком // Вестник транспорта Поволжья. 2010. – Вып. 1 (21). – С. 35–41.
- 4 Аюб Салем. Синтез систем управления для объектов, описываемых иррациональными передаточными функциями: дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2002. – 188 с.
- 5 Авсиевич А. В., Бобкова К. Л. Принцип аргумента для линейных систем автоматического управления комплексного порядка// Современные информационные технологии. Труды международной научно– технической конференции. Вып. 23. – Пенза: Пензенская государственная технологический университет, 2016. – С. 18– 21.
- 6 Kilbas A. A., Srivastava H. M., Trujillo J. J. Theory and applications of fractional differential equation/ Elsevier Science B. V, Amsterdam, The Netherlands, 2006.
- 7 Самко С. Г., Килбас А. А., Марычев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 688 с.

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ КОРРЕКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Н. С. Анохин

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе приведены полученные путем вычислительных экспериментов величины погрешностей коррекции динамических характеристик пьезоэлектрических преобразователей при использовании распространенных адаптивных алгоритмов LMS, NLMS и RLS.

**Ключевые слова:** динамические характеристики, измерительный преобразователь, адаптивные алгоритмы, корректирующее устройство, погрешность, АЧХ, ФЧХ.

**Abstract.** The paper presents the values of errors obtained by computational experiments for correcting the dynamic characteristics of piezoelectric converters using common adaptive algorithms LMS, NLMS and RLS.

**Keywords:** dynamic characteristics, measuring Converter, adaptive algorithms, correction device, error, frequency response, frequency response.

Одними из основных характеристик измерительных преобразователей (пьезоакселерометров, индуктивных преобразователей и др.) являются динамические характеристики: импульсная переходная характеристика, амплитудно– частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики. Неравномерность АЧХ и нелинейность ФЧХ определяют динамические погрешности измерительных преобразователей. Эти погрешности можно уменьшать (компенсировать) путем коррекции динамических характеристик преобразователей. Такая коррекция должна быть адаптивной, так как из– за изменения условий эксплуатации, например, жесткости механического контакта датчика с объектом, температуры и влажности окружающей среды динамические характеристики изменяются.

В настоящее время разработаны адаптивные методы и алгоритмы компенсации динамических погрешностей на базе компьютерных технологий, которые способны уменьшить погрешности и увеличить достоверность измерений [1, 2], но потенциальные возможности различных адаптивных методов коррекции динамических характеристик преобразователей изучены недостаточно.

Задачей работы является анализ погрешностей различных адаптивных алгоритмов коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей.

Для коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей выбрано корректирующее устройство, работающее на основе адаптивных алгоритмов. Задача выравнивания частотной характеристики измерительного преобразователя адаптивным корректирующим устройством (АКУ) является частным случаем решения задачи обратной идентификации [3, 4], структурная схема которой приведена на рис. 1.

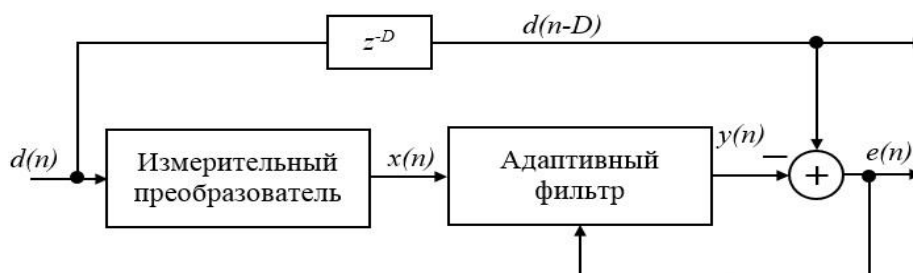


Рис. 1. Адаптивное корректирующее устройство

Выходной сигнал измерительного преобразователя  $x(n)$  совпадает с входным сигналом адаптивного фильтра. В качестве образцового сигнала адаптивного фильтра используется входной сигнал измерительного преобразователя  $d(n)$ , задержанный на  $D$  отсчетов –  $d(n-D)$ . Выходной сигнал  $y(n)$  задерживается относительно входного сигнала  $d(n)$  и вычисляется сигнал ошибки  $e(n)$ , который используется для настройки (адаптации) адаптивного фильтра.

В результате адаптации вычисляются коэффициенты адаптивного фильтра, которые обеспечивают наилучшее приближение по заданному критерию выходного сигнала  $y(n)$  адаптивного фильтра входному

сигналу  $d(n)$  измерительного преобразователя. В этом случае адаптивный фильтр представляет собой обратную модель преобразователя и применяется для коррекции его частотных характеристик.

В работе предлагается использовать следующие алгоритмы адаптации: алгоритм минимальной среднеквадратичной ошибки (LMS), нормализованный алгоритм (NLMS) и рекурсивный алгоритм наименьших квадратов (RLS) [3, 4].

На рис. 2 представлен алгоритм вычисления сигнала ошибки, которую необходимо минимизировать вычисляя коэффициенты фильтра  $h_n$ , где  $n=0, 1, \dots, N-1$  – порядок фильтра.



Рис. 2. Вычисление сигнала ошибки в адаптивном фильтре

Алгоритм LMS основан на вычислении ошибки  $e(k)$  таким образом

$$w(k+1) = w(k) + \mu e(k)x(k).$$

Этот алгоритм отличается, с одной стороны, наименьшей вычислительной сложностью среди известных алгоритмов адаптации, а с другой – медленной сходимостью параметров адаптивного фильтра к оптимальным, т. е. время вычисления параметров АКУ велико.

В нормализованном алгоритме NLMS шаг адаптации  $\mu$  зависит от времени

$$\hat{w}(k+1) = \hat{w}(k) + \mu(k)e(k)x(k).$$

Данная зависимость позволяет увеличить скорость сходимости параметров адаптивного фильтра к оптимальным.

В рекурсивном алгоритме наименьших квадратов (RLS) реализуется рекуррентное вычисление оптимальных параметров адаптивного фильтра АКУ. В качестве критерия адаптации используется минимум суммы квадратичных значений сигнала ошибки [1– 4].

$$\sum_{n=0}^{L-1} e^2(n) \rightarrow \min_w.$$

Вычислительная сложность алгоритма RLS по сравнению с алгоритмами LMS и NLMS существенно больше, но погрешность и время сходимости значительно меньше.

Чтобы выбрать конкретный адаптивный алгоритм, необходимо учитывать, какие погрешности адаптивное корректирующее устройство будет компенсировать, и какая погрешность может возникнуть у выходного сигнала после компенсации.

Погрешность  $\sigma_e^2$  компенсации погрешностей может быть представлена в виде суммы двух составляющих  $\sigma_e^2 = \sigma_{случ}^2 + \sigma_{метод}^2$ , где  $\sigma_{случ}^2$  – случайная составляющая погрешности (средняя квадратичная ошибка), обусловленная шумами и неустойчивостью работы адаптивного корректирующего устройства, а  $\sigma_{метод}^2$  – методическая составляющая погрешности, обусловленная отличием частотного коэффициента  $Q(\omega)$  АКУ от величины, обратной частотному коэффициенту  $H_{кан}(\omega)$  измерительного преобразователя:

$$Q(\omega) \approx \frac{1}{H_{кан}(\omega)}. \quad (1)$$

При проведении анализа погрешностей адаптивных методов коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей для прикладных задач целесообразно определить следующие зависимости:

- зависимость погрешности коррекции при использовании в АКУ различных адаптивных алгоритмов LMS, NLMS, RLS;
- зависимость погрешности коррекции от сложности АКУ, определяемой величиной порядка (числом весовых коэффициентов) адаптивных фильтров;

- зависимость погрешности коррекции от влияния шума квантования, то есть случайной составляющей погрешности  $\sigma_{случ}^2$  измерения сигналов АЦП с применением адаптивных алгоритмов LMS, NLMS, RLS.

Величину погрешности предлагается вычислять по формуле среднеквадратичного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x0_i - x_i)^2}{n}},$$

где  $x$  – нормированный сигнал после компенсации динамических погрешностей;

$x0$  – нормированный образцовый сигнал.

В качестве измерительного преобразователя выбраны пьезоэлектрические датчики, так как такие устройства обладают обратимостью: не только прямым преобразованием (из физического сигнала в электрический), но и обратным, при котором воздействие электрического сигнала заставляет пьезокристалл деформироваться [5, 6].

Выходное напряжение с преобразователя определяется (прямой пьезоэффект):

$$U = \frac{j\omega \cdot F \cdot d_{ij} \cdot R}{1 + j\omega \cdot R \cdot C},$$

где  $F$  – усилие, прилагаемое на преобразователь;  $d$ ,  $R$  и  $C$  – пьезомодуль, сопротивление и емкость преобразователя.

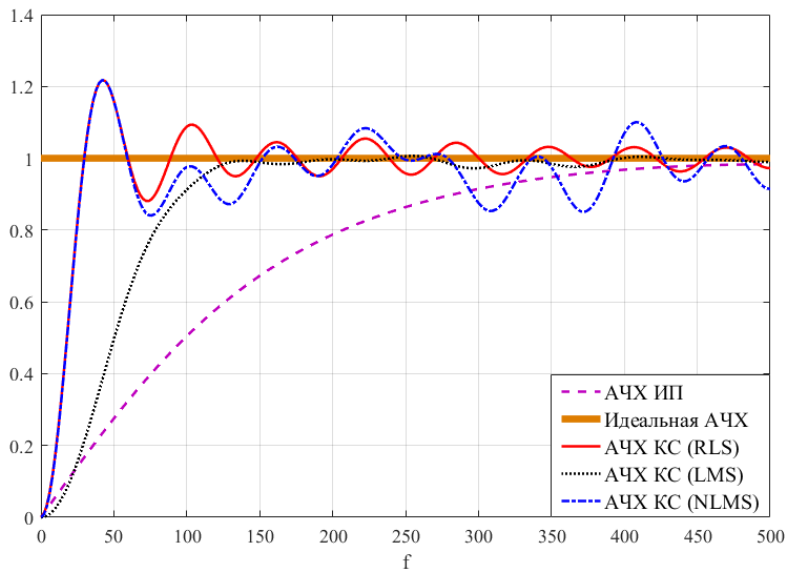
Механическое напряжение, вызывающий деформацию пьезоэлектрического преобразователя под действием электрического поля (обратный пьезоэффект), описывается:

$$\sigma = d \cdot Y,$$

где  $Y$  – модуль Юнга.

Ниже приведены результаты вычислительных экспериментов в среде Matlab, на основе которых построены графики экспериментальных зависимостей погрешностей коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей.

На рис. 3 приведены результаты коррекции АЧХ адаптивным корректирующим устройством, порядок которого равен  $N=32$ , при использовании адаптивных алгоритмов LMS, NLMS и RLS. Из графиков следует, что форма АЧХ каскадного соединений преобразователя и АКУ приближается к идеальной АЧХ, а погрешность уменьшается, причем видно преимущество алгоритма RLS.



Алгоритм	$\sigma$
До коррекции	0.37688
LMS	0.27978
NLMS	0.18662
RLS	0.17668

Рис. 3. Результаты коррекции АЧХ преобразователя АКУ при использовании адаптивных алгоритмов LMS, NLMS и RLS

На рис. 4 приведены экспериментальные зависимости погрешности коррекции АЧХ от порядка (числа весовых коэффициентов адаптивного фильтра) АКУ. Порядок АКУ для используемых адаптивных алгоритмов LMS, NLMS и RLS изменялся в диапазоне от  $N=8$  до  $N=256$ .

Из графиков следует, что наименьшая погрешность достигается при использовании алгоритма RLS, в котором сохраняется тренд уменьшения погрешности с увеличением порядка АКУ.

Область же эффективного применения алгоритмов LMS и NLMS ограничивается порядками  $N=128$  и  $N=64$  соответственно, при которых достигается минимум погрешности.

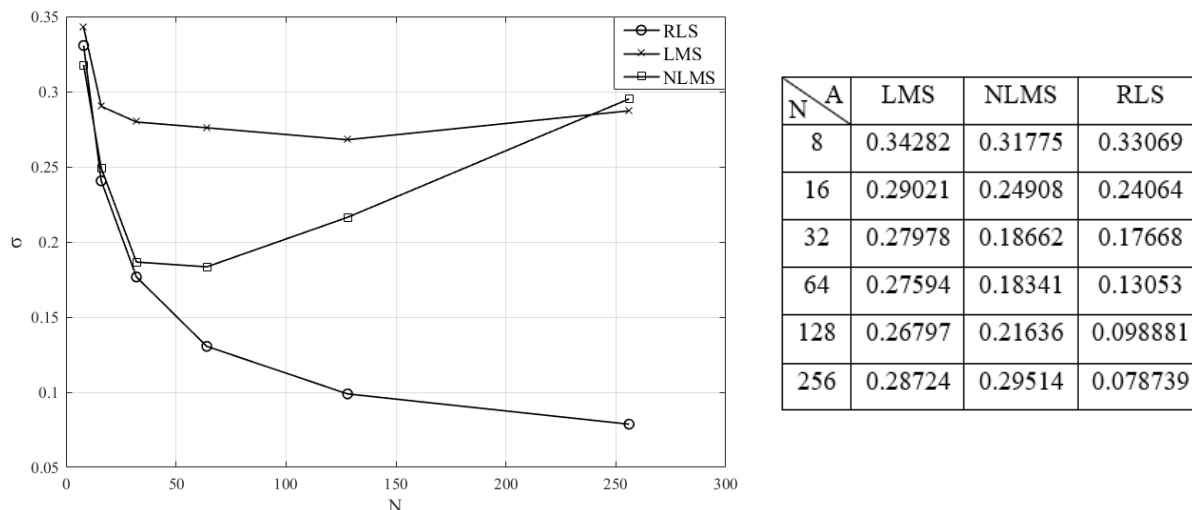


Рис. 4. Экспериментальные зависимости погрешности коррекции АЧХ от порядка (числа весовых коэффициентов адаптивного фильтра) АКУ

На рис. 5 приведены экспериментальные зависимости погрешности коррекции АЧХ от величины шума квантования, который возникает при оцифровке входного сигнала аналого- цифровым преобразователем (АЦП). В проведенных вычислительных экспериментах проверялась устойчивость алгоритмов адаптивной коррекции к шуму АЦП, имеющему равномерный закон распределения.

Для проведения вычислительных экспериментов были выбраны АКУ имеющие порядок  $N=64$  и  $N=128$  и использующие адаптивные алгоритмы LMS, NLMS и RLS.

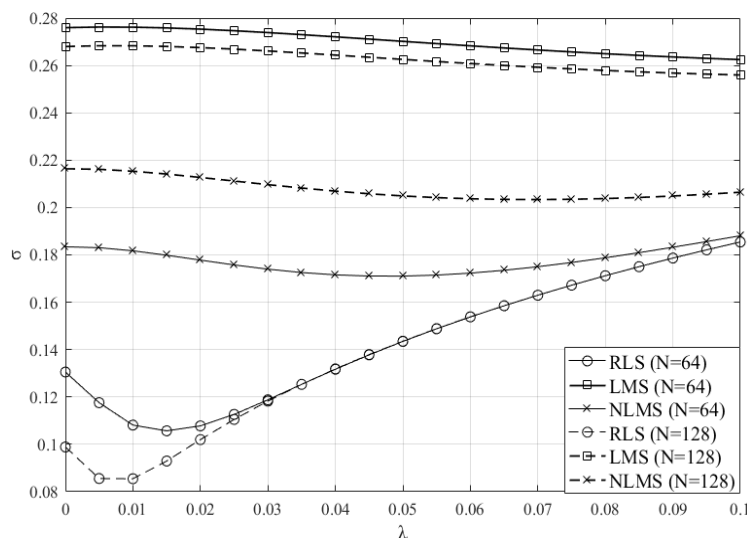


Рис. 5. Экспериментальные зависимости погрешности коррекции АЧХ от величины шума квантования, определяемого числом разрядов АЦП. Величина шума изменяется от 0 до 10% от величины сигнала

Из (1) следует, что задача коррекции динамических характеристик относится к классу обратных задач, которые в общем случае могут быть некорректными. Из свойства некорректности задачи коррекции динамических характеристик следует, что её решение может быть неустойчивым [7], т. е. малые изменения АЧХ преобразователей приводят к недопустимо большим изменениям решения, т. е. неустойчивости алгоритма коррекции [8, 9].

При большой неравномерности АЧХ измерительного преобразователя коэффициенты в некоторых полосах частот могут быть малыми, близкими к нулю, т. е. в десятки раз меньшими значений на



других частотах.

Очевидно, для коррекции таких «завалов» АЧХ коэффициенты АКУ в этих полосах частот должны быть большими, но это приводит к усилению не только сигнала, но и шума, который всегда присутствует во входном сигнале  $d(n)$ . Увеличение уровня шума уменьшает отношение сигнал/шум на выходе АКУ и увеличивает случайную составляющую  $\sigma_{случ}^2$  погрешности компенсации динамических погрешностей [7, 8].

Из графиков на рис. 5 следует, что алгоритмы LMS и NLMS работают одинаково устойчиво. Соотношение шума на входе корректируемого измерительного преобразователя и на выходе АКУ при величине шума, изменяемой от 0 до 10% от величины сигнала) близко к единице, т. е. шум практически не усиливается.

При использовании адаптивного алгоритма RLS имеется тенденция увеличения величины шума, что объясняется рекурсивным принципом работы этого алгоритма. Таким образом, алгоритм RLS целесообразно применять, когда обеспечивается измерение сигналов с малой погрешностью (числом разрядов АЦП больше 8–9).

Анализ результатов проведенных исследований показывает эффективность применения адаптивных алгоритмов LMS, NLMS и RLS коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей для уменьшения погрешностей измерений. Для инженерных приложений достаточно применения АКУ имеющего порядок не превышающий  $N=64$ .

Рассмотренные АКУ с выбранным адаптивным алгоритмом, например реализованные в [10], могут обеспечивать точные и достоверные измерения при решении задач управления и мониторинга объектов транспортной инфраструктуры: поездной радиосвязи, рельсовой колеи, рельсовых цепей, контактной сети и других транспортных сооружений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1989. – 440 с.
- 2 Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. – М. : Техносфера, 2013. – 528 с.
- 3 Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. – СПб. : БХВ–Петербург, 2008. – 816 с.
- 4 Сергиенко А. В. Цифровая обработка сигналов – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
- 5 Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрические датчики. – Техносфера, 2006. – 632 с.
- 6 Маханько А. А., Маханько А. В. Элементы и устройства систем управления – Казань : 2009. – 218 с.
- 7 Засов В. А., Никоноров Е. Н., Тарабардин М. А. Анализ устойчивости решения задачи разделения источников сигналов // Вестник транспорта Поволжья. – 2010. – № 1 (21). – С. 27–35.
- 8 Засов В. А., Никоноров Е. Н. Обеспечение робастности разделения сигналов в условиях априорной неопределённости // Математическое моделирование, численные методы и информационные системы: Сб. материалов 2–й Всероссийской научно-практ. конференции с международным участием. – Самара : САГМУ, 2010. – С. 101–109.
- 9 Тихонов А. Н. Методы решения некорректных задач: учебное пособие для вузов. М. : Наука, Гл. ред. физ. – мат. лит., 1986. – 288 с.
- 10 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Адаптивный эквалайзер: патент на полезную модель № 104403 от 24. 08. 2010 г. Опубл. в БИ №13 от 11. 05. 2011 г.

УДК 519. 6;004. 94

#### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЦИФРОВИЗАЦИИ ПУТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

**Р. Р. Бадриева, М. В. Додонов**

г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** В статье рассматривается проект ПО, позволяющего обеспечить цифровизацию путевой инфраструктуры, описывается схема ПО, прототип интерфейса, особенности микросервисной архитектуры, преимущества цифровизации.

**Ключевые слова:** Железнодорожная станция, путевая инфраструктура, цифровизация, автоматизированная система

**Abstract.** The article discusses a project of software to provide digitization of road infrastructure, describes the schema software the prototype interface, features microservices architecture, the benefits of digitization.

**Keywords:** Railway station, track infrastructure, digitalization, automated system

В настоящее время очень многие бизнес корпорации такие как газпром, сбербанк и другие стремятся внедрить цифровые технологии в работу своих компаний. Это явление носит название цифровизация. Оно дает преимущества при осуществлении трудовой деятельности и выводит на качественно новый уровень эффективность производства.

Инфраструктуру железнодорожных станций так же можно цифровизировать. Это позволит значительно сократить денежные и временные затраты. Станет возможно моделировать в режиме реального времени инфраструктуру путей, задавать месторасположение стрелок и станций, а интуитивно-понятный интерфейс позволит специалистам быстро и легко выполнить задачи, поставленные руководством, увеличив тем самым производительность как сотрудников, так и бизнес- системы.

В качестве цели мы решили создать прототип программного обеспечение, позволяющее максимально автоматизировать цифровизацию инфраструктуры железнодорожных станций. При этом нашей основной задачей является то, чтобы это приложение было не только удобным в использовании, но и обладало быстродействием и возможностью создать сразу несколько моделей станций, а также способностью откатывать изменения до более ранних версий.

Для достижения этих целей необходимо решить следующие задачи: описать предметную область, чтобы хорошо понимать с чем нам придется работать и внести необходимые ограничения в программный продукт; сформулировать функциональные требования к системе.

Приступим к описанию предметной области. В первую очередь нужно разобраться, что же означает термин «путевая инфраструктура». Итак, путевая инфраструктура или инфраструктура железнодорожного транспорта общего пользования представляет собой транспортную инфраструктуру, включающую в себя железнодорожные пути общего пользования и другие сооружения, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки, информационные комплексы, систему управления движением и иные обеспечивающие функционирование инфраструктуры здания, строения, сооружения, устройства и оборудование[3] Таким образом, железнодорожный путь (далее путь) – это подсистема инфраструктуры железнодорожного транспорта, включающая в себя верхнее строение (рельсы, стрелочные переводы, подрельсовое основание со скреплениями и балластная призма), земляное полотно, водоотводные, противодеформационные, защитные и укрепительные сооружения земляного полотна, расположенные в полосе отвода, а также искусственные сооружения. Для пропуска через железнодорожные пути автотранспортных средств устраиваются переезды и путепроводы соответственно в одном и разных уровнях, а для прохода пешеходов пешеходные мосты и дорожки (тротуары), пешеходные тоннели. Для обеспечения работы автоблокировки, локомотивной и переездной сигнализации, контроля целостности пути он оборудуется электрическими рельсовыми цепями, связанными с работой сигнальных устройств, сигналами, сигнальными и путевыми знаками, устройствами путевого заграждения [1: 9].

Содержание пути производится в течении всего года и на всей длине его протяженности, даже если какая- то его часть в данный момент не используется или находится на стадии реконструкции. В ходе содержания пути производят анализ, позволяющий понять причины возникновения неисправностей, проверку состояния путей в целом, а также поиск путей устранения причин возникновения поломок.

На основе вышеперечисленных сведений сформулируем требования к разрабатываемой системе автоматизированной цифровизации. В первую очередь требуется внести в нее базы данных, содержащие всю необходимую информацию о путевой инфраструктуре. При этом эти сведения должны быть значимыми для нас, так как информация о свойствах, которые мы не будем применять (цвет, внешний вид и так далее) будет лишь перегружать наши базы данных избыточными сведениями, что, разумеется, не нужно.

Прежде чем мы приступим к объяснению принципа работы системы для автоматизированной цифровизации путевой инфраструктуры железнодорожных станций, необходимо рассказать немного об имитационном моделировании и его достоинствах. На сегодняшний день моделирование является основным средством исследования задач построения реального объекта с помощью упрощенного вообразимого, называющегося моделью. Оно удобно тем, что при построении моделей решается целый ряд проблем, возникающих при классическом экспериментальном подходе. Исследование не

может стать опасным, ликвидируются затраты от разрушения объектов в процессе эксперимента, решается проблема с размерами реальных моделей. В связи со всеми плюсами моделирования возникла ее подобласть, названная имитационным моделированием.

Имитационное моделирование является прекрасным способом планирования и реализации работ в железнодорожной отрасли [4]. С его помощью мы можем не тратить ресурсы и силы на построение реальных объектов, так как оно позволяет создать процессы так, как если бы они происходили в реальной жизни. Еще одним несомненным плюсом данного вида моделирования является значительное уменьшение возможности появления аварийных ситуаций и вероятности построения неэффективных железнодорожных систем, происходящих из-за неправильных расчетов. То есть, при построении имитационных моделей отдельных частей инфраструктуры железной дороги мы минимизируем количество ошибок при дальнейшем воплощении в жизнь проекта и его применении. На рисунке 1 приведена схема показывающая принцип работы системы.

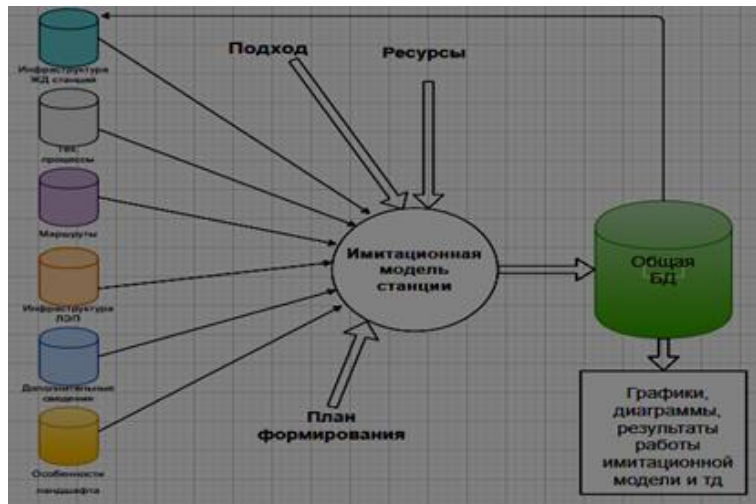


Рис. 1. Схема, показывающая принцип работы системы

В правой части расположены обновляемые базы данных. Они отправляют все необходимые сведения о текущем состоянии станций, ремонтных работах, аварийных участках, необходимых технических процессах, расположении маршрутов, инфраструктуре линий электропередач, особенностях ландшафта, а также дополнительные данные (жесткость, материалы, производители поставляемых деталей и оборудования и другие) в программу, осуществляющую построение цифровизированной системы в виде имитационной модели. В ней же специалистами составляется план формирования, выбирается наиболее оптимальный подход для решения той или иной задачи, а так же вводится информация о доступных ресурсах. Далее, после осуществления всех необходимых манипуляций создается имитационная модель, которая может иметь сразу несколько версий. Затем производятся эксперименты и их результаты вносятся в общую базу данных, из которой пользователи могут получить все необходимые результаты в виде графиков и диаграмм, показывающих эффективность тех или иных решений специалистов. Эти результаты отправляются в базу данных инфраструктуры железнодорожной станции в виде уже готового решения для проектирования наиболее совершенной в отношении цены и качества схемы путевой инфраструктуры железнодорожной станции. Такой подход позволит осуществлять своевременное обновление баз данных, связанных с инфраструктурой. Однако очень важно, чтобы администраторы остальных баз данных вовремя обновляли информацию и хранимые в них сведения. В противном случае нет никакого смысла проектировать что-либо, ведь устаревшие сведения внесут огромное количество ошибок и сделают модель совершенно бесполезной для задач реального времени. На рисунке 2 приведен прототип интерфейса программного продукта.

Система для автоматизированной цифровизации путевой инфраструктуры железнодорожных станций должна значительно упростить создание и редактирование схем подобного рода. Более того, предусмотрена возможность синхронизации путевой инфраструктуры с инфраструктурами ЛЭП и ландшафта, что позволит сделать конструирование намного удобнее, т. к. можно более точно описать расположение путей, исключив при этом нарушение границ путей с ЛЭП. Единый стандарт составления схем и система контроля версий также сделают задачи проектирования и моделирования более удобными.

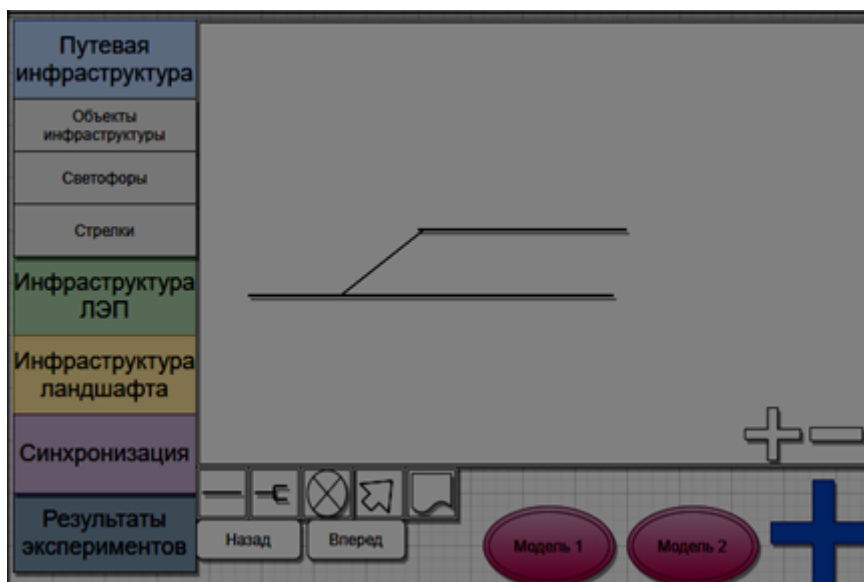


Рис. 2. схема, показывающая принцип работы системы

После подробного анализа было принято решение использовать микросервисный подход для реализации данного программного продукта, поскольку микросервисный подход к разбиению подразумевает разбиение на сервисы в соответствии с потребностями бизнеса. Такие сервисы включают в себя полный набор технологий, необходимых для этой бизнес- потребности, в том числе пользовательский интерфейс, хранилище данных и любые внешние взаимодействия. Это приводит к формированию кросс- функциональных команд, имеющих полный набор необходимых навыков: user-experience, базы данных и project management.

Таким образом, проектируемая система должна значительно упростить задачу цифровизации путевой инфраструктуры железнодорожных станций, а так же решить такие проблемы как отсутствие единого стандарта составления схем железнодорожных путей, построение неэффективных решений путевой инфраструктуры и отсутствие полной информации об инфраструктуре смежных областей. Она позволит в режиме реального времени наблюдать за изменениями ситуаций с железнодорожными путями. Наиболее эффективным путем реализации является микросервисный подход, так как он больше всего подходит для этой программы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Lewis J., Fowler M. Microservices [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (23. 03. 2020)
- 2 Литвинова С. Г. Учебное пособие для студентов 3 и 4 курса по ПМ. 02 Строительство железных дорог, ремонт и текущее содержание железнодорожного пути // МДК 02. 02 «Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути». – Волгоград: ВТЖТ, 2017. –121 с.
- 3 О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части уточнения объектов инфраструктуры воздушного и железнодорожного транспорта, объектов инфраструктуры морских портов, относящихся к особо опасным, технически сложным объектам: Федеральный закон от 03. 08. 2018 г. № 312– ФЗ. Доступ из СПС КонсультантПлюс
- 4 Додонов М. В. Автоматизированная система согласования расписаний международных контейнерных поездов в рамках проекта «один пояс – один путь» // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно– практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г.). – Самара : СамГУПС, 2019. С. 43–47

**РЕШЕНИЯ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПРИ ТРАНСПОРТНЫХ ИСПЫТАНИЯХ**

**Гущин А. В., Соловьев Д. А., Бедин Н. С., Головин К. А.,  
Илларионов Д. Н., Пименова В. К.**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе показана возможность расчета передаточных функций нестационарных систем средствами математических пакетов.

**Ключевые слова:** нестационарные процессы, транспортные испытания, оптимальные фильтры

**Annotation.** The paper shows the possibility of calculating the transfer functions of non-stationary systems using mathematical packages.

**Keywords:** non-stationary processes, transport tests, optimal filters

*Цель работы* – показать возможность расчета передаточных функций нестационарных систем средствами математических пакетов.

*Решались задачи* итеративной настройки фильтра Калмана по Винеровскому типу оптимальной фильтрации.

*Основные этапы и результаты работы:* Получено семейство передаточных функций нестационарного процесса.

Если на вход системы

$$\hat{\mathbf{X}}(t) = \int_{t_0}^t \mathbf{K}(t, \tau) \mathbf{Y}(\tau) d\tau, \quad \hat{\mathbf{X}}(t_0) = 0 \quad (1)$$

поступает случайный сигнал  $\mathbf{Y}(t)$ , являющийся стационарным, в широком смысле, случайным процессом, то оптимальную матричную передаточную функцию  $W^*(s)$  многомерного фильтра можно получить факторизацией рациональной матрицы спектральных плотностей [1, 2]. В случае с нестационарным входным сигналом это решение будет связано с серьезными трудностями. Известна Калмановская модификация (1) как нестационарного выхода для переменных состояния, где  $\hat{\mathbf{X}}(t) \mapsto \hat{\mathbf{X}}(t_1 | t)$ . При этом оценки  $\hat{\mathbf{X}}(t_1 | t)$  уточняются рекурсивно. Предположим, что оценка  $\hat{\mathbf{X}}(t_1 | t)$  произведена линейным фильтром (1) моментно при  $t_1 = t$ . Тогда получим выражение оценки состояния  $\hat{\mathbf{X}}(t_1 | t) \mapsto \hat{\mathbf{X}}(t)$ . Далее предполагаем, что оценивание должно быть оптимальным, т. е. метод оценивания должен опираться на структуру оптимального фильтра.

*Модель источника состояний* (рис. 1). Полезный сигнал  $\mathbf{M}(t)$  можно представить выходом формирующего фильтра типа (1):

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{G}(t)\mathbf{N}_1(t), \quad (2)$$

где  $\mathbf{X}(t) = \mathbf{M}(t)$ ;  $\mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}^0$  – случайный вектор начальных условий. Фильтр выполняет роль звена, которое формирует из белого шума случайный процесс с заданными статистическими характеристиками или с заданной спектральной плотностью. Описывается линейным матричным дифференциальным уравнением с вектором состояния  $\mathbf{X}(t)$ . Его выход – состояние (1) – случайный процесс, которым можно представлять случайный процесс на входе Винеровского фильтра. Условие нестационарности определяются динамическими характеристиками дисперсионного уравнения (4). Алгебраическое уравнение выхода измерений выражается [2]

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{N}_2(t), \quad (3)$$

где  $\mathbf{C}(t)$  – матрица размерности  $l \times n$ ;  $\mathbf{X}(t)$  – переменная состояния формирующего фильтра;  $\mathbf{N}_2(t)$  – гауссовский белый шум с характеристиками

$$M\{\mathbf{N}_2(t)\} = 0, \quad \mathbf{R}_{N_2 N_2}(t, \tau) = \mathbf{S}_2(t)\delta(t - \tau); \quad (4)$$

$S_2(t)$  – положительно определенная матрица размерности  $l \times l$ . Предполагается некоррелированность шумов  $N_1(t)$  и  $N_2(t)$ , а также  $X(t)$  и  $N_2(t)$ , т. е.

$$M\{N_1(t)N_2^T(\tau)\} = 0, \forall t, \tau \geq t_0; M\{X(t)N_2^T(\tau)\} = 0, \forall t, \tau \geq t_0. \quad (5)$$

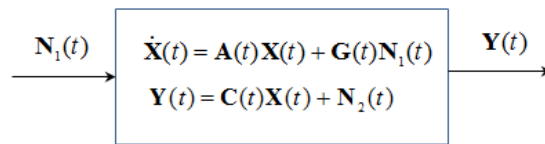


Рис. 1. Функции динамического звена – источника входных воздействий

*Алгоритм решения* (при обобщенных характеристиках состояния дисперсии ошибки восстановления).

Шаг 1. Подготовка данных на основе формирующего фильтра

$G(t)$  – матрица усиления входного сигнала;

$C(t)$  – матрица усиления выходного сигнала (состояния);

$A(t)$  – матрица системы;

$S_1$  – матрица интенсивности белого шума на входе фильтра.

Шаг 2. Решение матричного уравнения.

Шаг 3. Расчет МИПФ фильтра.

Шаг 4. Расчет матрицы корректирующей функции.

Шаг 5. Решение матричного уравнения оптимальной оценки состояния в условиях нестационарной среды.

*Основные фрагменты кодов программы* (пакет Mathcad).

Шаг 1. Задаем число отсчетов наблюдения значений переходного процесса дисперсий ошибки восстановления:

$$N := 32 \quad i := 0..N - 1$$

Шаг 2. Матричные структуры правой части – третье и четвертое слагаемое, задание, транспонирование  $A$  :

$$GSG := G \cdot S_1 \cdot G^T \quad CSC := C^T \cdot S_2^{-1} \cdot C \quad DD_1 := 0 \quad A_t := A^T$$

Вектор– столбец состояний по заданным отсчетам времени рассчитывается поэлементно. Пример первых 3–х строк решения матричного дифференциального уравнения

$$\begin{aligned} \text{Given} \\ d0'(t) &= d0(t) \cdot A_{0,0} + d0(t) \cdot A_{t_{0,0}} + GSG_{0,0} - CSC_{0,0} \cdot d0(t)^2 & d0(0) &= dn_0 \\ d1'(t) &= d1(t) \cdot A_{1,1} + d1(t) \cdot A_{t_{1,1}} + GSG_{1,1} - CSC_{1,1} \cdot d1(t)^2 & d1(0) &= dn_1 \\ d2'(t) &= d2(t) \cdot A_{2,2} + d2(t) \cdot A_{t_{2,2}} + GSG_{2,2} - CSC_{2,2} \cdot d2(t)^2 & d2(0) &= dn_2 \end{aligned}$$

Шаг 3. После решения векторного уравнения состояние собирается в матрицу и рассчитывается МИПФ фильтра:

$$K_f := DD \cdot C \cdot S_2^{-1}$$

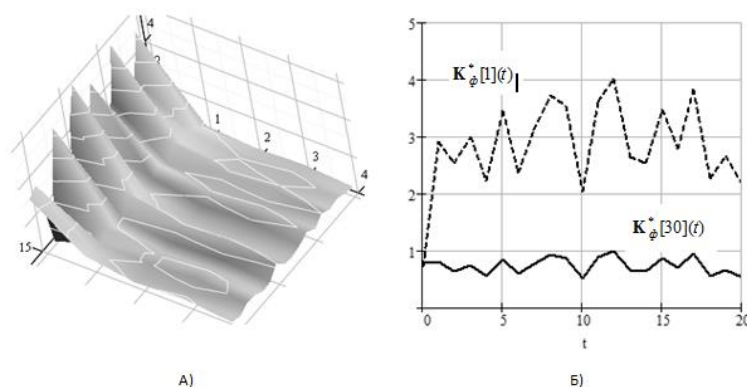


Рис. 2. А) – поверхность МИПФ оптимального фильтра; Б) – Примеры срезов МИПФ на 1– й и 30– й отсчет времени переходного процесса состояний дисперсий ошибки восстановления

Шаг 4. Расчет.

$$КС := Kf \cdot C \quad F := A - KC$$

Шаг 5. Решение оптимального оценивания состояния линейного фильтра в условиях нестационарности. Пример 3– х строк решения состояния при  $X(t_0) = 0$ , где  $Y(t)$  – аддитивная смесь модели нестационарного процесса с белым шумом.

*Выводы.* Выбранный способ рассматривать нестационарность среды за период переходного процесса динамики дисперсий ошибки восстановления, позволяет построить хорошо структурированный алгоритм оптимальных состояний. Алгоритм можно выбрать как базовый вариант последовательного двух этапного действия оценки вектор функций состояний дисперсионного уравнения ошибки и оптимального фильтра. Особенно это будет эффективно, если продолжительность учета нестационарностей среды соизмерима с переходным процессом динамики дисперсий ошибки восстановления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пупков К. А., Егупов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 томах. Том 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 656 с.
- 2 Пупков К. А., Егупов Н. Д. Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 томах. Том 2. Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 640 с.
- 3 Сальников Н. Н. Оценивание состояний и параметров динамической системы при отсутствии априорной информации об оцениваемых величинах // Сборник научных трудов НГТУ. – 2014. – № 3 (77).
- 4 Авсиевич А. В. Свободное движение динамической системы, описываемой системой дифференциальных уравнений дробного порядка // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – Вып. 5 (29). – С. 41–46.
- 5 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Идентификация входных сигналов в задачах контроля и диагностики динамических объектов // Сборник научных трудов. Четвертая Международная конференция по проблемам управления. – 2009. – С. 1478–1486.

УДК 656. 2

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АЛСН С ОРТОГОНАЛЬНЫМ КОДОВО-ЧАСТОТНЫМ ГЕНЕРАТОРОМ КОДОВЫХ СИГНАЛОВ

А. Р. Гумаров, А. В. Авсиевич

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа (АЛСН) является важным звеном обеспечивающей безопасность на железных дорогах РФ обладают рядом недостатков и нуждается в

улучшении. В связи с этим разработана имитационная модель АЛСН с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов. Получены параметры работоспособности модели с новым генератором. Представлены перспективы использования модели.

**Ключевые слова:** автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС), автоматическая локомотивная сигнализация непрерывно действия (АЛСН), кодовые комбинации (КК), ортогональная кодово– частотная модуляция (ОКЧМ), несущий сигнал.

**Abstract.** Automatic continuous– action locomotive signaling (ALSN) is an important element that ensures safety on the Railways of the Russian Federation. It has a number of disadvantages and needs to be improved. Therefore, we developed a simulation model of an ALSN with an orthogonal code– frequency generator of code signals. We got the parameters of the model's performance with the new generator. We have outlined the prospects for using the model.

**Keywords:** automatic locomotive signaling (ALS), automatic continuous– action locomotive signaling (ALSN), code combinations (CC), orthogonal code– frequency modulation (OCFM), carrier signal.

Целью работы является разработка имитационной модели АЛСН с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов.

Задачи работы:

1. Замена кодового путевого трансмиттера (КПТ) на генератор ортогонального кодово– частотного модулированного (ОКЧМ) сигнала (замена несущего сигнала на ОКЧМ сигнал).
2. Моделирование кодовых комбинаций (КК) АЛСН с помощью ОКЧМ генератора.
3. Добиться работоспособности модели АЛСН с новым генератором.
4. Определить диапазон значений работоспособности системы.

**Автоматическая локомотивная сигнализация.** АЛСН предназначена для повышения безопасности движения поездов. Информация о показании напольного путевого светофора передается с помощью КК – электрических импульсных сигналов. Формирование кодовых комбинация производится с помощью КПТ. КК передаются через рельсовую цепь, принимаются локомотивом, далее передается на дешифратор КК.

Недостатки АЛСН:

- низкая информационность системы;
- низкая помехоустойчивость из– за свойств амплитудной модуляции;
- влияние внешнего напряжения на коды;
- медленная смена сигнальных показаний, в пределах около 6 с;
- применение числового кода для кодирования информации [1].

В связи с описанными недостатками проводится исследования по поиску решений для устранения недостатков и улучшению АЛСН. В статье предлагается использование ОКЧМ сигнала замены несущего сигнала.

**Ортогонально кодово– частотная модуляция (ОКЧМ).** Модуляция – процесс наложения информации, которая имеет вид сигнала сообщения на другой сигнал с более высокой частотой, который называется несущей [2].

Ортогональный кодово– частотный модулятор описывается уравнением:

$$y = U_m \sin(\omega_0 t + \Delta\omega_\alpha(t)t \sin \Omega t) + U_m \sin(\omega_0 t + \Delta\omega_\beta(t)t \cos \Omega t). \quad (1)$$

Частотный модулятор с синусоидальной модулирующей частотой:

$$y_1 = U_m \sin(\omega_0 t + \Delta\omega_\alpha(t)t \sin \Omega t). \quad (2)$$

Частотный модулятор с косинусоидальной модулирующей частотой:

$$y_2 = U_m \sin(\omega_0 t + \Delta\omega_\beta(t)t \cos \Omega t), \quad (3)$$

где  $\omega_0$  – средняя частота,  $U_m$  – амплитуда модулируемого сигнала,  $\Omega$  – частота модулирующего сигнала,  $\Delta\omega_\alpha(t)$  и  $\Delta\omega_\beta(t)$  – значения девиации частоты [3].

Генератор работает с меняющейся частотой. Изменение частоты зависит от  $\Delta\omega_\alpha \sin \Omega t$  ( $\Delta\omega_\beta \cos \Omega t$ ).

**Имитационная модель АЛСН с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов.** Ранее были разработаны имитационная модель АЛСН и модель ортогонального кодово– частотного генератора в ПП Matlab/Simulink [4: 13]. На основании этих моделей была создана имитационная модель АЛСН с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов, представлена на рисунке 1.



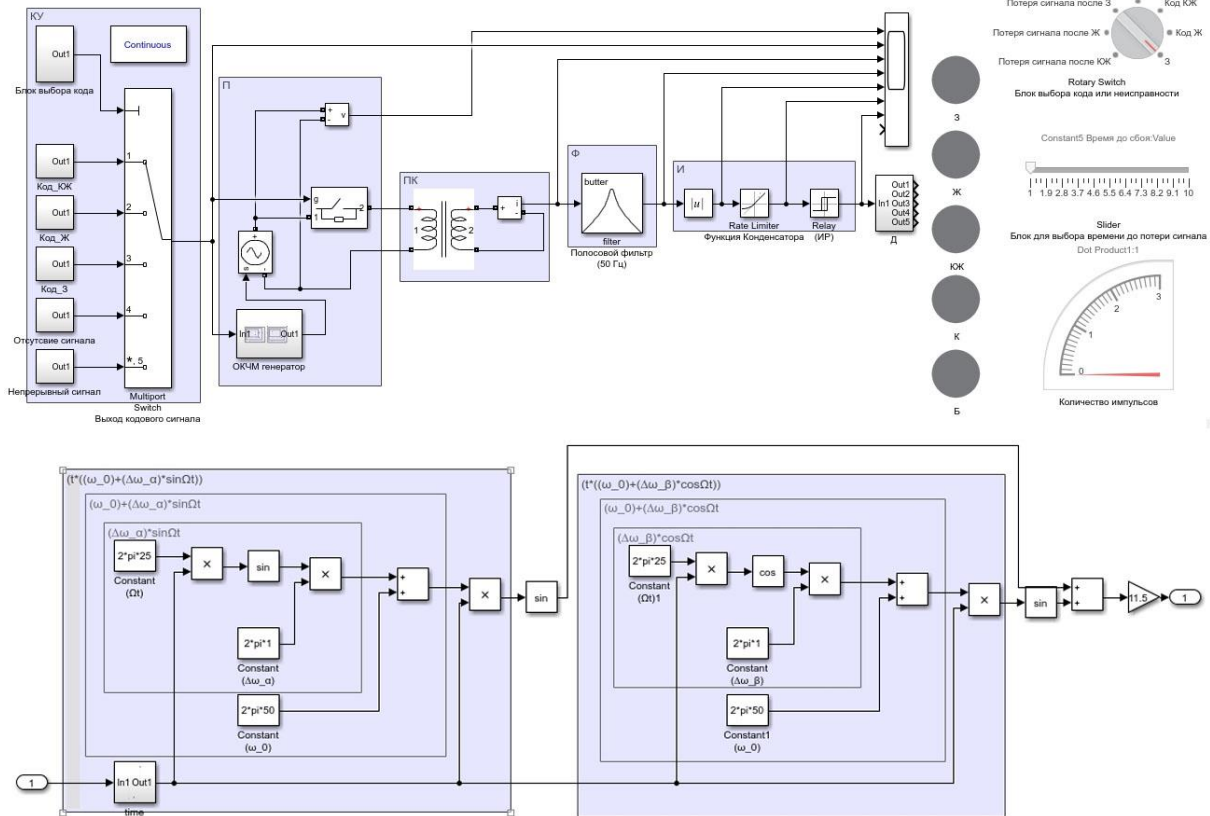


Рис. 1. 1) Имитационная модель АЛСЧ с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов в пакете Matlab/Simulink, 2) Модель ОКЧМ генератора в пакете Matlab/Simulink

Блок time необходим для включения и выключения генератора. Так как со временем амплитуда ОКЧМ сигнала искажается необходимо осуществлять включение генератора в момент посылки импульса и выключение в момент прекращения импульса. Чтобы за длительность импульса КК АЛСЧ сигнал имел достаточно стабильную амплитуду.

Различия графиков сигналов несущей частотой 50 Гц, без модуляции (стандартный сигнал АЛСЧ) и ОКЧМ сигнала  $\omega_0 = 20$  Гц,  $\Omega = 25$  Гц,  $\Delta\omega_\alpha(t)$  и  $\Delta\omega_\beta(t) = 1$  Гц представлены на рисунке 2.

В результате моделирования [5] выяснено, что при  $\omega_0 = 2\Omega$  сигнал имеет наиболее упорядоченный спектр. ОКЧМ генератор имеет параметры: средняя частота  $\omega_0 = 20$  Гц, частота модулирующего сигнала  $\Omega = 25$  Гц, чтобы соответствовать соотношению.

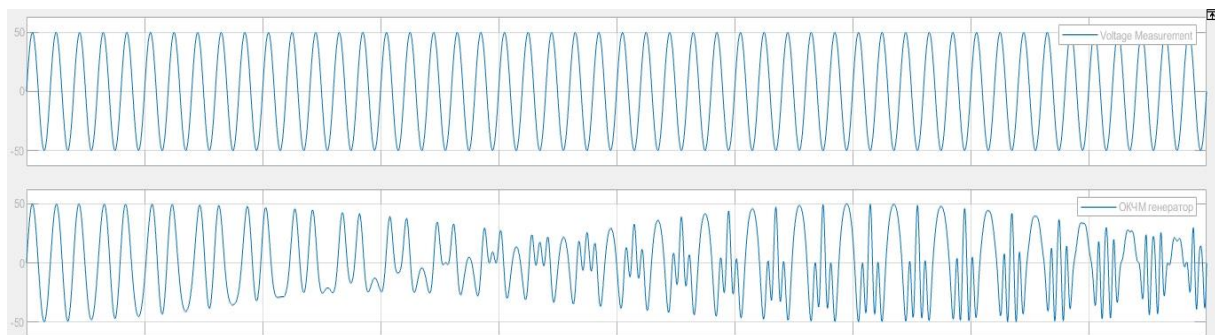


Рис. 2. 1) несущий сигнал частотой 50 Гц, 2) ОКЧМ сигнал

Графики сигналов при значениях девиации частоты  $\Delta\omega_\alpha(t)$  и  $\Delta\omega_\beta(t) = 1$  Гц, представлены на рисунке 3.

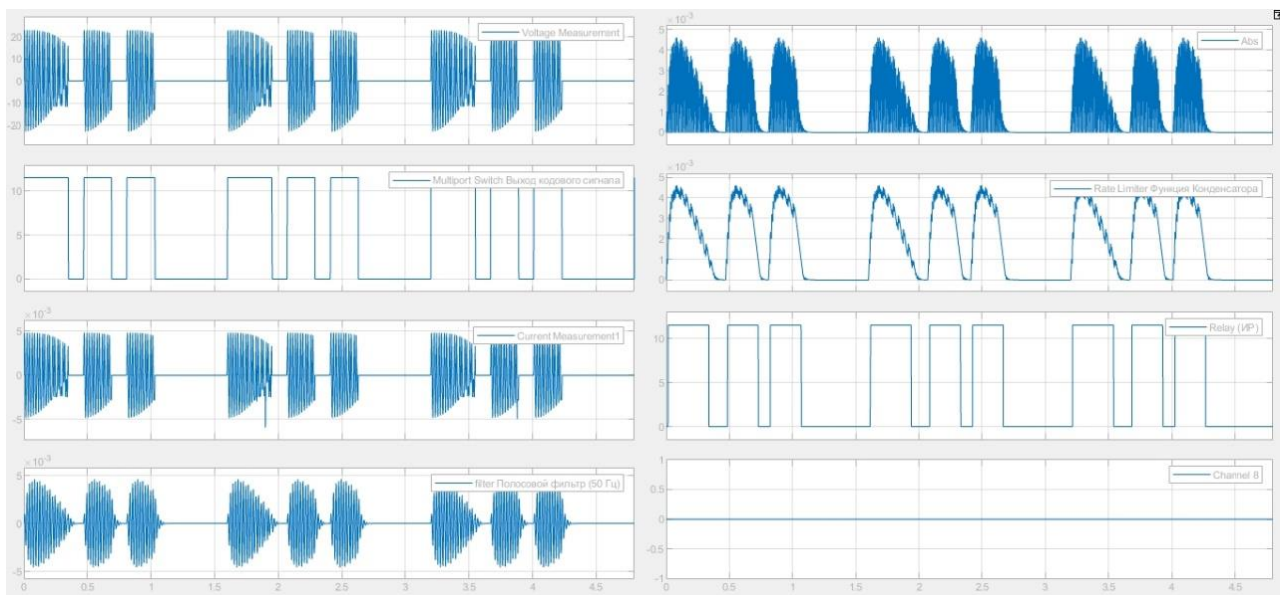


Рис. 3. Сигналы в контрольных точках (Код 3)

При увеличении значения девиации частоты  $\Delta\omega_\alpha(t)$  и  $\Delta\omega_\beta(t)$ , амплитуда сигнала изменяется, что не позволяет принимать и декодировать сигнал без изменения приемной части АЛСН. Для того, чтобы АЛСН оставалась работоспособной, необходимо чтобы несущий сигнал, заполняющий кодовый импульс имел стабильную амплитуду.

Путем проведения симуляции работы модели системы были выявлены параметры, при которых стандартная система АЛСН принимает и декодирует сигнал.

Значения девиации частоты ( $\Delta\omega_\alpha(t) = \Delta\omega_\beta(t)$ ) при которых АЛСН работает стабильно (при значениях больше  $\Delta\omega_\alpha/\Delta\omega_\beta > 1.3$  система работает не стабильно) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Значений девиации частоты при  $\Delta\omega_\alpha(t) = \Delta\omega_\beta(t)$

	Зеленый	Желтый	Красно- желтый
0.0	" + "	" + "	" + "
0.1	" + "	" + "	" + "
0.2	" + "	" + "	" + "
0.3	" + "	" + "	" + "
0.4	" + "	" + "	" + "
0.5	" + "	" + "	" + "
0.6	" + "	" + "	" + "
0.7	" + "	" + "	" + "
0.8	" + "	" + "	" + "
0.9	" + "	" + "	" + "
1.0	" + "	" + "	" + "
1.1	" + "	" + "	" + "
1.2	" + "	" + "	" + "
1.3	" + "	" + "	" + "
1.4	" _ "	" _ "	" _ "
1.5	" _ "	" _ "	" _ "

Значения девиации частоты ( $\Delta\omega_\alpha(t) \neq \Delta\omega_\beta(t)$ ) при которых АЛСН работает стабильно представлены в таблице 2.

Таблица 2.

Значений девиации частоты при  $\Delta\omega_\alpha(t) \neq \Delta\omega_\beta(t)$

sin/cos	cos/sin	Зеленый	Желтый	Красно– желтый
0. 1	2. 1	"+"	"+"	"+"
0. 4	2. 0	"+"	"+"	"+"
0. 6	1. 9	"+"	"+"	"+"
0. 7	1. 8	"+"	"+"	"+"
0. 8	1. 7	"+"	"+"	"+"
0. 9	1. 6	"+"	"+"	"+"
1. 4	1. 5	"+"	"+"	"+"
1. 2	1. 4	"+"	"+"	"+"
1. 3	1. 3	"+"	"+"	"+"

**Вывод.** Необходимость усовершенствования систем, обеспечивающих безопасность движения поездов, обуславливает важность исследования в этой области.

В результате проделанной работы разработана модель АЛСН с ортогональным кодово– частотным генератором кодовых сигналов. В имитационной модели АЛСН заменен стандартный КПП на ОКЧМ генератор, проведена симуляция ее работы. В результате чего произведена замена стандартного несущего синусоидального сигнала на ортогональный кодово– частотной модулированный сигнал, при этом сохранена работоспособность АЛСН без изменения приемной части, с выводом стандартных показаний локомотивного светофора.

АЛСН является самой распространенной системы на российских железных дорогах [6]. С помощью модели можно проводить перспективные исследования по увеличению количество передаваемой информации в системе АЛСН, улучшению помехозащищенности за счет использования более помехоустойчивой частотной модуляции и т. д. Из результатов приведенных в работе видно, что процесс переоснащения можно проводить постепенно заменяя оборудования в процессе эксплуатации в процесса текущего ремонта или в случае истечения времени эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Никитин Д. А. Повышение информативности системы интервального регулирования движения поездов АЛС–ЕН путем использования модульно взвешенного кода с суммированием // Автоматика на транспорте. 2017. № 4. С. 526–545.
- 2 Рид Р. Основы теории передачи информации. – М. : Вильямс, 2004. – 304 с.
- 3 Авсиевич А. В. Разработка метода идентификации нестационарных процессов с ортогональной кодово– частотной модуляцией: диссертация кандидата технических наук. – Братск, 2002. – 118 с.
- 4 Авсиевич А. В., Гумаров А. Р. Имитационная модель АЛСН для исследования надежности приема кодовых комбинаций в пакете Matlab/Simulink // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно– практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г.). – Самара : СамГУПС, 2019. 186. С. 11–15.
- 5 Авсиевич А. В., Гумаров А. Р. Модель ортогонального кодово– частотного генератора// Наука и образование транспорту: материалы XII Международной научно– практической конференции (2019, Самара). Международная научно– практическая конференция «Наука и образование транспорту», 2019 г. Том 2 [Текст] – Самара : СамГУПС, 2019. – С. 3– 7.
- 6 Антоненко В. С., Кравцов Ю. А., Сафро В. М., Чегуров А. Б. Анализ работоспособности автоматической локомотивной сигнализации числового кода // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. №1. С. 101–112.
- 7 Дьяконов В. П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 784 с.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГРУППОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ ИНФРАЗВУКОВЫХ  
ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Б. К. Григоровский, А. П. Припутников**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Особенности инфразвуковых информационно– измерительных систем представлены наложением на статическое давление газовой фазы знакопеременной составляющей давления различной частоты

**Ключевые слова:** мера, параметры, фазы, состояния, системы, измерения

**Abstract.** The features of infrasound information and measurement systems are represented by applying the alternating pressure component of different frequencies to the static pressure of the gas phase

**Keywords:** measure, parameters, phases, states, systems, measurements

Техника пневмометрии представляет процесс получения достоверного знания состояния товарных емкостей, типа железнодорожных цистерн, и состояния топливной системы транспортных объектов, использующих для подачи жидкого топлива в двигатель газ наддува. Реально ценно – так называемое управление состоянием классического идеального газа – газа лишенного его «индивидуальности». Оно (гомологически) связывает давление и объем газа с энергией, которая имеет большое значение для нормального функционирования различных объектов в воздухе, воде, Космосе и Земле восстановившей (работой К. Гаусса «Напряжение земной магнитной силы, приведенной к абсолютной мере») центральное положение разума в природе, снабженной мерой или, по крайней мере, её классом эквивалентности. Объем газа определяется давлением и температурой. Это позволяет при неизменной температуре достаточно точно судить об объеме газовой, а следовательно и жидкой фазы, в фазовом пространстве – пространстве состояний топливной системы транспортных объектов. Однако составление точной модели измерения зависит от требуемой точности определения запаса топлива на объектах, работающих в условиях крена, дифферента, невесомости. В большинстве случаев надежное определение запаса топлива с помощью соответствующей информационно– измерительной системы требует широкого экспериментального изучения принятых моделей измерения. При достаточной точности экспериментальных данных и небольшом разбросе экспериментальных точек можно получить требуемое линейное представление объема в фазовом пространстве – пространстве состояний транспортного объекта с незначительной погрешностью. Задача построения информационно– измерительной системы облегчается, когда коэффициент сжимаемости газа остается постоянным при подаче несжимаемого жидкого топлива (через вытеснительную мембрану) в двигательную установку. Задача построения информационно– измерительной системы усложняется, когда жидкость, которую можно разбрызгивать может отобразиться множеством её частей – областей, зависнувших в газовой фазе или распределившихся произвольным образом по стенкам технологической емкости, например, железнодорожной цистерны, при определении наличия в ней остатков неслитого груза. Такой многофункциональный характер объемного поведения жидкости и газа в фазовом пространстве – пространстве состояний транспортных объектов, требует построения информационно– измерительных систем, обладающих функциональной избыточностью, использующих основную форму состояния газа, которое характеризовалось бы, помимо всего прочего, сопряженностью с электрическими информационными технологиями, использующими блочно– модульный принцип (построения информационно– измерительных систем) общепотребительный в инженерной практике. Соответственно с этой идеологией и была создана экспериментальная установка (рис. 1), ориентированная на оценку поведения газа, когда на статическое давление накладывается знакопеременная составляющая давления различной частоты.

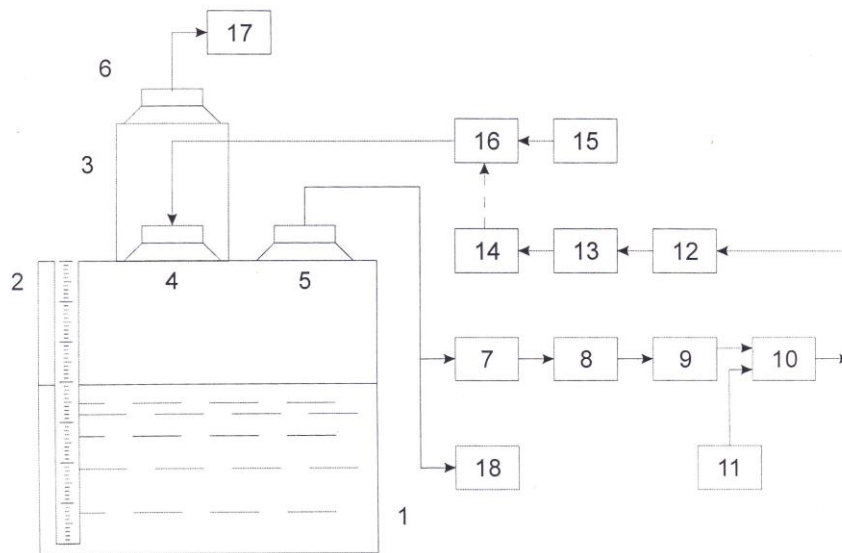


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования инфразвуковой измерительной системы

Объемное сжатие газа в замкнутом объеме контролируемого сосуда 1 позволяет воспользоваться результатами натуральных экспериментов для выбора рабочей частоты газовых инфразвуковых информационно– измерительных систем. В эксперименте в качестве контролируемого сосуда использовался цилиндрический сварной алюминиевый бак со следующими геометрическими размерами: диаметром основания 0,5 м, высотой 1,8 м, толщиной стенок 10 мм, объема  $0,3 \text{ м}^3$ . В качестве эталонного сосуда был использован ящик от акустического агрегата Minimax– 2 фирмы Videoton емкостью  $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ . В качестве упругой мембраны с приводом, разделяющей эталонный и контролируемый сосуды использовался низкочастотный динамический громкоговоритель НА 13/13К, взятый из акустического агрегата Minimax– 2. В качестве датчиков пульсаций давления в контролируемом и эталонном сосудах использовались ещё два таких же динамических громкоговорителя в пассивном включении в режиме микрофона. Динамические громкоговорители НА 13/13К имеют большой рабочий ход диффузора, что дает возможность задавать относительно большие возмущения по объему при малых размерах громкоговорителя. В качестве контролируемого вещества в экспериментальной установке применялась водопроводящая вода, уровень которой определялся по водомерному стеклу. Эксперимент проводился при комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении. Пульсации давления в контролируемом сосуде поддерживались на постоянном уровне при помощи схемы, состоящий из основных функциональных узлов: 7 – усилитель напряжения, 8 – диодный детектор (мост), 9 – сглаживающий фильтр, 10 – устройства сравнения (суммирующее устройство на сопротивлениях), 11 – источник опорного напряжения постороннего тока, 12 – модулятор, 13 – усилитель мощности, 14 – двигатель, 15 – звуковой генератор, 16 – низкоомный реохорд для регулировки уровня возбуждения датчика пульсаций давления.

В качестве усилителя напряжения использовался усилитель типа 1– ЭФ– 1С (11157– 65). Модулятор 12, усилитель мощности 13, двигатель 14 и реохорд 16 являются стандартными блоками, входящими в состав автоматических потенциометров. Для контроля величины напряжения, снимаемого с датчика пульсаций давления использовался милливольтметр класса 0, 5. В качестве звукового генератора использовался генератор VM269С фирмы Tesla с нижней границей частот, равной 9 Гц. Электронная система обеспечивала поддержание сигнала низкой частоты, снимаемого с датчика 5 на уровне 30 мВ с погрешностью не более 1 %. Форма пульсаций давления в контролируемом и эталонном сосудах контролировались одновременно с тем, чтобы режим пульсаций давления газа в сосудах был синусоидальным. Одной из задач эксперимента являлся выбор рабочей частоты системы. Для этого была проделана предварительная работа по снятию взаимных амплитудно– частотных характеристик пар громкоговорителей, что позволило в первом приближении оценить возможный диапазон частот в интервале 9–45 Гц. Выходные характеристики объемного поведения газа и жидкости в их фазовом пространстве – пространстве состояний приведены на рис. 2.

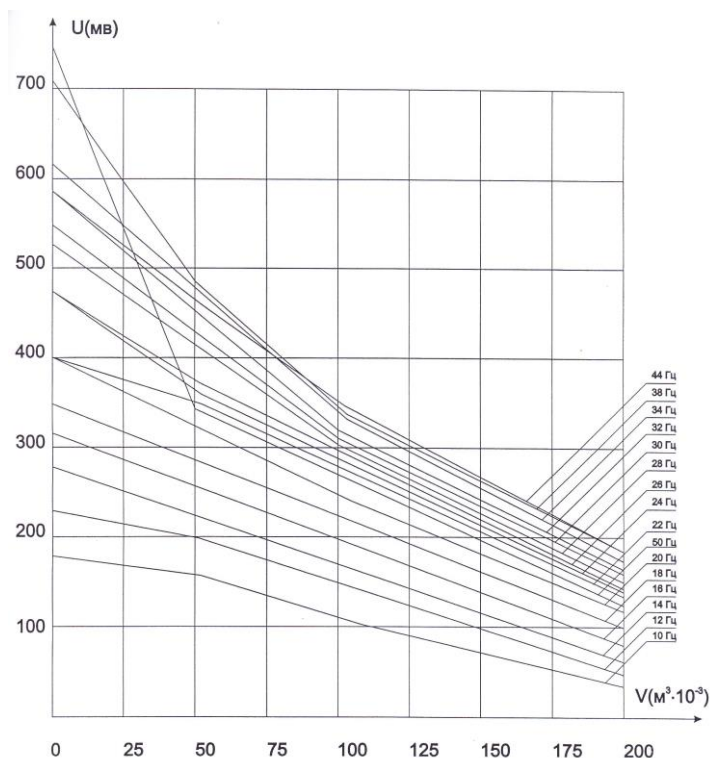


Рис. 2. Семейство экспериментальных характеристик

Из рассмотрения этих характеристик следует, что при повышении частоты (в пределах нижних звуковых частот) чувствительность измерителя объема несколько возрастает, но возрастает и нелинейность характеристики, что, по-видимому, объясняется наличием отражения звуковых волн.

С другой стороны, даже при низких частотах (10–15 Гц) чувствительность остается высокой (0,7–1 В/м³). Работа системы на более низких частотах затруднена из-за возрастания нелинейных эффектов, вызванных ударным возбуждением механической системы громкоговорителей. Экспериментальное исследование показало, что выходная характеристика инфразвукового измерителя объема (рис. 3) обладает реономными свойствами и имеет гистерезисный характер, т. е. отсчеты при наливе и сливе воды в бак полностью не совпадают. Это явление в частности может быть объяснено изменением температуры всей установки в процессе проведения эксперимента.

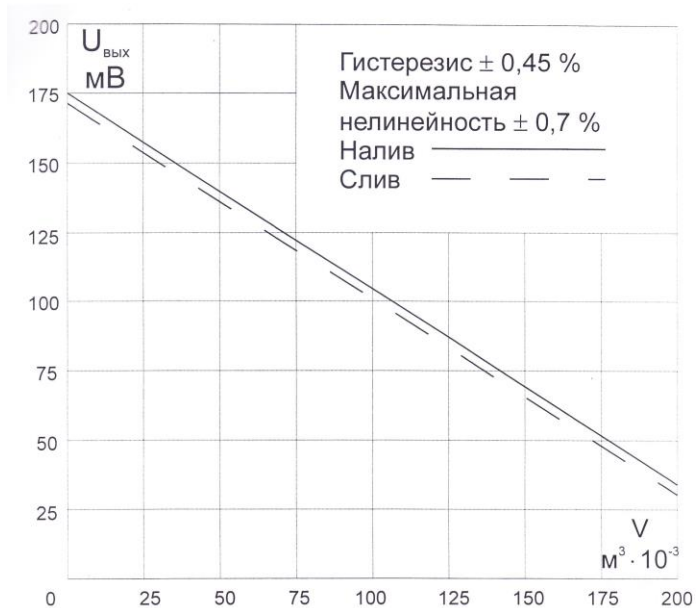


Рис. 3. Выделенное основное координатное пространство инфразвуковой информационно-измерительной системы

Выравнивание температуры эталонного и контролируемого сосудов, осуществляемое многократным наливом и сливом воды до проведения эксперимента позволяет снизить эту погрешность в несколько раз. Исходя из этого становится ясно, что для уменьшения температурной погрешности желательно размещать эталонный сосуд возможно ближе к контролируемому сосуду и располагать измерители пульсаций давления газа возможно ближе к задатчику пульсаций давления, так как показано на рис. 4, иллюстрирующим возможность защиты электромеханической части системы от проникновения в неё паров воды или агрессивной жидкости с помощью повторителя пульсаций давления или путем использования (рис. 5) сильфонного задатчика пульсаций давления. В процессе эксперимента было выяснено, что небольшие отверстия в контролируемом сосуде (с сечением порядка  $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ) практически не влияют на выходной сигнал измерителя объема.



Рис. 4. Защита датчиков пульсаций давления от проникновения паров жидкости с помощью повторителя инфразвука

Этот факт может служить основой для инженерного расчета акустического фильтра.

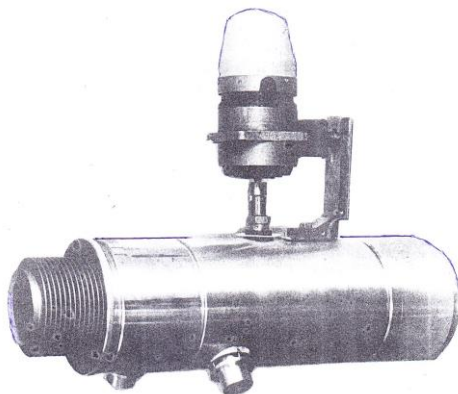


Рис. 5. Измерительная головка с сильфонным задатчиком пульсаций давления газа

В процессе измерения выходного сигнала инфразвуковой измерительной системы было установлено, выходной сигнал системы не меняется при довольно больших наклонах контролируемого бака – вертикального цилиндра и при введении в жидкую фазу газовых областей с помощью открытых снизу колоколов (=стаканов), т. е. выходной сигнал зависит не от уровня жидкости, а исключительно от её объема в вертикальном цилиндре. Однако оказалось, что инфразвуковой измеритель объема чувствителен к посторонним акустическим шумам (в частности к шуму воды при её наливке и сливе в контролируемый сосуд). Для уменьшения влияния акустических шумов можно рекомендовать применение акустического фильтра нижних частот с частотой среза 30–40 Гц. Полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с принятыми основными расчетными соотношениями только для низких частот – частот ниже 12–14 Гц. При работе на более высоких частотах представляемая система измерения объема в выделенном объеме пространства дает заниженную оценку отношения отношений  $\frac{\tilde{P}_2}{\tilde{P}_1} = \frac{V_1}{V_2}$ , по сравнению с полученными экспериментальными данными. В связи с

этим возникает необходимость уточнения модели объемного поведения газов и жидкостей в фазовом пространстве – пространстве состояний на различных частотах. Для этого в эксперименте ис-

пользовались конденсаторные микрофоны, которые на низкой (инфразвуковой) частоте имеют большое электрическое сопротивление, которое хорошо согласуется со специальной электроникой, позволяющей существенно упростить получение цифрового отсчета и увеличить динамический диапазон расширения. В описываемом эксперименте истинная температура газа отображалась (завуалированным образом резонатора Гельгольца) резонатором, работающем на инфразвуковых частотах (проекционных спектров «абсолюта») показывающих (RESONANT INFRASONIC GAUSING APPARATUS) что некоторую ограниченную область пространства можно описывать пользуясь представлениям о фазах из которых она образована, о компактности и метризации спектра частот (трансляционного представления) многофункциональных инфразвуковых измерительных систем, которые в рассматриваемом эксперименте связывались с внешними формами форм объема, обладающего свойствами меры вместимости технологических резервуаров типа железнодорожных цистерн – горизонтальных эллиптических резервуаров с эллиптическими днищами, которым удобно (мысленно) поставить в соответствие (рис. б) эквивалентный (по объему – вместимости) вертикальный цилиндр с горизонтальными – плоскими днищами для удобства анализа методической погрешности инфразвуковых информационно-измерительных систем, представляемых четвертью инфразвуковой волны  $\lambda$  (в объемах  $V$  – отображаемых соответствующей высотой  $H$  – вертикального цилиндра) и выработки рекомендаций по использованию инфразвуковой системы на сферических технологических резервуарах.

Имея калибровочную характеристику резервуара (для конкретного резервуара) можно по высоте уровня жидкости судить об объеме жидкости в резервуарах различного функционального назначения (непосредственно без калькуляторов), использующих форму цилиндра, шара, тороида и содержащих внутри резервуара различные конструктивные элементы. При этом контролируемые технологические резервуары не обязательно быть строго герметичными, ибо инфразвуковая информационно-измерительная система не теряет свою работоспособность при частотной разгерметизации резервуара и измерительная головка (рис. 7) не требует строгого герметичного сопряжения с контролируемым резервуаром, в котором вводимые нами понятия (морфизмов и идеалов) эксперимента представляют собой в некотором роде идеализацию составного эксперимента по представлению линейного (когнитивного) подхода к естественным природным процессам, которые почти всюду в малом линейны.

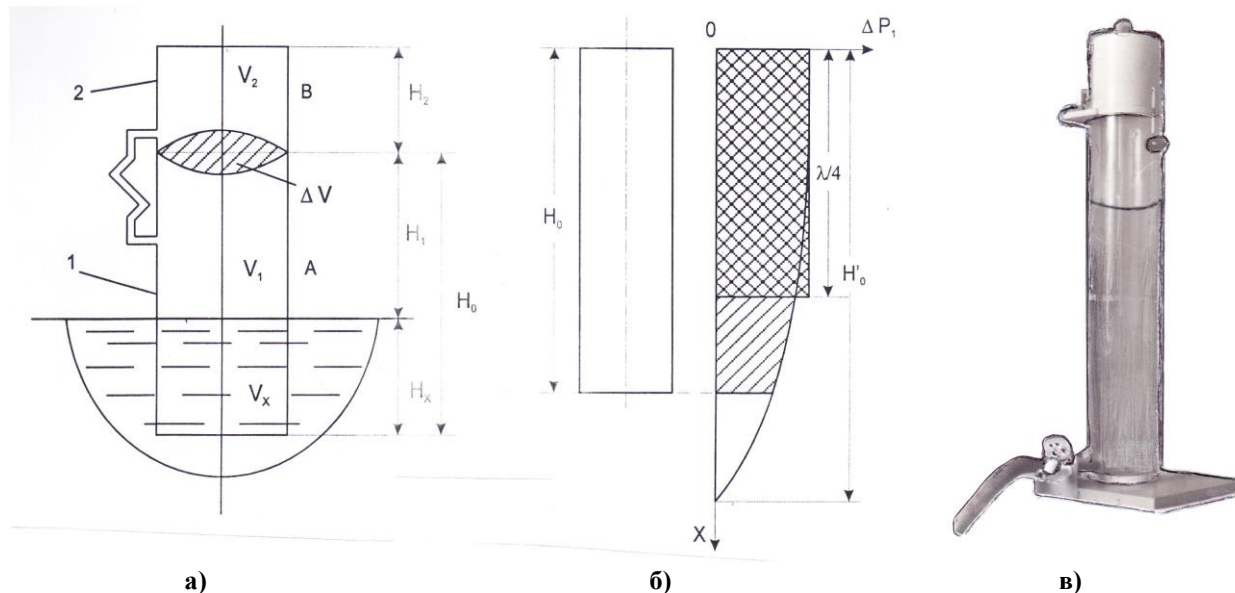


Рис. 6. Линейные условия и линейное представление объемной  $V$  – системы координат линейной  $H$  – системой координат

Поэтому теория пневмометрии не может довольствоваться только тем, чтобы кодифицировать результаты эксперимента. Она должна выйти за пределы опыта в более обширную систему факторизации (достоверного знания) процесса измерений.



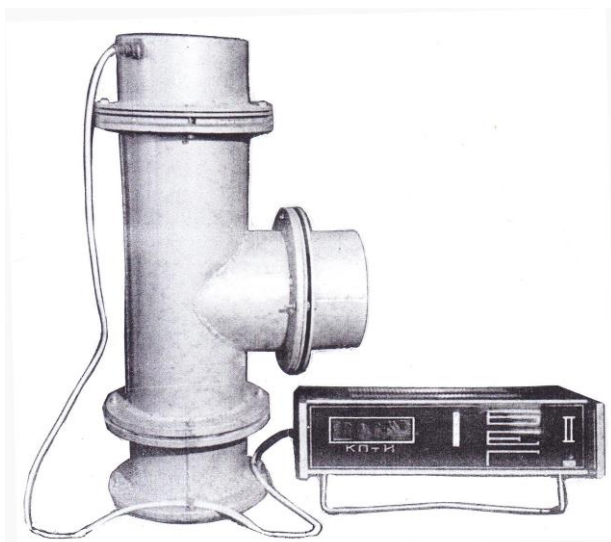


Рис. 7. Инфразвуковая измерительная головка в комплекте с цифровым вольтметром для подсоединения к технологическим емкостям

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Григоровский Б. К. Введение в логические основания эксперимента. Конспект лекций: СамГУПС. 2009 – 84 с.
- 2 Григоровский Б. К., Припутников А. П. Отображение известного объема на неизвестный объем как мехатронная информационно-измерительная задача // Материалы I всероссийской научно-практической конференции «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте». – Самара : СамГУПС, 2019. – С. 147–150.
- 3 Григоровский Б. К., Кузнецова Ю. А., Шигонцев А. Д. Когнитивность инженерного дела // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 2 (68). С. 72–77.
- 4 Григоровский Б. К., Авсиевич А. В. Транспортная LMT – концепция достоверного знания // Вестник транспорта Поволжья. – 2017. – Вып. 2 (62). – С. 28–35.

УДК 519. 6; 004. 94

## БОРТОВЫЕ РЕГИСТРАТОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫРАБОТАННОГО И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ

А. И. Давлетшина

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе предлагаются структурная, функциональная схемы и описывается алгоритм работы локомотивного бортового регистратора автоматизированной системы для контроля выработанного и остаточного ресурсов локомотивных двигателей.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, бортовой регистратор, сбор данных, устройство сопряжения, контроллер машиниста, позиция, функциональная схема, алгоритм работы.

**Abstract.** The paper proposed structural and functional schemes and describes the algorithm of the locomotive on-Board recorder of the automated system for monitoring the generated and residual resources of locomotive engines.

**Keywords:** automated system, on-Board recorder, data acquisition, interface device, driver controller, position, functional diagram, operation algorithm.

В настоящее время существует два подхода к контролю технического состояния локомотивных двигателей: по выработанному ресурсу и по текущему состоянию.

Наиболее эффективным, с технической и экономической точек зрения, является оценка по текущему состоянию. Классическая оценка по выработанному ресурсу ориентируется на обобщенные, среднестатистические показатели, такие как: пробег, время эксплуатации, тонно– километры. Эти показатели практически не учитывают влияние конкретных условий эксплуатации локомотивов на

выработку ресурса двигателя, что приводит к существенным погрешностям оценки выработанного и остаточного ресурсов [1].

Оценка по текущему состоянию позволяет учитывать влияние конкретных условий эксплуатации индивидуально для каждого локомотива, но, с другой стороны, требует использования специальных аппаратно– программных средств регистрации событий смены позиций контроллера машиниста, включения и отключения режимов тяги, запуска и отключения дизеля и др. [2].

В настоящее время на железных дорогах России применяется оценка состояния двигателя локомотива по таким параметрам как: расстоянию и времени эксплуатации с помощью системы ТОиР, что приводит к большой погрешности определения выработанного и остаточного ресурсов двигателя локомотива [3]. Более точно эти ресурсы можно определить, учитывая такой интегрированный показатель как время работы при разной интенсивности эксплуатации (позиции контроллера машиниста) с учетом ряда поправочных коэффициентов [4].

Таким образом, актуальной задачей является разработка автоматизированной системы, позволяющей автоматически регистрировать при эксплуатации двигателя локомотива ряд эксплуатационных показателей, накапливать эту информацию на бортовом регистраторе, периодически считывать информацию с борта локомотива и обрабатывать на компьютере автоматизированного рабочего места в депо [5].

Такая система состоит из двух частей (рис. 1): мобильной, выполненной на основе локомотивного бортового регистратора (ЛБР), и стационарной, выполненной на основе автоматизированного рабочего места (АРМ).

Настоящая работа посвящена мобильной части автоматизированной системы – локомотивному бортовому регистратору (ЛБР).

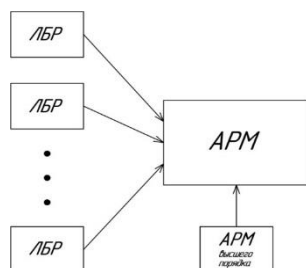


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы

ЛБР предназначен для сбора, обработки и хранения измеренной информации на борту локомотива. ЛБР может работать в двух режимах: режиме регистрации данных и режиме обслуживания. Структурная схема ЛБР приведена на рис. 2.

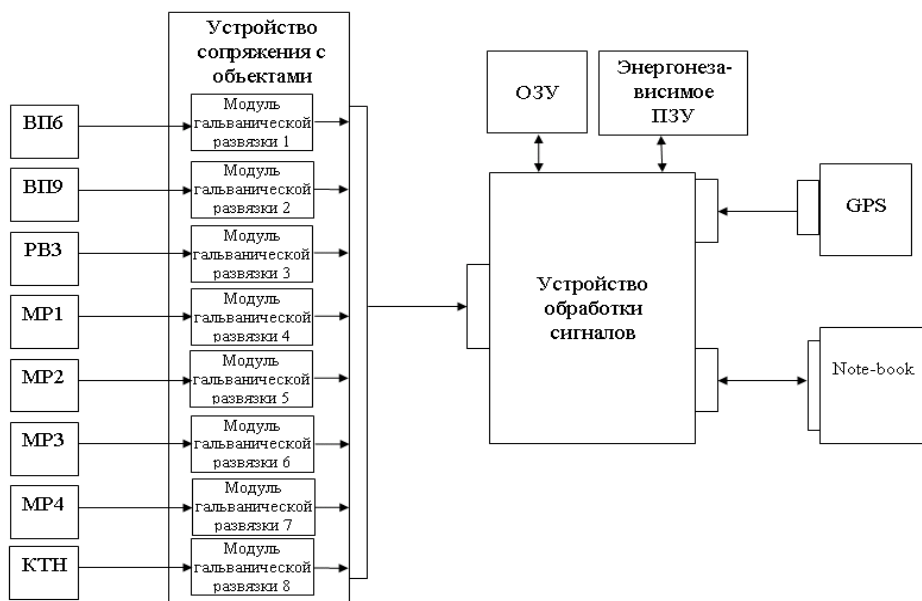


Рис. 2. Структурная схема ЛБР

В режиме регистрации данных ЛБР выполняет следующие функции:

Измерение и ввод в регистратор сигналов 8-ми дискретных датчиков (реле цепи управления локомотива) ВП6, ВП9, РВ3, МР1, МР2, МР3, МР4, КТН.

- Определение в соответствии с таблицей 1 по комбинации сигналов с 8-ми датчиков ВП6, ВП9, РВ3, МР1, МР2, МР3, МР4, КТН номера установленной позиции контроллера машиниста (ПКМ).
- Определение событий «локомотив прибывает на станцию N» и «локомотив покидает станцию N» по географическим координатам (широте и долготе), поступающим с выхода GPS приемника ЛБР.
- Определение даты и астрономического времени с точностью до 1 сек. по часам реального времени ЛБР.
- Определение событий служебного характера: событий перезагрузок ЛБР, событий отключения электропитания с указанием интервалов времени отключения. Обеспечение ведения системного журнала этих событий в энергонезависимой памяти с «привязкой» к астрономическому времени с точностью до 1 часа. Регистрация информации производится в файле, организуемый в SRAM памяти ЛБР.
- «Привязку» к текущему астрономическому времени с точностью до 1 сек. записываемых в энергонезависимую память событий:
- Моментов установления новой позиции ПКМ и режима «Т-ХХ» дизеля; моментов «ПР» и «УБ» локомотива; даты и астрономического времени при изменении сигналов с датчиков.
- Регистрация информации производится в файле, организуемом в ОЗУ ЛБР.

Для записи технологических параметров и данных системного журнала используется один файл, организуемый в энергонезависимой SRAM-памяти. Объем SRAM-памяти должен обеспечивать накопление информации в течении 10 суток эксплуатации локомотива.

В случае зависаний программы ЛБР позволяет осуществлять сброс и повторный запуск средствами сторожевого таймера.

В режиме обслуживания ЛБР осуществляет действия служебного характера и выполняет такие функции:

- Запись на flash-диск прикладного программного обеспечения ЛБР.
- Настройка ЛБР перед работой в режиме регистрации: установка исходных даты и астрономического времени.
- Тестирование ЛБР с помощью специального разъема – заглушки с тумблером, имитирующим переключение датчика ВП6.
- Перезапись информационного файла из энергонезависимой памяти ЛБР.
- Стирать информационный файл ЛБР после перезаписи.

Для определения позиций ПКМ используются комбинации сигналов в электрических цепях управления, приведенные в таблице.

Таблица 1

Формирование сигналов, определяющих позиции ПКМ

Обозначение сигнала	РЕЖИМ ТЯГИ – НОМЕР ПКМ/ХОЛОСТОЙ ХОД – НОМЕР ПКМ							
	0	1	2	3	4	5	6	7
ВП6	1	0						
ВП9	1	1						
РВ3		0	0	0	0	0	0	0
МР1			1	1	0	0	1	1
МР2			0	0	1	1	1	1
МР3			0	0	0	0	0	0
МР4			1	0	1	0	1	0

Для исключения влияния электрических цепей ЛБР на электрические цепи управления локомотива входы ЛБР подключаются к цепям управления локомотивом через оптические гальванические развязки OptoIsolated Module. Структурная схема ЛБР представлена на рис. 3.

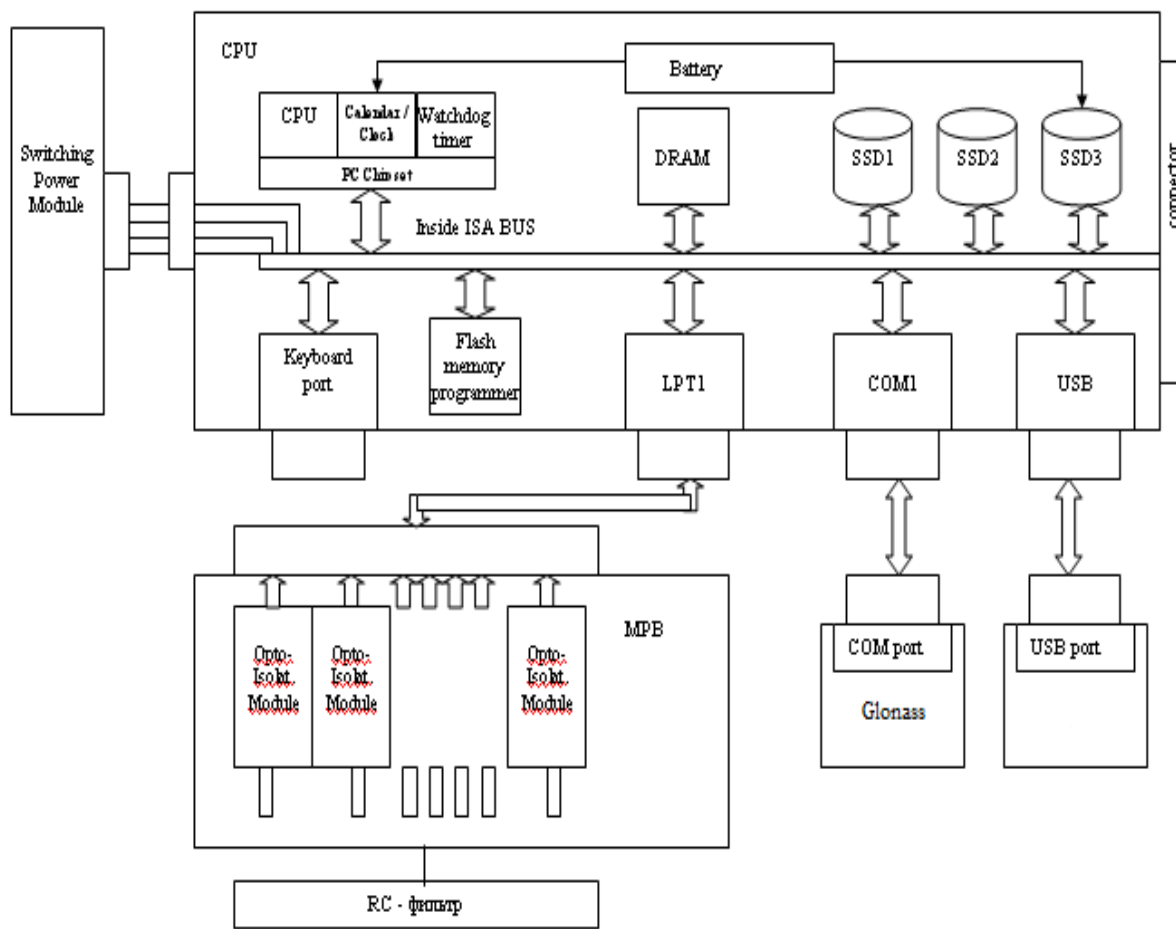


Рис. 3. Структурная схема ЛБР

Модуль микроконтроллера CPU управляет работой регистратора и выполняет необходимые для его работы вычисления.

Процессорный модуль CPU содержит:

- оперативную память DRAM 1 Мбайт;
- ПЗУ-диск SSD1 для хранения операционной системы;
- флэш-диск SSD2 для хранения прикладных программ работы системы;
- SRAM-диск SSD3 для записи регистрируемых данных и ведения системного журнала;
- параллельный порт LPT1 для ввода регистрируемых сигналов датчиков и ключей управления режимами работы системы;
  - порт COM1 для подключения модуля навигационного приемника ГЛОНАСС;
  - параллельный порт USB для переписи накопленной на диске SSD3 информации в мобильный накопитель, например, ноутбук или блокнотный компьютер, через этот порт осуществляется настройка регистратора (запись во флэш-диск SSD2 программы работы, первоначальная установка даты и времени) и его тестирование;
- сторожевой таймер watchdog timer для повторного запуска системы в случаях непредвиденной остановки программы (зависаниях при сбоях системы). Алгоритм работы ЛБР изображен на рис. 4

После начала работы системы происходит ее тестирование (блоки 1–2). В блоке 3 происходит проверка работоспособности системы. Если система не работоспособна, то ЛБР перезагружается, в противном случае, осуществляется переход к блоку 4, в котором система производит опрос на определение занятости порта. Если порт занят (ДА), то ЛБР переходит в режим обслуживания к блоку 9, если не занят (НЕТ), то система работает в режиме регистрации данных.

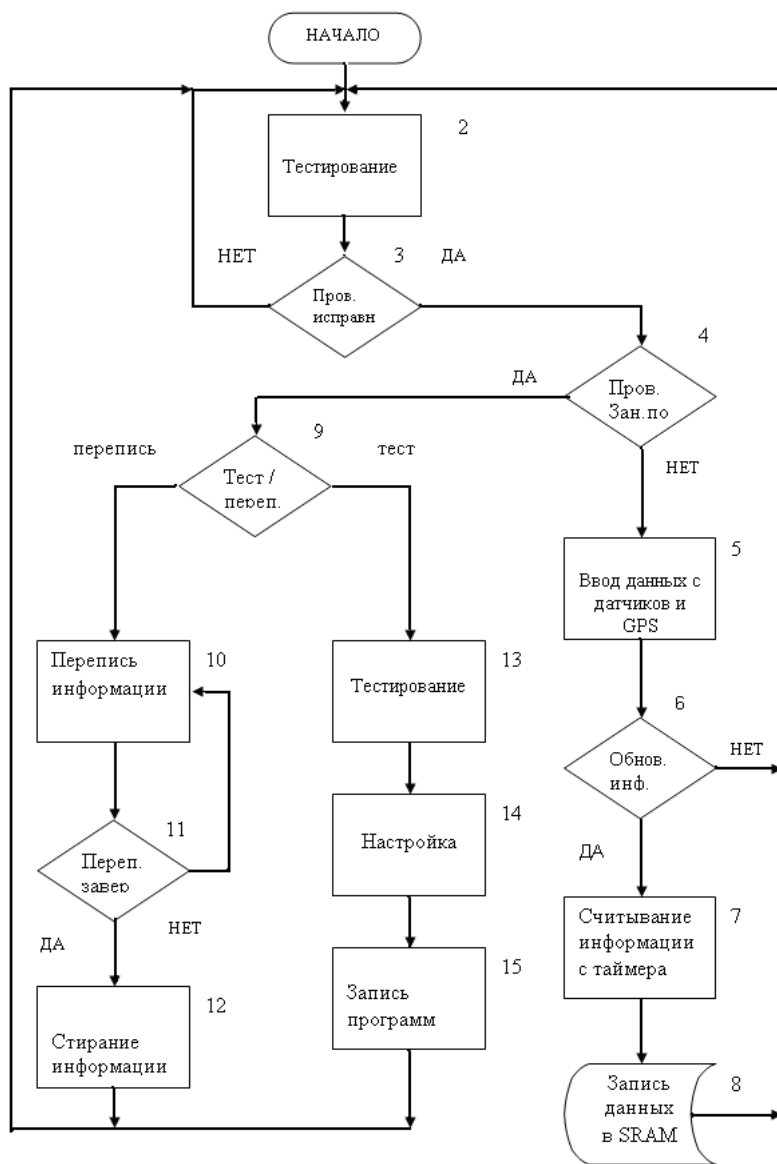


Рис. 4. Алгоритм работы ЛБ

Режим регистрации данных определяется блоками 4–8. В этих блоках происходит считывания данных с датчиков, а так же с системы ГЛОНАСС. Далее производится сравнивается считанной информация с информацией записанной ранее. Если при сравнении не имеется изменений показаний датчиков или GPS приёмника (НЕТ), то система переходит к блоку 2, и цикл повторяется. В противном случае (ДА) происходит переход к блоку 7, где происходит «Считывание реального времени», система считывает астрономическое время, когда произошло изменение данных. В энергонезависимую память записываются показания датчиков, таймера и ГЛОНАСС приёмника (блок 8). На этом цикл заканчивается и производится переход к блоку 2.

Если ЛБР переводится в режим обслуживания, производится либо перепись информационного файла (блок 10), либо диагностика и обслуживание системы (блоки 13–15). Осуществляется перепись файла из статической памяти ЛБР в переносной компьютер (блок 10). Проверяется правильность выполнения процедуры переписи информации (блок 11). Если файл переписан неправильно или не до конца (НЕТ), то процедура переписи повторяется (блок 10), иначе (ДА) осуществляется переход к блоку 12. Информация удаляется, и освобождается место для записи данных при последующей работе ЛБР (блок 12). Тестирование производится посредством специального тумблера, который имитирует срабатывание определённого датчика (блок 13). Настройка ЛБР перед работой в режиме регистрации: проверка показаний часов реального времени и т. д. (блок 14). Результаты работы ЛБР можно увидеть на рис. 5, где представлено экранная форма информации, записанной при работе ЛБР. Вся выполненная локомотивом работа измеряется в условных единицах на каждой из позиции контроллера машиниста.

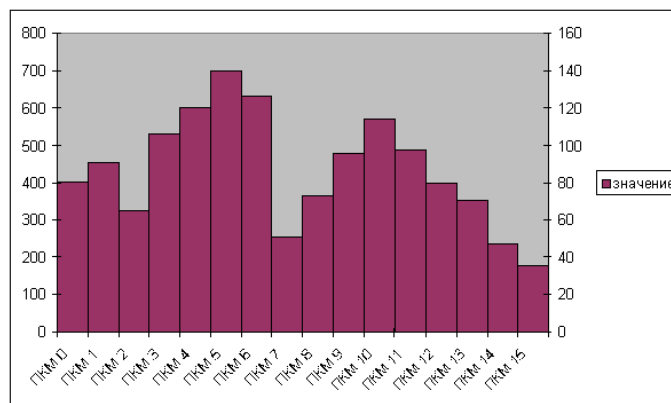


Рис. 5. Экранная форма информации, записанной при работе ЛБР

Переход в режим обслуживания осуществляется автоматически при въезде локомотива в зону действия устройств, с помощью которых происходит перепись информации с ЛБР в АРМ, где происходит дальнейшая обработка в автоматизированной системе контроля ресурсов.

Важными компонентами этой развивающейся интеллектуальной системы являются программные средства ЛБР, реализующие алгоритмы обеспечивающие сбор и регистрацию многоканальных данных в условиях помех [6] и высокие достоверность и надежность обработки информации от многих источников сигналов [7]. Эти алгоритмы осуществляют предварительную обработку данных в ЛБР, что обеспечивает эффективность последующей обработки в АРМ системы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Концепция автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством (АСУ-Т). Под редакцией Лакина И. К. – М. : Издательство Желдорконсалтинг. 2001. – 104 с.
- 2 Шабалин Н. Г. Автоматизированная система управления качеством технологических процессов на железнодорожном транспорте (АСУ КТП). Техническое предложение [Текст]. – М. : «Железнодорожные технологии», 2004. – 348 с.
- 3 Четвергов В. А. Надёжность локомотивов / В. А. Четвергов, А. Д. Пузанов. – М. : Маршрут, 2003. – 415 с.
- 4 Шайдулин Ш. Н., Добронос А. М., Засов В. А. Автоматизация оценки использования тепловозов // Локомотивы. – 2000. – № 6. – С. 31–33.
- 5 Добронос А. М., Засов В. А., Морозов Ю. Б., Пиманов В. Е. Бортовые регистраторы для железнодорожного подвижного состава // Современные технологии автоматизации. – 1997. – №2. – С. 74–76.
- 6 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Алгоритмы разделения и восстановления сигналов на основе многоканальной обратной фильтрации // Вестник Самарского государственного технического университета: серия «Технические науки. – 2009. – №2(14). – С. 33–38.
- 7 Засов В. А., Никоноров Е. Н. Регуляризация решения задачи разделения источников сигналов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 1 (25). – С. 79–87.

УДК 004 + 004. 713(075. 8)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШУМА НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ С ОБЩИМИ МНОЖИТЕЛЯМИ

**М. С. Жарская, Д. В. Иванов**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В статье рассматривается применение метода наименьших квадратов для оценки параметров с общими множителями. Приведены результаты для разных уровней шума.

**Ключевые слова:** метод идентификации, Метод наименьших квадратов (МНК), матрица Сильвестра.

**Abstract.** The paper considers the application of the least squares method for estimating parameters with common multipliers. Results for different noise levels are given.

**Keywords:** identification method, least squares method, Sylvester matrix.

**Введение.** Построение математических моделей по результатам наблюдения входных и выходных переменных объекта получило название «идентификация».

При построении модели идентификации обычно предполагается, что физическая теория работы объекта отсутствует или по тем или иным причинам не может быть использована. Объект идентификации представляет собой так называемый «черный ящик» с некоторым числом регулируемых (или измеряемых) входов  $X$  и одним или несколькими наблюдаемыми (измеряемыми) выходами  $Y$ .

Задачей идентификации является построение модели объекта по результатам наблюдений его реакции на возмущения внешней среды. В зависимости от того, доступны входы исследователю для управления или только для наблюдения, можно говорить про активный или пассивный эксперимент с ящиком.

**Постановка задачи.** Модель ARARX описывается уравнением

$$(q^{-1})\bar{y}(t) = B(q^{-1})u_0(t) + \frac{e(t)}{D(q^{-1})}, \quad (1)$$

где  $A(q^{-1})$ ,  $B(q^{-1})$  и  $D(q^{-1})$  являются полиномами, где  $q^{-1}$  – оператор сдвига назад.

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_nq^{-n} \quad (2)$$

$$B(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_nq^{-n} \quad (3)$$

$$D(q^{-1}) = 1 + d_1q^{-1} + \dots + d_{nd}q^{-nd} \quad (4)$$

Исследуемая проблема заключается в следующем:

дано множество наблюдений ввода– вывода  $u(1), \dots, u(N), y(1), \dots, y(N)$ .

Определить оценки коэффициентов  $a_k (k = 1, \dots, n), b_k (k = 0, \dots, n), d_k (k = 1, \dots, nd)$ .

**Идентификация ARARX.** Модель ARARX может быть представлена в виде модели ARX высокого порядка:

$$\bar{A}(q^{-1})\bar{y}(t) = \bar{B}(q^{-1})u_0(t) + e(t), \quad (5)$$

где  $\bar{A}(q^{-1}) = A(q^{-1})D(q^{-1})$  и  $\bar{B}(q^{-1}) = B(q^{-1})D(q^{-1})$ .

Умножая  $\bar{A}(q^{-1})$  на  $B(q^{-1})$  и  $\bar{B}(q^{-1})$  на  $A(q^{-1})$  легко показать, что

$$\bar{A}(q^{-1})B(q^{-1}) - \bar{B}(q^{-1})A(q^{-1}) = 0. \quad (6)$$

Это выражение может быть записано в виде матрицы

$$S^T \theta_0 = 0, \quad (7)$$

где  $S$  – матрица Сильвестра  $(2n + 2) \times (\bar{n} + n + 1)$

$$S = \begin{bmatrix} \beta_0 & \beta_1 & \dots & \beta_{\bar{n}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \beta_0 & \beta_1 & \dots & \beta_{\bar{n}} & \dots & 0 \\ & & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \beta_0 & \beta_1 & \dots & \beta_{\bar{n}} \\ -1 & -\alpha_1 & \dots & -\alpha_{\bar{n}} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -1 & -\alpha_1 & \dots & -\alpha_{\bar{n}} & \dots & 0 \\ & & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & -1 & -\alpha_1 & \dots & -\alpha_{\bar{n}} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Путем разбиения  $S^T$  как

$$S^T = [m \ M], \quad (9)$$

где  $m$  – первый столбец  $S^T$  и с учетом  $\theta_0 = [1a_1 \dots a_n b_0 \dots b_n]^T = [1\theta^T]^T$  получим

$$m + M\theta^* = 0. \quad (10)$$

Таким образом, оценка  $\theta^*$  может быть вычислена как

$$\bar{\theta} = -(\hat{M}^T \hat{M})^{-1} \hat{M}^T \hat{m}, \quad (11)$$

где  $\hat{M}$  и  $\hat{m}$  построены с элементами  $\hat{\mu}$ .

**Результаты моделирования.** Для нахождения точных коэффициентов представим следующую модель ARARX:

$$A(q^{-1}) = 1 - 0.5q^{-1} + 0.06q^{-2}, \quad (12)$$

$$B(q^{-1}) = q^{-1} - 0.7q^{-2}, \quad (13)$$

$$D(q^{-1}) = 1 + 0.95q^{-1} \quad (14)$$

в виде (5) – матрицы истинных коэффициентов:

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0,25 & -0,665 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,25 & -0,665 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0,25 & -0,665 \\ -1 & -0,45 & 0,415 & -0,057 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -0,45 & 0,415 & -0,057 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & -0,45 & 0,415 & -0,057 \end{pmatrix}$$

Таблица 1

Точность оценивания параметров при различных уровнях шума

Уровень шума, дБ Оценка	- 50	- 45	- 40	- 35	- 30	- 25	- 20
$\theta$	0,0047	0,0092	0,0283	0,0364	0,0404	0,0787	0,0904

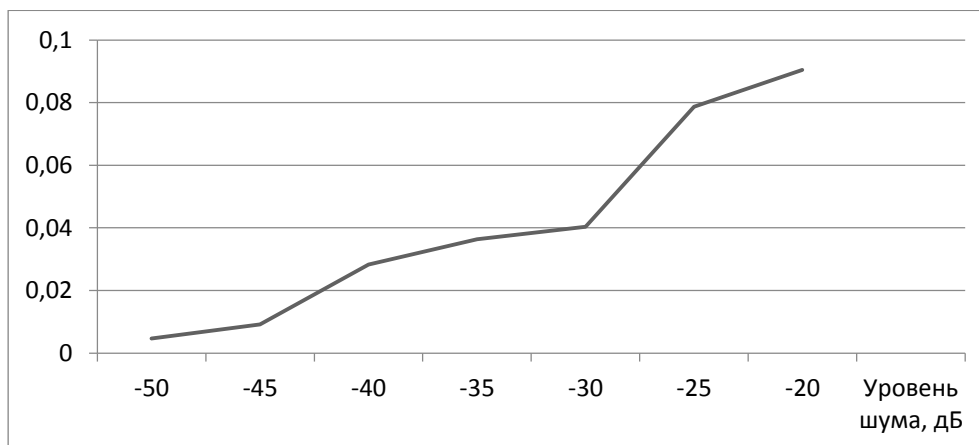


Рис. 1. Точность оценивания параметров при различных уровнях шума

**Вывод:** при увеличении шума точность оценки падает.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Diversi, R. Guidorzi and U. Soverini. Kalman filtering in extended noise environments. IEEE Transactions on Automatic Control, 50: 1396–1402, September 2005.
- 2 Beghelli, R. Guidorzi and U. Soverini. The Frisch scheme in dynamic system identification. Automatica, 26: 171–176, 1990.
- 3 Diversi, R. Guidorzi and U. Soverini. Kalman filtering in extended noise environments. IEEE Transactions on Automatic Control, 50: 1396–1402, September 2005.
- 4 Guidorzi. Multivariable System Identification: From Observations to Models. Bononia University Press, Bologna, Italy, 2003.



## РЕКУРСИВНЫЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ПРОЦЕССОР ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОБРАТНЫХ ФУНКЦИЙ

В. А. Засов, Е. А. Зиновьева

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе предложен специализированный процессор, реализующий рекурсивный алгоритм вычисления обратных функций. Алгоритм работы предложенного процессора по сравнению с известными имеет меньшую вычислительную сложность и предназначен для применения в системах реального времени.

**Ключевые слова:** обратные функции, специализированный процессор, рекурсивный алгоритм, вычислительная сложность, устойчивость.

**Abstract.** The paper presents a specialized processor that implements a recursive algorithm for calculating inverse functions. The algorithm of the proposed processor in comparison with the known ones has less computational complexity and is intended for use in real-time systems.

**Keywords:** inverse functions, specialized processor, recursive algorithm, computational complexity, stability.

Для многих практических приложений, например, выравнивания частотных характеристик каналов передачи данных, построения обратных моделей в задачах управления, коррекции динамических характеристик измерительных преобразователей требуется вычислять обратные функции для известных (заданных) функций.

Положим, что известная функция, определяющая, например, характеристики канала передачи данных, задается импульсной переходной  $h(k, \mathbf{1})$  или частотной  $H(\omega_g, \mathbf{1})$  характеристиками. Положим, что известная функция соответствует звеньям первого или второго порядка и ограничена снизу (не имеет «нулей») и сверху в рассматриваемой ограниченной полосе частот. Такие априорные ограничения позволяют рассматривать задачу вычисления обратной функции как корректную и имеющую устойчивое решение.

Тогда обратные функции  $\tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1})$  и  $\tilde{h}(k, \mathbf{1})$  для указанных выше известных функций определяются соответственно:

$$\tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1}) = \frac{1}{H(\omega_g, \mathbf{1})} \text{ и } \tilde{h}(g, \mathbf{1}) = \frac{1}{G} \sum_{g=0}^{G-1} \tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1}) \cdot \exp\left(i \frac{2\pi\omega_g g}{G}\right),$$

где  $G$  – количество дискретных отсчётов импульсной переходной характеристики  $h(k, \mathbf{1})$  или частотной характеристики  $\tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1})$ .

В общем случае известные функции (так же как и обратные им функции) могут изменяться в зависимости от некоторого вектора параметров  $\mathbf{1}$  (времени, температуры, местоположения и т. д.). Поэтому для систем реального времени актуальной задачей является разработка алгоритмов и процессоров, имеющих небольшую вычислительную сложность для расчета обратных функций.

Известны нерекурсивные, адаптивные, рекурсивные алгоритмы и реализующие их процессоры для вычисления обратных функций [1–3].

Для нерекурсивных алгоритмов и процессоров вычислительная сложность получения обратных функций  $\tilde{h}(k, \mathbf{1})$  включает следующие виды обработки известной функции, задаваемой импульсной переходной характеристикой  $h(g, \mathbf{1})$  [1, 3]: вычисление прямого быстрого преобразования Фурье (БПФ) от  $h(g, \mathbf{1})$ , т. е. получение частотного представления известной функции  $H(\omega_g, \mathbf{1})$ ; вычисление частотного представления обратной функции  $\tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1}) = H^{-1}(\omega_g, \mathbf{1})$ ; вычисление обратного БПФ от  $\tilde{H}(\omega_g, \mathbf{1})$ , т. е. получение обратной функции  $\tilde{h}(g, \mathbf{1})$ ; ряд вспомогательных операций  $\sim 0,5G$ .

Откуда общая вычислительная сложность расчета обратной функции нерекурсивным алгоритмом равна  $L_{в.нерек} = 2G(1 + 10\log_2 G) \approx 20G\log_2 G$  приведенных операций.

Для адаптивных алгоритмов и процессоров вычислительная сложность расчета обратных функций  $\tilde{h}(k, \mathbf{1})$  определяется сложностью используемого алгоритма оптимизации, т. е. алгоритма поиска минимума некоторой целевой функции. Для различных алгоритмов оптимизации (алгоритма наименьших квадратов LMS, рекурсивного алгоритма наименьших квадратов RLS и др.) вычислительная сложность находится в диапазоне  $L_{e, \text{адапт}} \approx (2,5 - 15)G^2$  приведенных операций [4, 5].

Вычислительная сложность используемых в алгоритмах работы процессоров видов обработки, измеряемая в приведенных операциях, взята из [1, 2].

Для рассмотренных алгоритмов вычислительная сложность расчета параметров обратных функций велика. Например, для задачи обратной фильтрации, вычислительная сложность расчета  $\tilde{h}(k, \mathbf{1})$  сопоставима с вычислительной сложностью собственно обратной свертки при длине реализации сигналов несколько  $G$  [6]. Поэтому применение рассмотренных алгоритмов допустимо, если на интервале сигналов, определяемым числом отсчетов, параметры известной функции принимаются неизменными, т. е. модель процесса, описываемого известной функцией является квазистационарной. Это затрудняет применение рассмотренных алгоритмов в динамических системах реального времени.

Существенно меньшую вычислительную сложность имеют рекурсивные алгоритмы, реализуемые процессорами для вычисления обратных функций, построенными на основе замкнутых систем с отрицательной обратной связью [7]. Но для таких процессоров выражение для обратной функции выполняется лишь приближенно, т. е.

$$\tilde{\mathbf{H}}_{\text{рек}}(\omega, \mathbf{1}) = \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{yc}}} + \mathbf{H}(\omega, \mathbf{1})},$$

и только в пределе  $\lim_{K_{\text{yc}} \rightarrow \infty} \tilde{\mathbf{H}}_{\text{рек}}(\omega, \mathbf{1}) = \frac{1}{\frac{1}{K_{\text{yc}}} + \mathbf{H}(\omega, \mathbf{1})} = \frac{1}{\mathbf{H}(\omega, \mathbf{1})},$

где  $K_{\text{yc}}$  – коэффициент передачи в цепи прямой связи. Стремление уменьшить методическую погрешность приводит к возрастанию  $K_{\text{yc}}$ , что ухудшает устойчивость известных рекурсивных процессоров.

Рассмотрим рекурсивный специализированный процессор, алгоритм работы которого имеет меньшую, чем известные алгоритмы, вычислительную сложность  $L_e$ , а методическая погрешность вычисления обратной функции в процессоре устранена.

Структурная схема предлагаемого специализированного процессора приведена на рис. 1 и содержит настроечный и функциональный процессоры (НП и ФП соответственно). В состав НП входит блок памяти (БП) и блок деления (БД). В состав ФП входит: блок вычитания (БВ), блок суммирования (БС), блоки умножения ( $\text{БУ}_I \div \text{БУ}_G$ ), элементы задержки ( $\text{ЭЗ}_I \div \text{ЭЗ}_{G-I}$ ).

На этапе настройки по входам  $h_0, h_1, \dots, h_{N-1}$  НП производит запись в БП дискретных значений импульсной характеристики  $h(g, \mathbf{1})$ , которая задает известную функцию. На этапе восстановления на выходы  $\tilde{h}_0, h_1, \dots, h_{G-1}$  НП передаются считываемые из БП дискретные значения импульсной характеристики  $h(k, \mathbf{1})$ . БД осуществляет операцию  $\tilde{h}_0 = \frac{1}{h_0}$ , где  $h_0$  – первое ненулевое (т. е. при  $g = 0$ ) дискретное значение импульсной характеристики.

На вход процессора подается сигнал  $x(k, \mathbf{1})$ , на выходе получаем дискретный сигнал  $\hat{s}(k)$ . Перестройка процессора в соответствии с изменяющейся известной функцией, задаваемой частотной характеристикой  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{1})$ , производится по входам  $\tilde{h}_0, h_1, \dots, h_{G-1}$  ФП. Определим частотный коэффициент передачи  $\tilde{\mathbf{H}}(\omega_g, \mathbf{1})$  (передаточную функцию) предлагаемого рекурсивного процессора при фиксированных на некотором интервале времени сигналах на настроечных входах  $\tilde{h}_0, h_1, \dots, h_{G-1}$  функционального процессора.

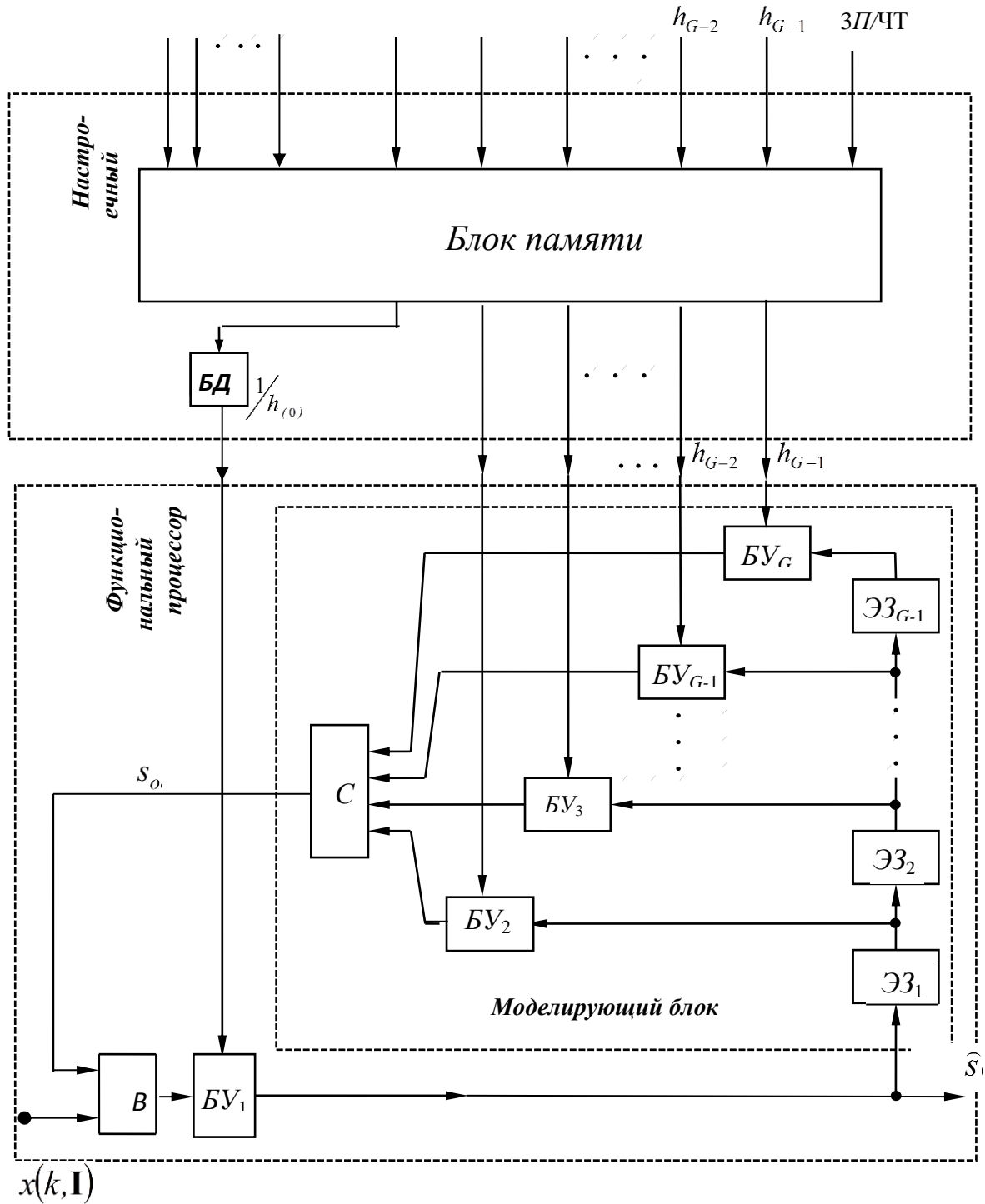


Рис. 1. Структурная схема специализированного процессора для вычисления обратных функций

Имеем  $(x(k, \mathbf{l}) - s_{oc}(k, \mathbf{l}))K_1 = \hat{s}(k)$ , где  $K_1 = \frac{1}{h_0}$  – коэффициент передачи первого блока умножения

БУ<sub>1</sub>; а  $s_{oc}(k, \mathbf{l})$  – сигнал на выходе БС. Сигнал  $s_{oc}(k, \mathbf{l})$  равен  $s_{oc}(k, \mathbf{l}) = \sum_{g=1}^{G-1} \hat{s}(k-g) \cdot h_M(g, \mathbf{l})$ , где

$h_M(g, \mathbf{l})$ ,  $g=0, \dots, G-1$  – дискретные значения импульсной характеристики моделирующего блока, который задает известную функцию в цепи обратной связи процессора. Тогда:

$$x(k, \mathbf{l}) = \sum_{g=1}^{G-1} \hat{s}(k-g) \cdot h_M(g, \mathbf{l}) = \hat{s}(k) \cdot h(0).$$

Переходя к частотному представлению сигналов на основании теоремы о спектрах имеем:  $\mathbf{X}(\omega, \mathbf{l}) = \hat{\mathbf{S}}(\omega) \cdot (h(0) + \mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l}))$ , где  $\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l})$  – частотный коэффициент передачи моделирующего блока.

Откуда частотное представление передаточной функции, реализуемой процессором, имеет вид

$$\tilde{\mathbf{H}}(\omega, \mathbf{l}) = \frac{\hat{\mathbf{S}}(\omega)}{\mathbf{X}(\omega, \mathbf{l})} = \frac{1}{h(0) + \mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l})}. \quad (1)$$

Частотный коэффициент передачи  $\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l})$  моделирующего блока можно представить в виде суммы двух составляющих  $\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l}) = \mathbf{H}(\omega, \mathbf{l}) + \mathbf{H}^0(\omega, \mathbf{l})$ , из которых  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{l})$  – частотное представление известной функции, а  $\mathbf{H}^0(\omega, \mathbf{l})$  – частотный коэффициент передачи некоторого вспомогательного блока. Указанное представление вытекает из того, что импульсную характеристику  $h_M(g, \mathbf{l})$  моделирующего блока  $\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l})$  можно представить в виде суммы импульсной характеристики  $h(g, \mathbf{l})$ , задающую известную функцию  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{l})$  и импульсной характеристики  $h^0(g, \mathbf{l})$  вспомогательного блока  $\mathbf{H}^0(\omega, \mathbf{l})$ , т. е.  $h_M(g, \mathbf{l}) = h(g, \mathbf{l}) + h^0(g, \mathbf{l})$ .

Импульсная характеристика  $h^0(g, \mathbf{l})$  вспомогательного блока  $\mathbf{H}^0(\omega, \mathbf{l})$  состоит из единственного дискретного отсчета, представленного в нулевой момент, т. е. при  $g = 0$ , причем значение отсчета  $h^0(0)$  равно по величине и обратно по знаку отсчету в момент  $g = 0$  импульсной характеристики  $h(g, \mathbf{l})$  задающую известную функцию  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{l})$ , т. е.  $h^0(0) = -h(0)$ .

Таким образом,

$$\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l}) = \mathbf{H}(\omega, \mathbf{l}) - h(0). \quad (2)$$

Другими словами, блок с частотной характеристикой  $\mathbf{H}_M(\omega, \mathbf{l})$ , можно получить, используя блок с частотной характеристикой  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{l})$  и инвертирующий усилитель с коэффициентом  $h(0)$ , причем входы фильтра и усилителя объединены, а выходы суммируются.

Далее, подставляя (2) в (1), получим искомый частотный коэффициент передачи (передаточную функцию) процессора  $\tilde{\mathbf{H}}(\omega, \mathbf{l}) = \frac{1}{\mathbf{H}(\omega, \mathbf{l})}$ , который точно соответствует теоретическому.

Вычислительная сложность  $L_{в.рек}$  алгоритма вычисления обратной функции предложенным рекурсивным процессором определяется сложностью одной операции деления  $\frac{1}{h(0)}$ , производимой в блоке БД, и равна  $L_{в.рек} \Big|_{при G=1} = 1,5$  приведенной операции [1, 2].

Таким образом, вычислительная сложность  $L_в$  алгоритма расчета обратных функций, реализуемого предложенным процессором, существенно меньше вычислительной сложности алгоритмов работы рассмотренных выше нерекурсивных и адаптивных процессоров. Это позволяет сократить время вычисления обратных функций для динамически изменяющихся заданных функций и расширяет область применения предложенного процессора для решения задач в системах реального времени.

Регулярная однородная структурная схема рекурсивного процессора, приведенная на рис. 1, удобна для аппаратно– программной реализации на базе цифровых сигнальных процессоров [4, 5], а также программной реализации на вычислительных устройствах с многоядерной архитектурой [8].

При программной реализации целесообразно использовать алгоритмы решения систем линейных алгебраических уравнений. Для этого известную (заданную) функцию представим дискретными отсчетами импульсной переходной характеристики  $h(g, \mathbf{l})$  таким образом:

$$\left. \begin{aligned} x(0) &= s(0) \cdot h(0) && \text{для } k=0 \\ x(1) &= s(1) \cdot h(0) + s(0) \cdot h(1) && \text{для } k=1; \quad (3) \\ x(2) &= s(2) \cdot h(0) + s(1) \cdot h(1) + s(0) \cdot h(2) && \text{для } k=2; \\ \dots & && \text{и т. д.} \end{aligned} \right\}$$

Число уравнений в системе (3) равно числу отсчетов  $K$  обрабатываемых данных  $x(k, l)$ . При потоковой обработке число  $G$  ненулевых отсчетов импульсной характеристики канала существенно меньше числа  $K$  отсчетов данных  $s(k)$ , т. е.  $G \ll K$ . Поэтому матрица коэффициентов при неизвестных  $s(k)$  в (3) является ленточной и имеет теплицевую структуру [9].

Для решения систем линейных уравнений с теплицевыми матрицами разработаны эффективные алгоритмы [9].

Например, решения систем линейных уравнений с теплицевыми ленточными матрицами может описываться следующим рекуррентным выражением, получаемым последовательным решением уравнений (3) относительно  $s(k)$ ,

$$s(k) = \frac{x(k, \mathbf{1}) - \sum_{g=1}^k s(k-g) \cdot h(g, \mathbf{1})}{h(0)}, \quad k = 0, \dots, K-1.$$

Приведенный на рис. 1 рекурсивный специализированный процессор может эффективно применяться в системах мониторинга, контроля и диагностики объектов транспортной инфраструктуры: поездной радиосвязи [10], рельсовой колеи, рельсовых цепей [11, 12], контактной сети и других транспортных сооружений.

При решении указанных задач важно обеспечивать точные и достоверные измерения многочисленных параметров сигналов, которые искажаются при измерениях преобразователями информации и передаче от мест зарождения в устройства обработки данных. Примерами применения процессора может служить обработка сигналов автоматической локомотивной сигнализации АЛСН [11, 12], сигналов системы автоматического управления торможением [10].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Василенко Г. И. Теория восстановления сигналов: О редукции к идеальному прибору в физике и технике. – М. : Сов. радио, 1979. – 272 с.
- 2 Василенко Г. И., Тараторин А. М. Восстановление изображений. – М. : Радио и связь, 1986 г. – 304 с.
- 3 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Алгоритмы разделения и восстановления сигналов на основе многоканальной обратной фильтрации // Вестник Самарского государственного технического университета: серия «Технические науки». – 2009. – № 2 (24). – С. 33–38.
- 4 Сергиенко А. В. Цифровая обработка сигналов. – СПб : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
- 5 Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 816 с.
- 6 Zasov V A 2019 Using Models of Parallel Specialized Processors to Solve the Problem of Signal Separation Mathematical Modeling. Information Technology and Nanotechnology. Proc. of the Int. Conf. DS– ITNT– 2019 (CEUR– WS. org) vol 2416 pp 290–299.
- 7 Солопченко Г. Н. Обратные задачи в измерительных процедурах // Измерения, контроль, автоматизация, 1983. – № 2. – С. 32–46.
- 8 Боресков А. В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA : учебное пособие. М. : МГУ, 2012. – 336 с.
- 9 Воеводин В. В., Тыртышников Е. Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. – М. : Наука: ГРФМЛ, 1987. – 320 с.
- 10 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Адаптивный эквалайзер: патент на полезную модель №104403 от 24. 08. 2010 г.; опубли. в БИ №13 от 11. 05. 2011 г.
- 11 Засов В. А., Железнов Д. В., Митрофанов А. Н., Белоногов А. С. Адаптивное подавление помех в приемных устройствах автоматической локомотивной сигнализации //Электротехника, 2017. – №3. – С. 18– 22.
- 12 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Адаптивный компенсатор помех: патент на полезную модель №100865 от 27. 12. 2010.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

А. Н. Испухалева, М. В. Додонов

г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** В данной статье предложена реализация системы визуализации процессов моделирования работы железнодорожных станций. Также рассмотрена структура программы визуализации и предложены средства для реализации системы.

**Ключевые слова:** железная дорога, визуализация, моделирование, железнодорожная станция, железнодорожный транспорт.

**Abstract.** This article proposes the implementation of a visualization system for modeling processes of railway station. The structure of the visualization program was also considered, and tools for implementing the system were proposed.

**Keywords:** railway, visualization, modeling, station, railway transport.

Железнодорожная станция – основная производственно– хозяйственная единица в системе железнодорожного транспорта, осуществляющая непосредственную связь с клиентурой. Без железнодорожных станций невозможен перевозочный процесс. На них совершаются начальные и конечные операции этого процесса: посадка и высадка пассажиров, погрузка и выгрузка грузов, почты и багажа. Станции являются стыковыми пунктами железных дорог с другими видами транспорта. На станциях выполняется основная работа по организации движения на железнодорожном транспорте: прием, отправление и пропуск поездов, расформирование, накопление и формирование составов, подача вагонов к местам погрузки– выгрузки, грузовые операции и уборка вагонов после их производства, техническое обслуживание, экипировка и ремонт подвижного состава, коммерческий осмотр грузовых вагонов, пограничный и таможенный досмотр на границе [1].

Преобладающая часть населения прибегает к использованию железнодорожного транспорта для передвижения на дальние расстояния. Бесперебойная работа железнодорожного вокзала зависит от слаженного взаимодействия всех его подразделений. Следовательно, необходимость обладания четким представлением об эффективности функционирования вокзала является актуальным вопросом. Поскольку железнодорожный вокзал представляет собой сеть сложных взаимосвязанных процессов, для рассмотрения механизмов работы лучше использовать информационные технологии. Предпочтительнее всего для решения этой задачи, на взгляд авторов, подходит имитационное моделирование.

Моделирование позволяет получить необходимые технико– эксплуатационные показатели работы станции, которая проектируется или реконструируется. С этой целью в модели фиксируются моменты начала и окончания каждой технологической операции с каждым объектом (поездом, локомотивом, составом), которые в дальнейшем используются для определения простоев в ожидании обслуживания объектов и задержек отдельных передвижений подвижного состава [2].

В современном мире периодически возникает необходимость в изменении инфраструктуры (добавление путей, стрелок, реконструкция существующих, а также строительства новых станций, хранение и сравнение сходных данных и результатов работы имитационного моделирования). Следовательно, для принятия более– менее эффективных решений требуются какие– то расчеты. Имитационная модель является наиболее удобной системой для проведения таких расчетов.

Необходимо спроектировать систему визуализации процессов моделирования работы железнодорожных станций, которая будет обладать разными видами визуализации, такими как диаграммы, графики, схемы. Преимущество данной системы заключается в том, что она будет хранить результаты и визуализировать данные.

Предполагается разработка системы моделирования железнодорожных станций. Само моделирования играет важную роль и является тяжелым процессом, но в данной статье рассматривается визуализация процессов моделирования.

В связи с отсутствием необходимости хранить базу данных на отдельном сервере для реализации системы выбрана двухзвенная архитектура, представленная на рисунке 1. Был выбран «тонкий» клиент, потому что для данного веб– приложения необходима большая часть обработок на сервере. Также спроектирована логическая модель базы данных, которая представлена на рисунке 2.

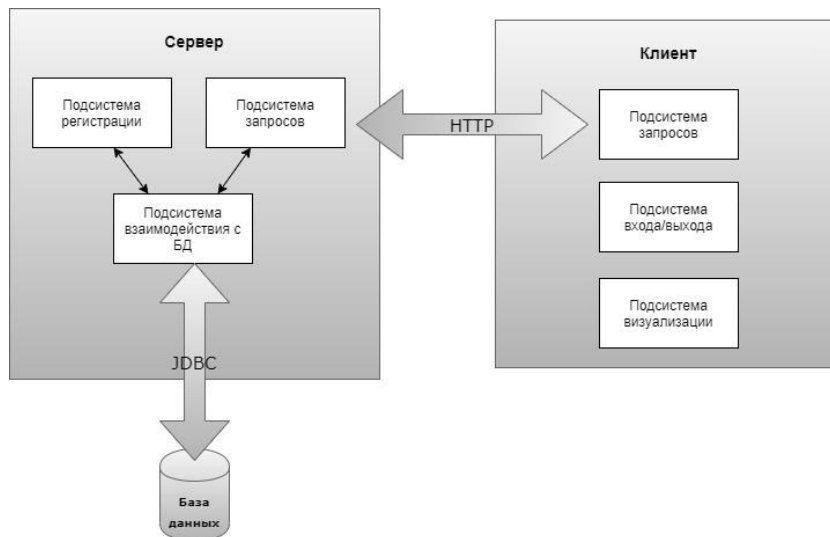


Рис. 1. Структурная схема системы



Рис. 2. Логическая схема базы данных

Подразумевается, что система предназначена для выдавать план– график работы станции, сведения об инфраструктурных элементах, о свободной нитке графика, о ресурсах, маршруте, а также способна анимировать движение поездов.

В качестве среды разработки данной системы выбрана IntelliJ IDEA Community Edition 2018. 2. 2. Java была выбрана в качестве языка программирования для серверной части системы. Для реализации клиентской части системы выбран JavaScript и платформа Angular, удобный для создания приложений, которые работают в Интернете, на мобильных устройствах или компьютере. В качестве СУБД выбрана PostgreSQL. Также будет использована среда выполнения приложений WildFly. Оптимизации WildFly позволяют работать со стандартными настройками JVM, а также на небольших устройствах.

Таким образом, спроектирована система визуализации процессов моделирования работы железнодорожных станций. Данное средство позволяет визуализировать данные удобным для пользователя способом. Система должна помочь в разработке проектов на железных дорогах с имитацией результатов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Железнодорожные станции и узлы : учебник / Ефименко Ю. И. [и др.]. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. – 853 с.
- 2 Бобровский В. И. Функциональное моделирование работы железнодорожных станций : монография. – Днепропетровск: Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2015. – 269 с.
- 3 Додонов М. В. Автоматизированная система согласования расписаний международных контейнерных поездов в рамках проекта «один пояс – один путь» // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы I Всероссийской научно-практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г.). – Самара: СамГУПС, 2019. С. 43–47

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО СБОРА ДАННЫХ О ПАРАМЕТРАХ РАБОТЫ ДВС

А. В. Красильникова

г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** В работе рассмотрена система, позволяющая централизованно производить сбор информации о параметрах работы двигателя внутреннего сгорания. Приведены алгоритмы сжатия данных для избавления от избыточности при передаче на внешние сервера для хранения и обработки.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, алгоритмы сжатия, ЭСУД, автоматизированная система сбора данных.

**Abstract.** The paper considers a system that allows centralized collection of information about the parameters of the internal combustion engine. Data compression algorithms are provided to eliminate redundancy when transferring data to external servers for storage and processing.

**Keywords:** internal combustion engine, compression algorithms, ECM, automated data collection system.

Развитие современного машиностроения неотъемлемо связано с совершенствованием двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Для достижения этой цели мировые производители ведут активные разработки как в области совершенствования конструкции двигателей, так и в области создания эффективных систем автоматического управления двигателями [1].

Зачастую автоматизированной системе необходимо собирать от нескольких десятков до нескольких сотен значений параметров с разным шагом дискретизации времени. Другими словами, одни параметры изменяются достаточно часто, другие, напротив – редко. К тому же оптимальное время для передачи данных в хранилище для различных транспортных средств разное. Поэтому для уменьшения объема данных, их необходимо сжимать и хранить/передавать блоками. К тому же блочная передача уменьшит время передачи и уменьшит вероятность помех.

Цель работы – разработать автоматизированную систему сбора и передачи сжатых данных о параметрах двигателя.

Систему необходимо развернуть мобильно (сбор и передачи данных) и стационарно (прием и анализ данных). С транспортного средства по сети (при наличии соединения с считывающей станцией) будут передаваться блоками данные о параметрах работы в региональную базу. Водитель транспортного средства будет иметь возможность просмотра параметров последнего считывания, пользователи региональной базы – просмотра статистики параметров по водителям, транспортным средствам.

Общая статистика по состоянию транспортных средств будет передаваться, и отображаться в статистической базе. Описанная схема работы системы централизованного сбора представлена на рисунке 1.

Автоматизированная система управления двигателем передает данные, которые считывает электронная система управления двигателем (ЭСУД). ЭСУД представляет собой электронный блок управления (ЭБУ), датчики для считывания сигналов и исполняющие механизмы. На рисунке 2 представлена схема работы ЭСУД.



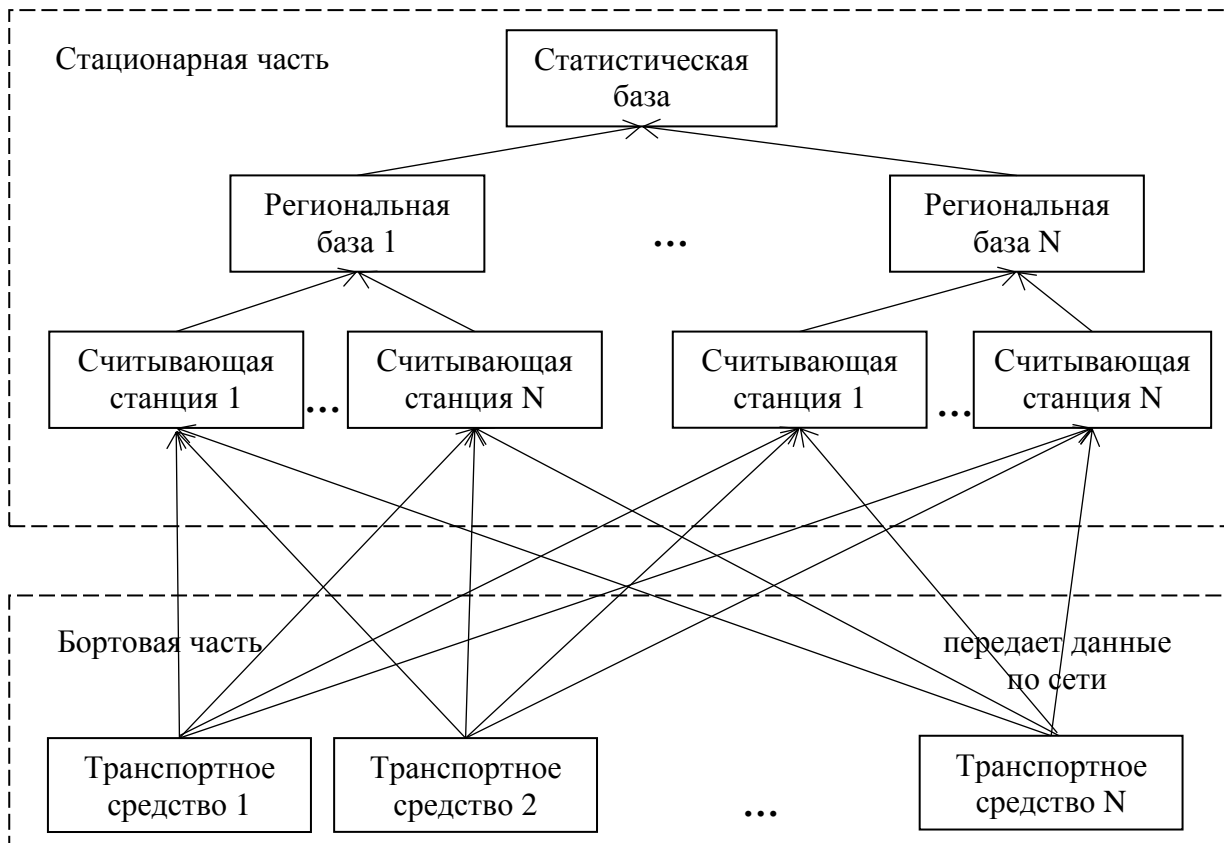


Рис. 1. Схема работы системы централизованного сбора

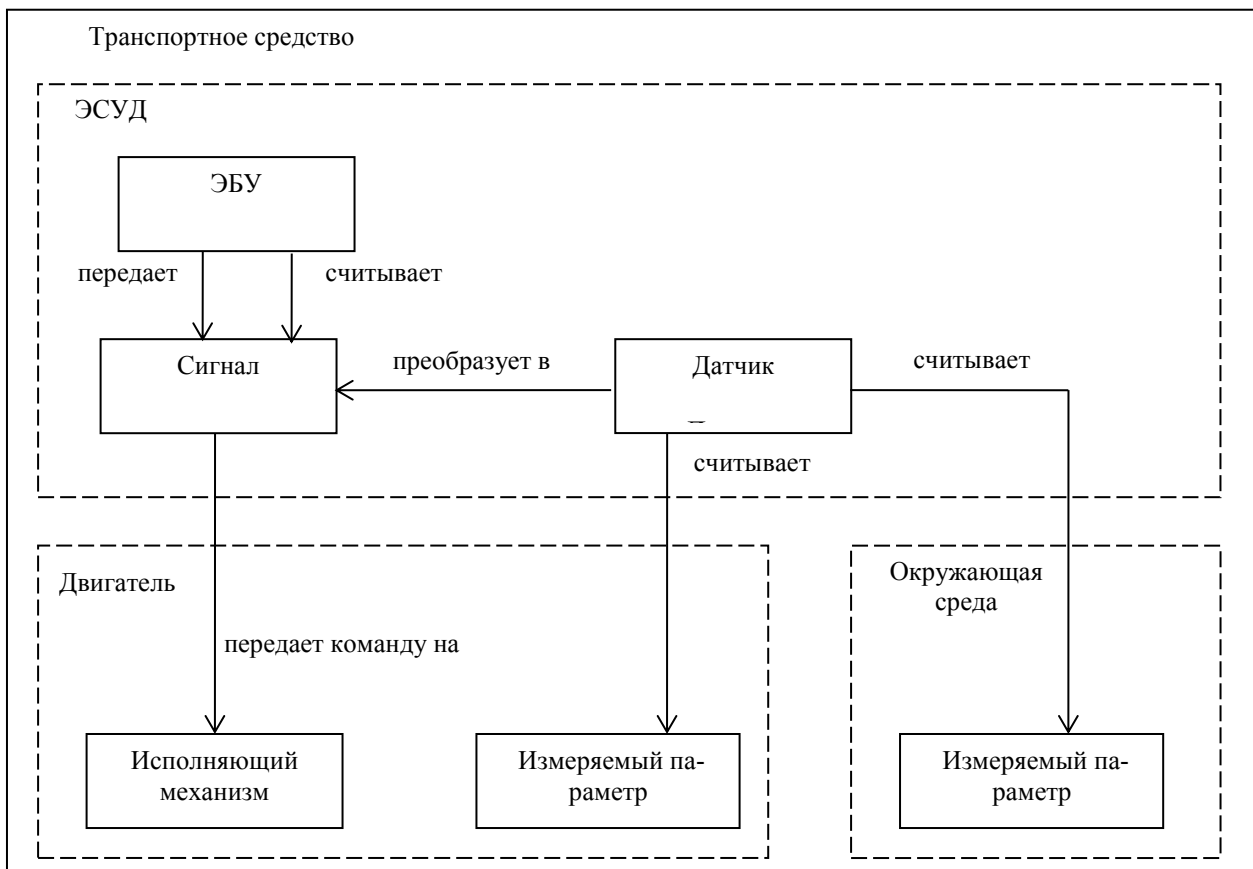


Рис. 2. Схема работы ЭСУД

Данные, полученные с ЭСУД, представляются в виде таблицы (рис. 3). Как видно из рисунка 3, параметры изменяются с разным периодом дискретизации времени, поэтому для избавления от избыточности целесообразно хранить и передавать данные в блоках (рис. 4)

Time	RPM	THR	SSM	SPD	TWAT	AFR	INJ	AIR	GBC	ADCLAM	UOZ	COEFF	AFR_LC1	TAIR	PRESS	FDET	ADCMFAF
20:14:04.239	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,3	103,8	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:04.458	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,2	103,8	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:04.661	960	0	47	0	79	14,7	3,34	13,4	105	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:05.036	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,4	103,8	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:05.239	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,3	104,2	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:05.442	960	0	47	0	79	14,7	3,36	13,4	106	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:05.676	960	0	47	0	79	14,7	3,31	13,3	104,5	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:05.880	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,4	104	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:06.083	960	0	47	0	79	14,7	3,31	13,2	104,5	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:06.302	960	0	47	0	79	14,7	3,32	13,4	104,7	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:06.520	920	0	47	0	79	14,7	3,34	13,3	105,5	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:06.739	960	0	47	0	79	14,7	3,29	13,3	103,5	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:06.958	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,1	104,2	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:07.177	920	0	47	0	79	14,7	3,33	13,4	104,7	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:07.395	960	0	47	0	79	14,7	3,31	13,3	104,3	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:07.614	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,2	103,7	0,47	9,5	1	0	26	0	0	0
20:14:07.833	960	0	47	0	79	14,7	3,27	13	102,7	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:08.052	960	0	47	0	79	14,7	3,32	13,3	104,3	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:08.270	920	0	47	0	79	14,7	3,34	13,5	105,7	0,47	11,5	1	0	26	0	0	0
20:14:08.505	960	0	47	0	79	14,7	3,3	13,2	103,8	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:08.724	960	0	47	0	79	14,7	3,32	13,4	104,7	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0
20:14:08.942	960	0	47	0	79	14,7	3,31	13,4	104,3	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:09.161	960	0	47	0	79	14,7	3,29	13,4	103,5	0,47	10	1	0	26	0	0	0
20:14:09.380	960	0	47	0	79	14,7	3,31	13,1	104,2	0,47	10,5	1	0	26	0	0	0

Рис. 3. Пример данных, считанных ЭСУД

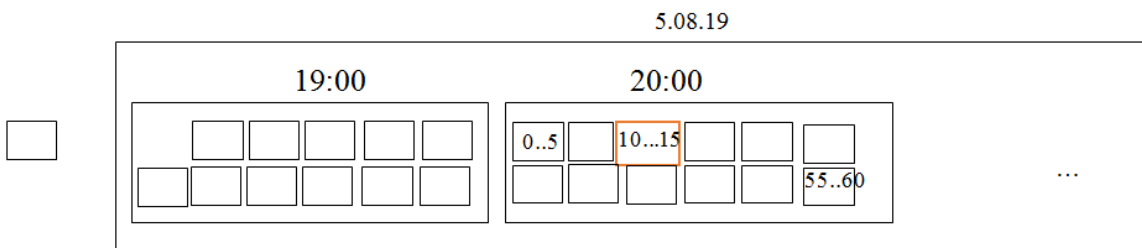


Рис. 4. Таблица с параметрами ДВС, представленная в виде блоков

Для передачи по сети блоки удобно представлять в битом виде с последующим сжатием.

Сжатие без потерь может применяться для сжатия любой информации, поскольку обеспечивает абсолютно точное восстановление данных после кодирования и декодирования. Сжатие без потерь основано на простом принципе преобразования данных из одной группы символов в другую, более компактную. Но сжатие без потери не обладает высокой степенью сжатия.

Сжатие с потерями применяется в основном для графики, звука, видео. Сжатие с потерями обладает высокой степенью сжатия, которую можно контролировать. Однако нет возможности явно указать, какие данные будут сжиматься, поэтому применять сжатие с потерями для текстовой информации нельзя.

Существуют 2 основополагающие группы сжатия без потерь:

- основанные на алгоритме LZ;
- основанные на алгоритме Хаффмана.

Рассмотрим сравнительную статистику алгоритмов LZ4 и Snappy (рисунок 5 и 6) [2].

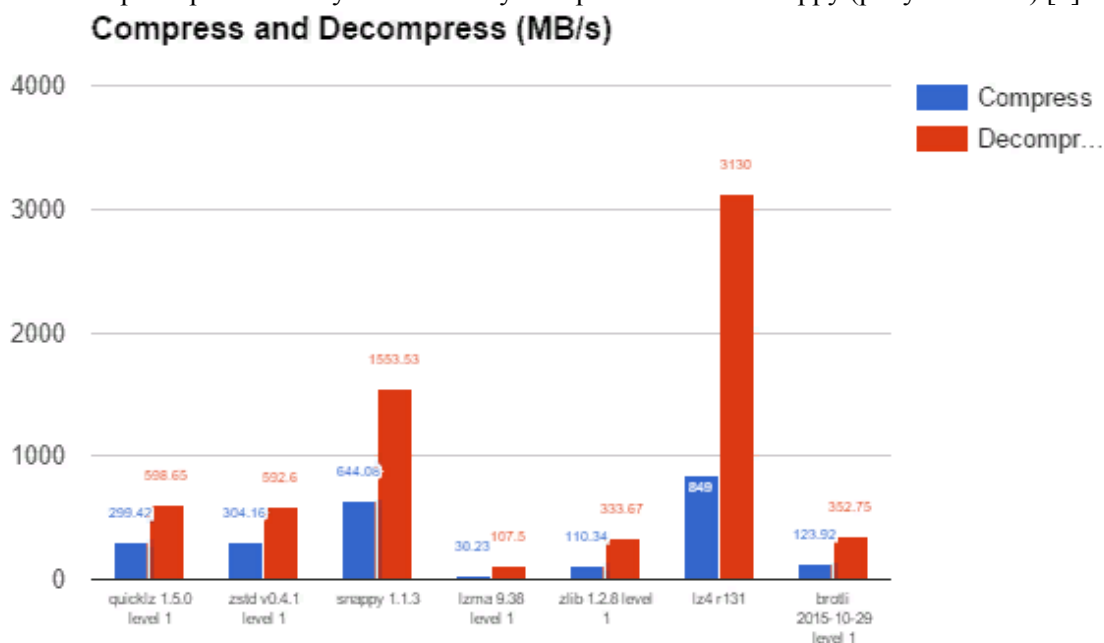


Рис. 5. Сравнительная характеристика относительно скорости кодирования/декодирования

На основе рисунков 5 и 6, можно сделать вывод, что алгоритм LZ4 кодирует/декодирует данные быстрее, чем Snappy, но не обладает высокой степенью сжатия (ниже Snappy на 0, 24) . В разрабатываемой системе будем использовать алгоритм LZ4.

LZ4 – алгоритм сжатия без потерь, разработанный Яном Колле (Yann Collet) в 2011 году. Алгоритм работает с байтовыми потоками.

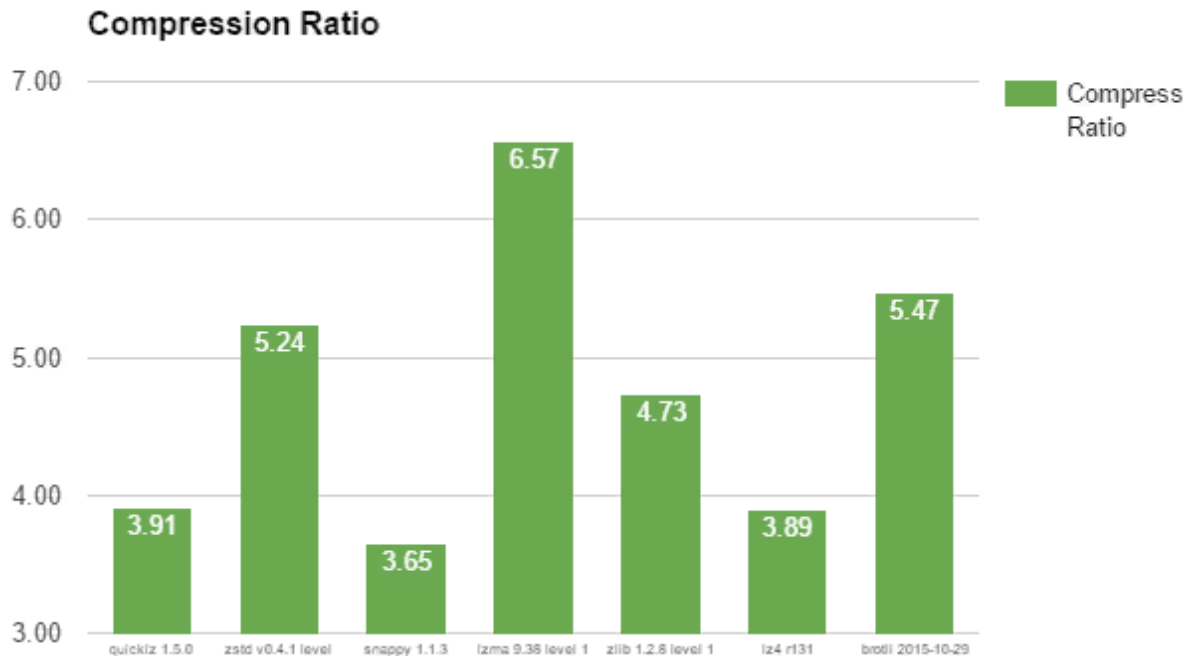


Рис. 6. Сравнительная характеристика коэффициента сжатия

Согласно технической документации, в которой описан алгоритм, дадим следующие определения:  
*Последовательность* – это набор литералов (несжатых байтов), за которыми следует повторяющаяся копия.

*Токен* – однобайтовое значение, разделенное на два 4-битных поля, варьирующиеся от 0 до 15.

*Смещение* – позиция совпадения, с которой необходимо скопировать литерал. Представляет собой 2-байтовое значение (максимальное значение соответственно 65535 в десятичной системе).

Порядок записи сжатой строки следующий: токен, секция литерала (дополнительные байты на длину литерала, строка литерала), секция совпадения (позиция совпадения, дополнительные байты на длину совпадения) (рис. 7).

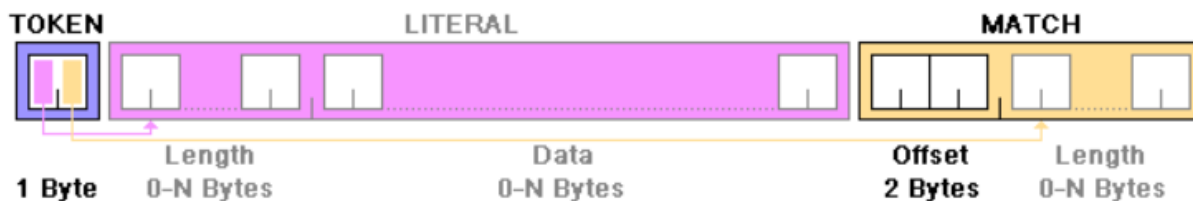


Рис. 7. Порядок записи сжатого литерала

Алгоритм LZ4, представленный на рисунке 7, выглядит следующим образом:

1. Каждая последовательность начинается с токена. В старший бит токена записывается длина входного литерала (подстрока). Если значение поля равно 0, тогда литерал пустой. Если это 15, то нам нужно добавить еще несколько байтов, чтобы указать полную длину. Каждый дополнительный байт затем представляет значение от 0 до 255, которое добавляется к предыдущему значению для получения общей длины. Когда значение байта равно 255, выводится другой байт.

Пример 1

Длина литерала, равная 48 будет представлена как:

15: значение для старшего 4-битного поля.

33: (= 48 – 15) оставшаяся длина для достижения 48.

Пример 2

Длина литерала, равная 280 будет представлена как:

15: значение для старшего 4-битного поля.

255: максимальный следующий байт, так как  $280 - 15 > 255$ .

10: (= 280 – 15 – 255) оставшаяся длина для достижения 280.

Пример 3

Длина литерала, равная 15 будет представлена как:

15: значение для старшего 4-битного поля.

0: (= 15 – 15) ноль будет выведен в дополнительный бит.

Соответственно в секции литералов находятся длина литерала и сам литерал.

2. Затем в младшие 4 бита токена записывается начальная длина совпадения. Значение, очевидно, колеблется от 0 до 15. Однако здесь 0 означает, что операция копирования будет минимальной. Минимальная длина совпадения составляет 4 бита. Подобно длине литерала, при достижении максимально возможного значения (15) выводятся по необходимости дополнительные байты со значениями в диапазоне от 0 до 255. Они добавляются к итоговому значению, чтобы обеспечить конечную длину совпадения. Не существует ограничений на количество необязательных байтов.

3. Затем заполняется секция совпадения. Осуществляется операция поиска совпадения, с минимальным размером совпадения, извлеченным из младшего бита токена. Позиция совпадения записывается в блок offset (с размером 2 байта). Если длина совпадения больше минимальной длины, тогда размер длины совпадения записывается за позицией смещения [3].

Таким образом, проектируемая система поможет компаниям, эксплуатирующим транспортные средства, мониторить состояние техники и своевременно проводить ремонт.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электронная система управления двигателем в автомобиле: разбираем, что это и принцип работы [Электронный ресурс]. URL: <https://autodont.ru/jelektro/elektronnaya-sistema-upravleniya-dvigatелеm> (дата обращения: 3. 02. 2020).
- 2 Evaluating Database Compression Methods: Update [Электронный ресурс]. URL: <https://www.percona.com/blog/2016/04/13/evaluating-database-compression-methods-update/> (дата обращения: 10. 02. 2020).
- 3 Алгоритм LZ4 [Электронный ресурс]. URL: [https://github.com/lz4/lz4/blob/master/doc/lz4\\_Block\\_format.md](https://github.com/lz4/lz4/blob/master/doc/lz4_Block_format.md) (дата обращения: 10. 02. 2020).

**РЕАЛИЗАЦИЯ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ МИХАЙЛОВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО ПОРЯДКА В СРЕДЕ MATLAB**

**А. А. Куршева, С. С. Леонова, А. В. Авсиевич**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе приведена работа по реализации частотного обобщенного критерия Михайлова для определения устойчивости систем автоматического управления имеющих вещественный порядок. Реализация критерия проведена в среде Matlab.

**Ключевые слова:** частотный критерий Михайлова, устойчивость систем автоматического управления.

**Abstract.** The paper presents the work on the implementation of the generalized Mikhailov frequency criterion for determining the stability of automatic control systems with real order. The criterion was implemented in the Matlab environment.

**Keywords:** Mikhailov frequency criterion, stability of automatic control systems.

**Введение.** На настоящее время в среде Matlab функция определения устойчивости по частотному критерию Михайлова [1] не реализована даже для систем автоматического управления с натуральным показателем, согласно классификации моделей приведенных в работе [2].

Для исследования САУ с передаточной функцией с вещественными показателями необходимо разработать пакет алгоритмов, реализующих основные методы анализа и синтеза, включающие: задание указанной передаточной функции, построение переходных процессов, критериев устойчивости и так далее.

В статье рассматривается разработка алгоритма введения в среду Matlab передаточной функции с вещественными показателями и критерия Михайлова для указанных систем.

**Основная часть.** Передаточная функция с показателями вещественного порядка выглядит следующим образом:

$$W(S) = \frac{b_m S^{\vartheta_m} + b_{m-1} S^{\vartheta_{m-1}} + \dots + b_0}{a_n S^{\theta_n} + a_{n-1} S^{\theta_{n-1}} + \dots + a_0} \dots \dots \dots (1)$$

где  $a \in R, b \in R$  – коэффициенты,  $\theta \in R, \vartheta \in R$  – показатели порядка передаточной функции, где  $\theta_n > \theta_{n-1} > \dots > \theta_2 > \theta_1$  и  $\vartheta_m > \vartheta_{m-1} > \dots > \vartheta_2 > \vartheta_1$ .

На основании передаточной функции общего порядка (1) разработан алгоритм формирования передаточной функции в Matlab, который описан ниже.

В Matlab [3] все вычисления и формулы хранятся в матрицах. Так, при формировании обычной передаточной функции формируются следующие матрицы: NUM (числитель) и DEN (знаменатель) для хранения передаточной функции (Рисунок 1).

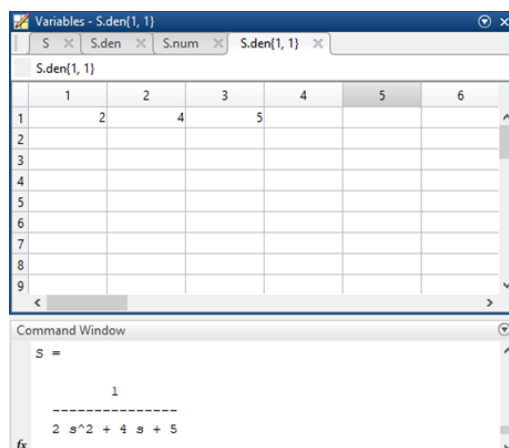


Рис. 1. Пример хранения знаменателя обычной передаточной функции

Для общей передаточной функции такой вид хранения не подходит, так как степень не зависит от порядка, а, следовательно, нам необходимо хранить отдельно для каждого значения его показатель. Исходя из этого, получается следующий вид хранения общей передаточной функции, показанной на рисунке 2.

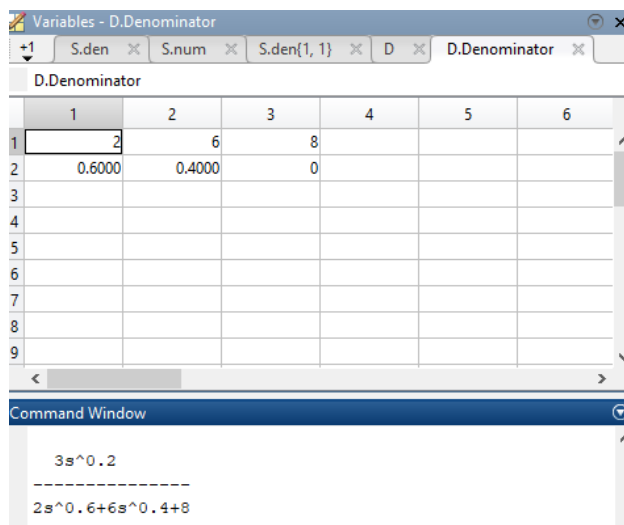


Рис. 2. Пример хранения знаменателя общей передаточной функции

В связи с тем, что для каждого значения необходимо в соответствие ставить показатель степени, шаблон ввода общей передаточной функции должен быть изменён и приведён к следующему виду:

$$tfr = ([M_1 M_2 \dots M_n; MS_1 MS_2 \dots MS_n], [N_1 N_2 \dots N_n; NS_1 NS_2 \dots NS_n]),$$

где  $M_n$  – числитель,  $MS_n$  – показатель числителя,  $N_n$  – знаменатель,  $NS_n$  – показатель знаменателя.

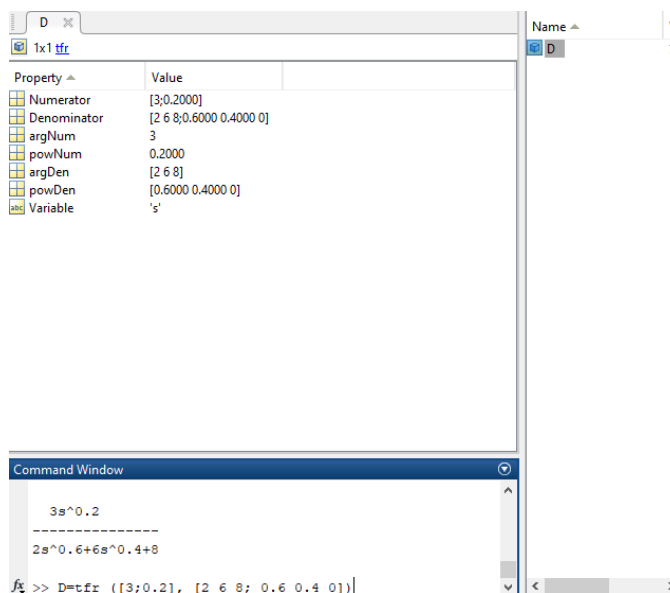


Рис. 3. Пример сформированной общей передаточной функции в Matlab

На рисунке 3 представлено, как формируется общая передаточная функция в Matlab, с которой можно в дальнейшем работать и проводить исследования. Для проверки функции на устойчивость специалисты пользуются такими критериями, как критерий Михайлова. Для общей передаточной функции стандартные критерии реализованные в Matlab, не подходят, следовательно, необходимо реализовывать Михайлова приведенный в работе [4, 5].

Из которых следует, что критерий Михайлова распространённый на системы автоматического управления с вещественным порядком, где  $\alpha$  вещественное число, которое может принимать любое значение из интервала  $0 \leq \alpha < 1$ , звучит следующим: *система автоматического управления будет устойчивой, тогда и только тогда, когда при возрастании частоты от 0 до  $+\infty$  годограф вектора  $D((j\omega)^\alpha)$ , начиная с положительной вещественной полуоси, обходит последовательно в положительном направлении  $[n\alpha] + 1$  квадрантов и заканчивается в  $[n\alpha] + 1$ -ом квадранте, где  $[]$  – целая часть числа.* Под квадрантом в данном случае подразумевается сектор с углом равным  $\pi\alpha/2$ .

На основании предложенного критерия разработана функция «mikhajlov» реализующая критерий Михайлова в программной среде Matlab. Полная запись функции имеет вид mikhajlov(D, RBeginning, EndBand, Step, KeyCriteria), где D – передаточная функция с показателями вещественного порядка, RBeginning – нижняя граница частоты, EndBand – верхняя граница частоты, Step – шаг частоты, KeyCriteria – флаг критерия вывода (зарезервирован для организации разных параметров вывода). Исходный код вычисления частотного критерия Михайлова приведен ниже.

```
function [mag, im, w] = freqrespr(v, d)
a = v. RB;
b = v. EB;
n = v. St;
I=(b-a)/n; % w= v. RB; I: v. EB; w=(a: n: b); if v. KC == 'n'
for n = 1 : length(w) F(n) = sum((i*w(n)). ^v. D. powDen). *v. D. argDen); end
if d=='d'
mag = real(F);
im = imag(F);
elseif d=='p'
mag = abs(F);
im = angle(F);
end
end
function crit= mikhajlov(D, RBeginning, EndBand, Step, KeyCriteria)
d='d'; mnog=1. 1;
if EndBand<RBeginning
ERROR 'Конечное значение диапазона должно быть больше начального'; end
if Step<=0 ERROR 'Шаг должен быть больше нуля'; end
perM. RB = RBeginning; perM. St = Step; perM. EB = EndBand; perM. KC = KeyCriteria;
perM. D =D; [mag, ph, w] = freqrespr(perM, d);
if max(mag)~=0
if max(mag)>0 xma =max(mag)*mnog; xmi = (max(mag)*mnog)*(- 1);
else xmi =min(mag)*mnog; xma = (min(mag)*mnog)*(- 1); end
else if min(mag)~=0 xmi = max(mag)*mnog; xma =(max(mag)*mnog)*(- 1); end
end
% ymi = max(ph);
if max(ph)~=0
if max(ph)>0 yma =max(ph)*mnog; ymi = (max(ph)*mnog)*(- 1);
else ymi =min(ph)*mnog; yma = (min(ph)*mnog)*(- 1); end
else if min(ph)~=0 ymi = min(ph)*mnog; yma =(min(ph)*mnog)*(- 1);
else ymi = - 1; yma =1; end
end
plot(mag, ph);
grid on
% axis( [- 0. 5, 0. 5, - 0. 5, 0. 5 ] ),
% plot(w, ph);
% hold on
axis xy;
% xlim([xmi xma]);
% ylim([ymi yma]);
ax = gca;
ax. XAxisLocation = 'origin';
ax. YAxisLocation = 'origin';
end
end
end
```

Продemonстрируем, работу полученной функции с помощью трех передаточных функций с заранее известными характеристиками устойчивости:

а) устойчивая передаточная функция

$$4s^0$$

----- ;

$$1s^1. 6+3s^0. 8+2$$

б) неустойчивая передаточная функция

$$4s^0$$

----- ;

$$1s^1. 6+1s^0. 8+- 2$$

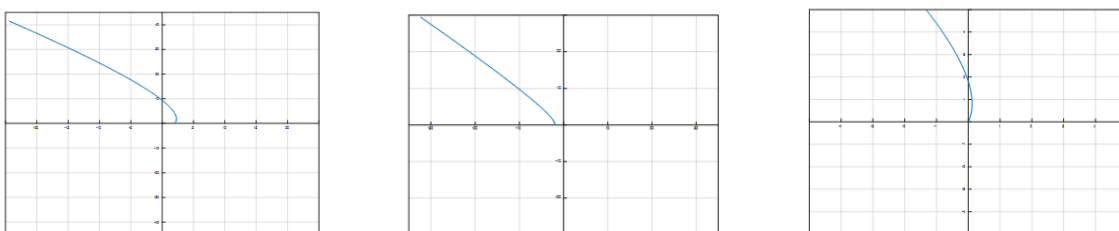
в) передаточная функция на границе устойчивости

$$4s^0$$

----- .

$$1s^1. 6+2s^0. 8+0$$

Результат работы показан на рисунке 4, что соответствует ранее полученному определению устойчивости систем автоматического управления.



а) б) в) Рис. 4. Годограф Михайлова для устойчивой САУ(а), неустойчивой САУ (б) и САУ на границе устойчивости (в).

**Вывод.** В ходе выполнения работы разработана функция в среде Matlab для определения устойчивости систем автоматического управления с вещественными показателями, а так же разработана вспомогательная функция ввода в систему Matlab передаточных функций САУ. Данные разработки в дальнейшем позволят развивать исследования в области систем автоматического управления с вещественными показателями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Критерий устойчивости Михайлова [Электронный ресурс]. – <https://studfile.net/preview/730961/page:3/> (Дата обращения 11. 03. 2020)
- 2 Авсиевич А. В. Текущее состояние математического моделирования САУ нецелого порядка // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте : материалы I Всероссийской научно-практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г.). – Самара : СамГУПС, 2019. С. 6–10.
- 3 Matlab [Электронный ресурс]. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/MATLAB> (Дата обращения 17. 03. 2020)
- 4 Авсиевич А. А. Критерии устойчивости систем автоматического регулирования дробного порядка // Вестник транспорта Поволжья. – 2008. – № 1. – С. 66–72.
- 5 Авсиевич А. В. Авсиевич В. В. Частотные критерии Михайлова и Найквиста для моделей систем автоматического управления с дробным порядком // Вестник транспорта Поволжья. 2010. – Вып. 1 (21). – С. 35–41.

УДК 656. 02

#### ЦИФРОВЫЕ СЕРВИСЫ КОНТЕЙНЕРИЗАЦИИ

Н. Ю. Лахметкина

г. Москва, Российский университет транспорта (МИИТ)

**Аннотация.** В настоящий момент контейнерные перевозки являются одним из самых востребованных способов перевозки. В исследовании сформулированы предложения, направленные на улучшение сервисов



организации контейнерных поездов за счет внедрения цифровых технологий, способствующих уменьшению порожнего пробега контейнеров, оптимизации заполнения контейнеров с целью снижения порожнего пробега и сохранению привлекательности контейнерных перевозок железнодорожным транспортом в условиях ввода ограничений при организации контейнерных поездов на направлении «Восток– Запад». Согласно Указу Президента от 7 мая 2018 года «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», одной из приоритетных целей является развитие транспортных коридоров за счет сокращения времени перевозки контейнеров железнодорожным транспортом в частности с Дальнего Востока до западной границы РФ и увеличения объема транзитных перевозок контейнеров железнодорожным транспортом в 4 раза, что указывает на актуальность рассмотренных в статье вопросов и предложений.

**Ключевые слова:** Контейнерные перевозки, цифровизация, блокчейн, смарт контракт.

**Abstract.** Currently, container transportation is one of the most popular methods of transportation. The paper formulates proposals aimed to improving container train organization services through the introduction of digital technologies that help reduce empty container mileage, optimize container filling in order to reduce empty mileage, and preserve the attractiveness of container transport by rail in the conditions of restrictions on the organization of container trains in the "East– West" direction. According to the presidential Decree of May 7, 2018 "On the national goals and strategic objectives development of the Russian Federation for the period up to 2024", one of the priorities is the development of transport corridors by reducing the time of transportation of containers by rail in particular from the Far East to the Western border of the Russian Federation and increase transit transportation of containers by rail is 4 times, indicating the relevance discussed in the article questions and suggestions.

**Key words:** Container transportation, digitalization, blockchain, smart contract.

Контейнерные перевозки являются гибким инструментом, позволяющим формировать предложения, отвечающие требованиям всех участников транспортно– логистического рынка. На сегодняшний день номенклатура перевозимых в контейнерах груза удовлетворяет самые разнообразные потребности: пиломатериалы, мебель, товары народного потребления, текстиль, промышленное оборудование, строительные грузы, химическая и фармацевтическая продукция, традиционные углеводороды, продукты нефтехимии, продукты питания и многое другое.

Наиболее эффективная форма организации контейнерных перевозок – ускоренные контейнерные поезда. По сравнению с перевозками грузов обычными поездами эффективность перевозок ускоренными контейнерными сервисами выше на 20–30 % за счет сокращения срока доставки груза, упрощения оформления перевозочных документов и процедуры пересечения границ.

В первом полугодии 2019 года контейнерный рынок России по сравнению с периодом прошлого года вырос на 10 % до 2, 5 млн TEU грузёных контейнеров. Экспорт показал прирост на 17 % до 827 тыс. TEU, а импорт – на 3 % до 1 млн TEU. Внутренние перевозки также выросли на 10 % до 420 тысяч TEU, а транзит – на 24 % до 207 тыс. TEU. [1]

По итогам 2019 года ожидается прирост контейнерного рынка на уровне 9 %. Высокие темпы роста, по мнению специалистов транспортного рынка, поддерживаются транзитными перевозками (+22 %) между Китаем и Европой и экспортом (+14 %) пиломатериалов в Китай [2].

Коридор «Восток – Запад» по-прежнему является самым активным направлением железнодорожных контейнерных перевозок. Примерно четверть импортного контейнеропотока направляется через пропускные пункты на границе с Китаем. Основная грузовая база коридора в транзитном сообщении – трансконтинентальные перевозки между странами Азиатско-Тихоокеанского региона (Китай, Японией, КНДР и Республикой Корея) и европейскими странами.

Для транспортировки товарных потоков на Евразийском пространстве по железнодорожным направлениям Китай применяет децентрализованную систему субсидирования в качестве меры по повышению привлекательности международных контейнерных перевозок. Однако, в сентябре 2018 года китайское Правительство установило ограничение: из Китая на запад могут отправляться только полностью загруженные поезда. Поезда с порожними контейнерами в составе субсидироваться не будут. К 2022 году западные партнёры и вовсе планируют отказаться от инициативы субсидирования. Кроме того, с января 2019 года ОАО «РЖД» дополнительно повысили плату за порожний пробег полувагонов на 6 %. Такие меры заставят многие компании-собственники искать альтернативные варианты или уйти с рынка контейнерных перевозок в направлении «Восток – Запад» [3].

Оптимальное решение данной проблемы необходимо искать в возможностях внедрения цифровых сервисов, позволяющих повысить привлекательность контейнерных перевозок, обеспечить заполняемость, простоту и прозрачность процедуры организации контейнерного поезда. Примером может служить сервис, работающий по принципу покупки билетов на пассажирские поезда. С помощью такого сервиса клиент буквально покупает место в контейнерном поезде: оставляет заявку на перевозку, указывает все необходимые данные (род груза, вес, габариты, назначение и другое). Такая

услуга позволит качественно сэкономить средства, как грузоотправителю, так и перевозчику. Грузоотправитель платит за место, которое занимает груз, а не за весь контейнер, а перевозчик, таким образом, оптимизирует заполняемость контейнеров, устраняя тем самым порожние рейсы. Более того, с помощью данного сервиса можно будет избежать проблемы не эффективного использования вместимости или грузоподъемности контейнеров, что позволит небольшим компаниям продолжать предоставлять транспортные услуги.

В случае срочной доставки клиентам приходится переплачивать за весь контейнер, независимо от его заполненности. В подобных случаях предлагается использовать автотранспорт. Если отправлять вагон в заданном направлении не целесообразно, на место погрузки прибывает автоконтейнеровоз. Маршрут его движения также можно будет отслеживать по специально выданному трек-номеру перевозки в личном кабинете клиента. Таким образом, обеспечивается бесперебойная, быстрая и скоординированная работа транспорта по доставке груза. Данная технология уже активно используется в пассажирском сообщении Европы, что позволяет значительно сократить расходы на эксплуатацию подвижного состава и загруженность сети.

Компания GEFCO, к примеру, намерена разработать механизмы по внедрению цифровых платформ Chronotruck, предназначенных для «уберизации» рынка перевозок паллетных контейнеро-пригодных грузов. Платформа позволит полностью автоматизировать процесс перевозки, начиная с поиска лучшего клиента и определения вида транспорта для каждой отдельной перевозки, заканчивая оформлением необходимой документации и выставлением счетов. Перевозчик получает доступ к большому количеству заказов, тем самым минимизируя издержки [4].

При создании подобных цифровых сервисов необходимо задуматься о технологической обеспеченности перевозочного процесса на базе использования современных цифровых технологий.

Ежегодно весь российский транспорт перевозит вместе с грузом около 3, 5 млн тонн бумаги. Среди задач, стоящих перед контейнерными перевозками – повсеместное внедрение электронных товарно-сопроводительных документов, электронных накладных и электронных путевых листов. Среди важнейших перспектив – создание платформы единого российского цифрового транспортного сервиса. Уже сейчас планируется решение, которое будет непосредственно связано с ведомственными системами контрольных органов (Роспотребнадзора, Россельхознадзора, Росстраснадзора, ГИБДД, ФТС, ФНС) и всеми операторами перевозочного процесса [5].

В конце 2019 года Советом директоров ОАО «РЖД» утверждена Стратегия цифровой трансформации РЖД. Вся деятельность IT-блока компании и все программы IT-развития теперь связаны единым документом, определяющим концептуальную основу и принципы цифровой трансформации в рамках реализации Долгосрочной программы развития компании до 2025 года. В основе проекта заложены восемь цифровых платформ, объединяющих ключевые бизнес-процессы управления компанией: цифровая платформа мультимодальных пассажирских перевозок, платформа мультимодальных грузовых перевозок, платформа транспортно-логистических узлов, платформа операторов линейной инфраструктуры, платформа логистического оператора электронной коммерции, платформа непроизводственных процессов, платформа управления перевозочным процессом, платформа тягового подвижного состава.

К примеру, ЦФТО и департамент информатизации ОАО «РЖД» совместно с Октябрьской железной дорогой в прошлом году приступили к проработке использования технологии блокчейн в рамках проекта «смарт-контракт грузовых перевозок на платформе «Распределенный реестр данных». Основные задачи проекта – создание единого информационного пространства между участниками грузовых железнодорожных перевозок и обеспечение мониторинга выполнения смарт-контрактов таких отправок на базе платформы блокчейн. Таким образом, еще до начала перевозки все участники в онлайн-режиме оговаривают все нюансы процесса: время поставки груза, сроки подхода подвижного состава, время перевозки, финансовые обязательства и другое [6].

С использованием технологии блокчейн каждый процесс, происходящий между грузоотправителем и перевозчиком, виден онлайн всем участникам перевозки. Все данные хорошо защищены от изменений и потери, что обеспечивается с помощью децентрализованного хранения данных. По мнению экспертов транспортно-логистического рынка, смарт-контракты в логистических цепях должны не просто содержать информацию об обязательствах сторон контракта, но и иметь программный код для подтверждения выполнения условий контракта и автоматического определения действий с указанным активом. Однако, для распространения данной технологии на сети требуется внесение поправок в законодательство и создание нормативной базы для смарт-контрактов в России.

Учитывая вышесказанное, сервис покупки места в контейнере станет неотъемлемой частью развития контейнерного рынка.

В России, благодаря выгодному географическому расположению между Европой и Азией, контейнеризация – безальтернативный путь развития. Основная задача – «подхватить» тренд и продолжать развивать данную отрасль. Развитие цифровых сервисов позволит удержаться на рынке перевозок не только крупным игрокам, но и небольшим транспортным компаниям, стать независимыми от субсидий китайского Правительства и, как следствие, увеличить объём перевозок по международному транспортному коридору «Восток – Запад».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Итоги 2019 [Электронный ресурс] // ФЕЕКО. [сайт]. [2019]. URL: <https://www.fesco.ru/blog/35772/> (дата обращения: 30. 11. 2019)
- 2 Контейнерный рынок РФ в I полугодии вырос на 10 %, до 2, 5 млн TEU // ОАО РЖД. – ([http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE\\_ID=2&layer\\_id=5050&refererLayerId=5049&id=30873](http://press.rzd.ru/smi/public/ru?STRUCTURE_ID=2&layer_id=5050&refererLayerId=5049&id=30873))
- 3 Китай сокращает субсидирование Нового шелкового пути. [Электронный ресурс] // Центр отраслевых стратегий. [сайт]. [2019]. URL: [https://cfts.org.ua/articles/kitay\\_sokraschaet\\_subsidirovanie\\_novogo\\_shelkovogo\\_puti\\_1587](https://cfts.org.ua/articles/kitay_sokraschaet_subsidirovanie_novogo_shelkovogo_puti_1587) (дата обращения: 30. 10. 2019)
- 4 Последняя миля из Франции. [Электронный ресурс] // Гудок. [сайт]. [2019]. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1481741&archive=2019.10.24> (дата обращения: 01. 11. 2019)
- 5 Союзная цифровизация. [Электронный ресурс] // Гудок. [сайт]. [2019]. URL: <https://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1485109&archive=2019.11.21> (дата обращения: 30. 11. 2019)
- 6 РЖД заказали смарт-контракты. [Электронный ресурс] // РЖД-Партнёр. [сайт]. [2019]. URL: <https://www.Rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/rzhd-zakazalo-smart-kontrakty/> (дата обращения: 30. 10. 2019)

УДК 519. 6; 004. 94

### ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ, РЕАЛИЗУЮЩИХ МЕТОДЫ ГЛАВНЫХ И НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ

А. Ю. Лобачев

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Приводятся показатели эффективности параллельных статистических алгоритмов, реализующих методы независимых и главных компонент. Время работы алгоритмов, ускорение и погрешности определены путем проведения вычислительных экспериментов.

**Ключевые слова:** разделение сигналов, алгоритм, главные компоненты, независимые компоненты.

**Abstract.** Performance indicators of parallel statistical algorithms that implement methods of independent and principal components are given. The algorithm operation time, acceleration, and errors are determined by performing computational experiments.

**Keywords:** signal separation, the algorithm, principal components, independent components.

Решение задачи разделения и восстановления сигналов требуется во многих областях практической деятельности: мониторинге, контроле и диагностике технических объектов, связи, сейсмографии, гидроакустике, в медицинской диагностике, обработке речевых сигналов и многих других приложениях. В сложных системах находится множество источников сигналов, недоступных для прямых измерений, а измеренные в доступных точках объектов сигналы представляет собой аддитивную смесь сигналов, поступающих от разных узлов объектов. Использование таких сложных сигналов без разделения и восстановления составляющих их компонент для большинства практических задач не представляется возможным.

Математическая модель образования сигналов описывается системой уравнений типа дискретной свертки (1), где  $m$ -й наблюдаемый сигнал представляет собой аддитивную смесь искаженных каналами сигналов источников и шума [1]

$$x_m(k) = \sum_{n=1}^N \sum_{g=0}^{G-1} h_{mn}(g) s_n(k-g) + y_m(k), \quad (1)$$

где  $x(\omega) = [X_1(\omega), \dots, X_M(\omega)]^T$  – вектор наблюдаемых сигналов, состоящий из фурье-образов сигналов приемников  $x_m(\omega) = \sum_{k=0}^{K-1} x_m(k) * e^{\frac{i2\pi}{K}k\omega}$ ;  $S(\omega) = [S_1(\omega), \dots, S_N(\omega)]^T$  – вектор сигналов источников,

состоящий из фурье-образов сигналов источников  $S_n(\omega) = \sum_{k=0}^{K-1} S_n(k) * e^{\frac{-i2\pi}{K}k\omega}$ ;  $Y(\omega) = [Y_1(\omega), \dots, Y_M(\omega)]^T$  – вектор шума, состоящий из фурье-образов сигналов шума  $Y_m(\omega) = \sum_{k=0}^{K-1} y_m(k) * e^{\frac{-i2\pi}{K}k\omega}$ ,  $h_{nm}(g)$  – элемент  $N \times M$  смешивающей матрицы  $\mathbf{h}(g)$  импульсных характеристик каналов.

Решение задачи разделения источников сигналов сводится к вычислению разделяющей матрицы, которая является равной или близкой по тому или иному критерию матрице, обратной матрице  $h_{nm}(g)$  [1].

$$s_n(k) = \sum_{m=1}^M \sum_{g=0}^{G-1} w_{nm}(g) x_m(k-g), \quad (2)$$

где  $w(g)$  – матрица импульсных характеристик перестраиваемых разделяющих фильтров с импульсными характеристиками  $w_{nm}(g)$ .

Существующие методы статистического разделения (слепые методы) основываются на одном или комбинации нескольких следующих свойств источников сигналов: независимость сигналов (статистическая независимость, некоррелированность источников сигналов и шума), знание законов распределения сигналов (нормальное, равномерное и др.), а также такие свойства как нестационарность (изменение статистических характеристик во времени) [2, 3] и т. д.

Вычислительная сложность статистических алгоритмов решения задачи разделения сигналов велика и для многих приложений имеет порядок  $O(N^3)$ , где  $N$  – число источников сигналов [1, 2], что усложняет практическое применение этих алгоритмов в системах реального времени.

Одним из перспективных направлений повышения производительности при решении сложных задач является использование параллельных алгоритмов и вычислительных систем.

Оценка эффективности применяемых параллельных алгоритмов производится на основе вычисления следующих показателей эффективности [4]: времени и ускорения (speedup)  $S_p$ , эффективности (efficiency)  $E_p$ , а также погрешности и устойчивости алгоритмов [5] в условиях шумов наблюдений.

Целью работы является изучение эффективности параллелизма статистических алгоритмов для решения задач разделения сигналов источников.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи: разработка алгоритмов для реализации на многоядерной вычислительной системе, использующей технологию CUDA [6], разработка программного комплекса для проведения моделирования разделения сигналов, разработка средств анализа эффективности параллелизма.

В работе приводятся результаты вычислительных экспериментов на примерах наиболее распространенных статистических алгоритмов «Анализ независимых компонент» (Independent Component Analysis (ICA)) [7] и «Анализ главных компонент» (Principal component Analysis (PCA)) [8].

Алгоритм ICA применяется в предположении, что аддитивные составляющие являются негауссовыми сигналами, которые статистически независимы друг от друга. Поэтому для разделения источников сигналов необходимо максимизировать меру негауссовости источников. В качестве меры негауссовости может, например, использоваться нормированный эксцесс (куртозис) [7].

Алгоритм PCA один из основных алгоритмов уменьшения размерности данных при наименьших потерях количества информации. Этот алгоритм сводится к вычислению сингулярного разложения матрицы данных или к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы данных [8].

Задача слепой обработки сигналов в общем случае определяется как цифровая обработка сигналов, прошедших линейный канал с неизвестными характеристиками на фоне аддитивных шумов [2, 3].

Для исследования эффективности внедрения параллелизма был разработан программный комплекс, позволяющий определять качественные и количественные оценки эффективности параллельной обработки [9].

В программном комплексе для увеличения масштабируемости параллельных алгоритмов разделения сигналов применяется технология CUDA (Computer Unified Device Architecture) [6], позволяющая создавать недорогие высокопроизводительные параллельные ВС на основе графических процессоров GPU.

Результаты вычислительных экспериментов, определяющие зависимости времени разделения сигналов для последовательных и параллельных вариантов алгоритмов ICA и PCA от числа источников сигналов, приведены на рис. 1. Для последовательных алгоритмов использовалась однопоточная реализация на центральном процессоре CPU, для параллельных – многопоточная реализация с применением графического процессора GPU, имеющего 768 ядер. Количество дискретных отсчетов каждого из сигналов составляет  $1,5 \cdot 10^5$ , относительная погрешность отсчетов сигналов равна 0,1 %. Разделяемые сигналы получены как аддитивная смесь детерминированных и случайных негауссовых сигналов.

Анализируя результаты вычислительных экспериментов, можно сделать вывод, что эффективность параллельной обработки для алгоритма ICA существенно выше по сравнению с алгоритмом PCA. Параллельный алгоритм ICA позволяет на практически на порядок уменьшить время вычислений по сравнению с параллельным алгоритмом PCA. Это объясняется тем, что алгоритм ICA обладает большей степенью параллелизма внутри своих этапов выполнения. Кроме того, из экспериментальных зависимостей на рис. 1 следует, что эффективность параллельной обработки для исследуемых алгоритмов возрастает при увеличении числа источников. Действительно, время выполнения параллельных методов, значительно уменьшается относительно последовательных методов с увеличением количества источников, т. е. параллельные алгоритмы ICA и PCA выгодно применять для задач большой размерности.

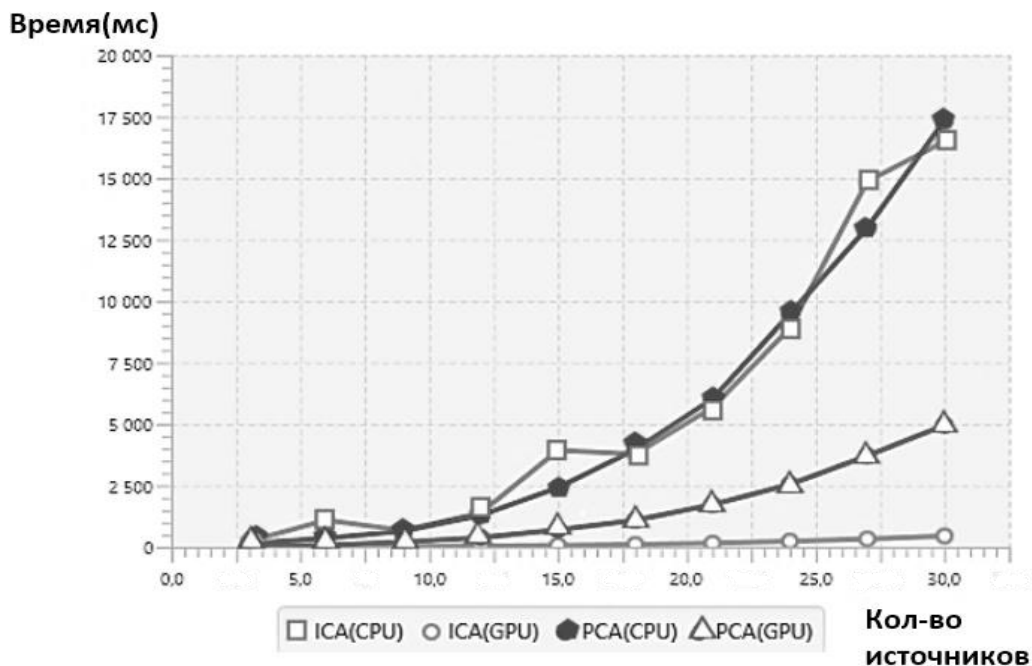


Рис. 1. Экспериментальные зависимости времени разделения сигналов для алгоритмов ICA и PCA от числа источников сигналов

Результаты вычислительных экспериментов, определяющие зависимости времени разделения сигналов для последовательных и параллельных вариантов алгоритмов ICA и PCA от количества дискретных отсчетов в сигналах представлены на рис. 2.

Время(мс)

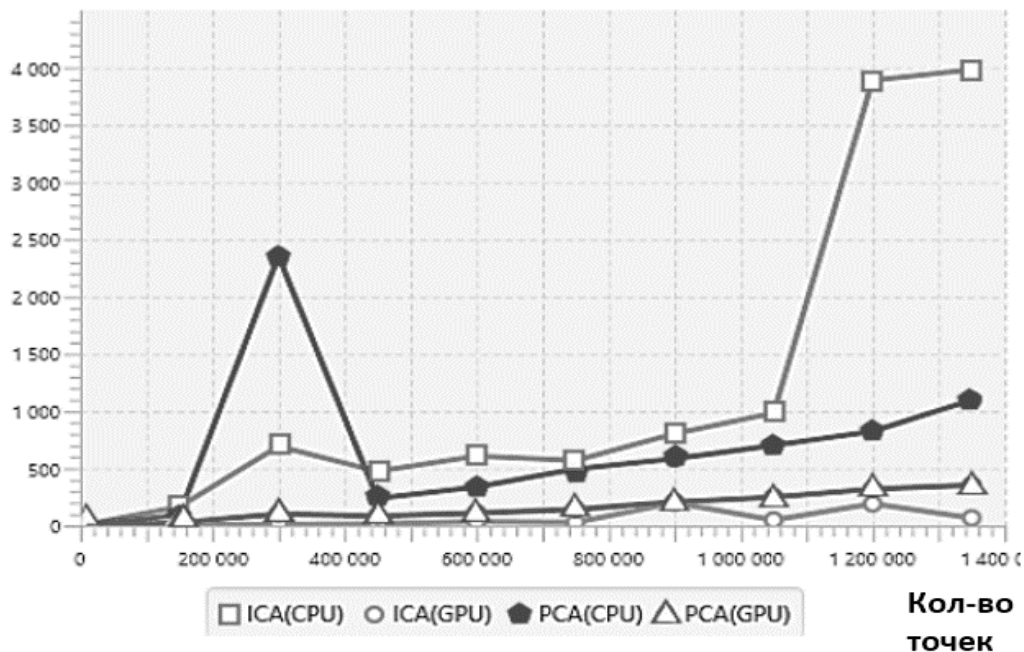


Рис. 2. Экспериментальные зависимости времени разделения сигналов для алгоритмов ICA и PCA от количества дискретных отсчетов сигналов

Для заданного числа источников сигналов, равного 10, количество дискретных отсчетов каждого из сигналов, с относительной погрешностью равной 0,1 %, изменялось в интервале  $2 \cdot 10^5 - 1,4 \cdot 10^6$ .

Приведенные на рис. 2 экспериментальные зависимости показывают, что с увеличением количества отсчетов в сигналах время выполнения параллельных алгоритмов увеличивается практически одинаково. Далее, уменьшение времени разделения сигналов для параллельного алгоритма ICA по сравнению с его последовательным вариантом на порядок больше по сравнению с алгоритмом PCA, что также подтверждает результаты экспериментов на рис. 1.

На рис. 3. приведены результаты исследования зависимости достигаемых параллельными алгоритмами ICA и PCA ускорений  $S_p$  от числа источников сигналов. Условия проведения вычислительных экспериментов аналогичны описанным выше.

Ускорение

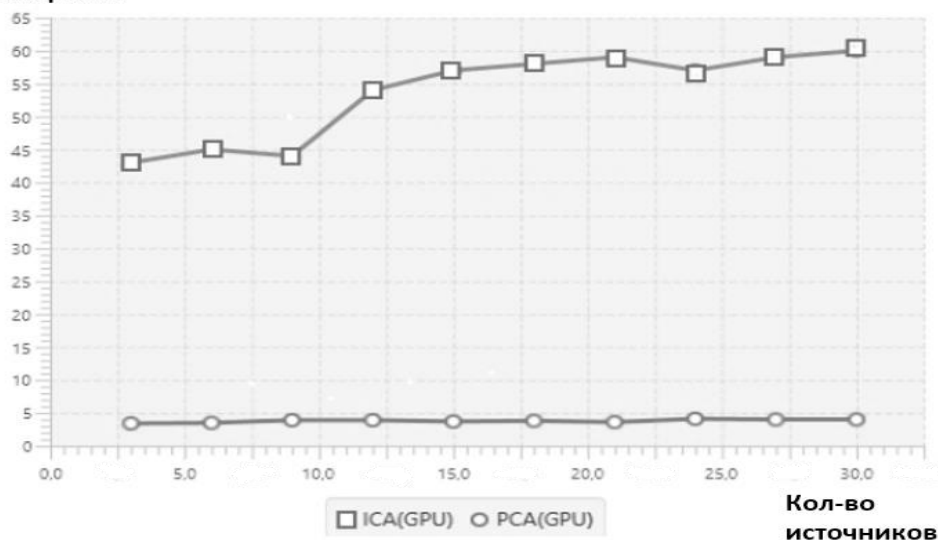


Рис. 3. Экспериментальные зависимости ускорений для параллельных алгоритмов ICA и PCA от числа источников сигналов

Ускорение, достигаемое параллельным алгоритмом ICA значительно выше, чем ускорение параллельного алгоритма PCA, что также следует из результатов выше приведенных экспериментов. Таким образом, эффективность использования процессорных ядер, определяемая отношением величины ускорения и количества ядер, в параллельных алгоритмах ICA существенно больше.

Из общего решения (2) следует, что задача разделения сигналов относится к классу обратных задач, которые в общем случае могут быть некорректными. Из свойства некорректности задачи разделения сигналов следует, что её решение может быть неустойчивым, т. е. малые изменения параметров смешивающей матрицы  $\mathbf{H}(\omega, \mathbf{I})$  или характеристик сигналов  $\mathbf{s}(k)$  источников приводят к недопустимо большим изменениям решения, т. е. неустойчивости вычисления сигналов  $\mathbf{s}(k)$  [10]. Для существования устойчивого решения задачи необходимо, чтобы параметры объекта, описываемого моделью образования сигналов, удовлетворяли ряду априорных ограничений [2, 10], например, смешивающая матрица должна быть обратимой, полиномы, описывающие передаточные функции каналов  $H_{mn}(\omega, \mathbf{I})$  не должны иметь общих корней, число приемников и источников должно быть равным и др.

В реальных условиях априорные ограничения могут быть нарушены, т. к. параметры объекта могут изменяться из-за эволюции объекта во времени, погрешности измерения параметров, неточности изготовления и других причин, которые зачастую невозможно предсказать.

Поэтому исследование влияния на устойчивость решения отклонений вышеперечисленных свойств сигналов источников от априори предполагаемых, так и отклонений требований к характеристикам каналов, являются важными задачами.

Исследование погрешности и устойчивости разделения сигналов производились на тестовых гармонических, треугольных и пилообразных сигналах, сигналах, из которых были получены аддитивные смеси, разделение которых осуществлялось алгоритмами ICA и PCA. Погрешность разделения сигналов определялась путем сравнения спектров исходных и выделенных сигналов (метод SIR). Для определения устойчивости разделения на исходные сигналы накладывался равномерный шум, увеличение энергии которого в разделенных сигналах являлось мерой устойчивости алгоритмов.

Результаты вычислительных экспериментов, представленные в таблицах 1 и 2, указывают на приемлемые для инженерных приложений погрешности и устойчивость алгоритмов

Таблица 1

Результаты исследования зависимости погрешности разделения от уровня шума в сигналах для алгоритма ICA

Уровень шума	Ошибка 1	Ошибка 2	Ошибка 3
0%	4.69%	3.75%	3.70%
5%	5.46%	5.95%	5.74%
10%	17.43%	17.21%	17.53%
15%	21.43%	21.24%	21.53%
20%	35.08%	35.32%	34.87%
25%	38.03%	38.11%	37.73%
30%	44.33%	43.54%	44.47%

Таблица 2

Результаты исследования зависимости погрешности разделения от уровня шума в сигналах для алгоритма PCA

Уровень шума	Ошибка 1	Ошибка 2	Ошибка 3
0%	2.33%	2.61%	2.27%
5%	5.34%	5.55%	5.22%
10%	12.63%	13.55%	14.01%
15%	16.03%	16.45%	16.02%
20%	24.02%	24.42%	24.07%
25%	31.73%	31.21%	32.13%
30%	38.03%	38.54%	38.47%

Результаты исследования алгоритмов разделения сигналов ICA и PCA могут найти применение для решения задач мониторинга и контроля сложных объектов транспортной инфраструктуры. Например, при решении задач подавления помех в сигналах АЛСН [11], мониторинга сооружений и конструкций и другие подобных задач контроля и диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Засов В. А., Тарабардин М. А., Никоноров Е. Н. Алгоритмы разделения и восстановления сигналов на основе многоканальной обратной фильтрации // Вестник Самарского государственного технического университета: серия «Технические науки». – 2009. – № 2 (24). – С. 33–38.
- 2 Горячкин О. В. Методы слепой обработки сигналов и их приложения в системах радиотехники и связи. М.: Радио и связь, 2003. – 230 с.
- 3 Cichocki A. Adaptive blind signal and image processing: Learning algorithms and applications. John Wiley & Sons, Ltd, 2002. – 555 p.
- 4 Гергель В. П. Теория и практика параллельных вычислений: учебное пособие. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. – 423 с.
- 5 Засов В. А., Никоноров Е. Н. Обеспечение робастности разделения сигналов в условиях априорной неопределенности // Математическое моделирование, численные методы и информационные системы: Сборник материалов II Всероссийск. научно-практ конф. – Самара: СMIУ, 2010. – С. 101–109.
- 6 Боресков А. В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: учебное пособие. М.: МГУ, 2012. – 336 с.
- 7 Hyvarinen A., Juha Karhunen, Erkki Oja. Independent Component Analysis, John Wiley & Sons, Ltd., New York, 2001. – 481 p.
- 8 Jolliffe I. T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed., Springer, New York. 2002, XXIX. – 487 p.
- 9 Лобачев А. Ю. Исследование показателей эффективности параллельных статистических алгоритмов разделения сигналов // Наука и образование транспорту: материалы XII Международной научно-практ. конф. – Самара: СамГУПС, 2019. – С. 43–46.
- 10 Засов В. А., Никоноров Е. Н. Регуляризация решения задачи разделения источников сигналов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 1 (25). – С. 79–87.
- 11 Засов В. А., Железнов Д. В., Митрофанов А. Н., Белоногов А. С. Адаптивное подавление помех в приемных устройствах автоматической локомотивной сигнализации // Электротехника. – 2017. – № 3. – С. 18–22.

УДК 681.31, 519.254

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОРЕГРЕССИИ С АДДИТИВНОЙ ПОМЕХОЙ  
В ВЫХОДНОМ СИГНАЛЕ МЕТОДОМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ**

**Д. И. Митрошин, И. Л. Сандлер, Д. В. Иванов**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В данной статье дается обзор метода идентификации параметров авторегрессии с помехой в выходном сигнале методом инструментальных переменных, рассматриваются их достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** метод инструментальных переменных, авторегрессия, параметрическая идентификация, помехи наблюдений в выходном сигнале.

**Abstract.** This article provides an overview of the method of identification of autoregression parameters with interference in the output signal by the method of instrumental variables, their advantages and disadvantages are considered.

**Keywords:** method of instrumental variables, autoregression, parametric identification, interference of observations in the output signal.

Рассмотрим линейную динамическую систему, описываемую стохастическими уравнениями с дискретным временем:

$$z_i = \sum_{m=1}^r b_0^{(m)} z_{i-m} + \xi_1(i), \quad y_i = z_i + \xi_2(i), \quad (1)$$

где  $z_i$ ,  $y_i$  – ненаблюдаемая и наблюдаемая выходные переменные, соответственно;  $\xi_2(i)$  – белое шумное наблюдение в выходном сигнале, для которой  $E\{\xi_2(i)\} = 0$ ,  $E\{(\xi_2(i))^2\} = \sigma_2^2 > 0$ , где  $E$  – оператор математического ожидания.



Введем обозначения:

- вектора параметров:  $\theta = [b^{(1)}, \dots, b^{(r)}]^T$ ,
- регрессионного вектора:  $\varphi_i = [y_{i-1}, \dots, y_{i-r}]^T$ ,
- вектора ненаблюдаемых значений:  $\varphi_i^{(0)} = [z_{i-1}, \dots, z_{i-r}]^T$ ,
- вектора помех:  $\tilde{\varphi}_i = [\xi_2(i-1), \dots, \xi_2(i-r)]^T$ ,
- расширенного регрессионного вектора:  $\bar{\varphi}_i = [-y_i \mid \varphi_i^T]^T$ ,
- расширенного вектора ненаблюдаемых значений:  $\varphi_i^{(0)} = [z_{i-1}, \dots, z_{i-r}]^T$ ,
- расширенный вектор помех:  $\bar{\tilde{\varphi}}_i = [-\xi_2(i) - \xi_2(i) \mid \tilde{\varphi}_i^T]^T$ ,
- вектора ненаблюдаемых значений:  $\varphi_i^{(0)} = [-z_i \mid (\varphi_i^{(0)})^T]^T$ ,
- ковариационной матрицы:  $R_\varphi = E[\varphi_i \varphi_i^T]$ .

Система может быть записана как линейная регрессия

$$y_i = \varphi_i^T \theta + \varepsilon_i, \quad (2)$$

где помеха описывается уравнением

$$\varepsilon_i = \xi_1(i) + \xi_2(i) - \sum_{m=1}^r b_0^{(m)} \xi_2(i-m). \quad (3)$$

Основная модель – линейная регрессия (2), (3). Предположим, что существует вектор  $\psi_i$  такой что

- $\psi_i$  некоррелирован с шумом  $\varepsilon_i$ .
- $\psi_i$  хорошо коррелирован с регрессором  $\varphi_i$ .

Оценка инструментальных переменных может быть найдена как

$$\hat{\theta}_{IV} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i \varphi_i^T \right)^{-1} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i y_i \right), \quad (4)$$

Однако (4) часто дает неудовлетворительные оценки из-за того, что матрица  $P_i^{-1}$  бывает плохо обусловленной. Для улучшения точности оценок размерность вектора инструментальных переменных берется больше размерности регрессионного вектора  $\dim \psi_i > r$ . Оценка для расширенного метода инструментальных переменных может быть найдена [1]:

$$\hat{\theta}_{EIV} = -(\hat{R}_{\psi\varphi} W \hat{R}_{\psi\varphi})^{-1} (\hat{R}_{\psi\varphi} W \hat{r}_{\psi y}), \quad (5)$$

где  $W$  – положительная определенная матрица, оптимальный выбор матрицы предложен в [2];

$$\hat{R}_{\psi\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i \varphi_i^T, \quad \hat{r}_{\psi y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \psi_i y_i.$$

**Достоинства:** методы инструментальных переменных имеют малую вычислительную сложность.

**Недостатки:** достаточно часто методы инструментальных переменных демонстрируют неудовлетворительную точность оценивания из-за слабой корреляции  $\psi_i$  и  $\varphi_i$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Söderström T., Stoica P. Instrumental Variable Methods for System Identification. Springer– Verlag, Berlin, 1983.
- 2 Stoica P., Cedervall M., Eriksson A. Combined instrumental variable and subspace fitting approach to parameter estimation of noisy input– output systems. IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 43, P. 2386–2397, 1995.

## WEB -СЕРВИС МСИ НА ОСНОВЕ МЕТОДИКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

А. Н. Михайлова

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В данной статье рассмотрены проблемы обработки данных межлабораторных сравнительных испытаний. Представлена методика статистической обработки и представления данных характеризующих работу лабораторий, а также решение для автоматизации процесса расчета результатов МСИ.

**Ключевые слова:** испытания, лаборатории, измерения.

**Abstract.** This article discusses the problems of processing data from inter– laboratory comparative tests. Methodology for statistical processing and reporting of ICT performance.

**Key words:** tests, laboratories, measurements.

Метрология – основа качества производимых товаров и процессов, именно ей принадлежит ключевая роль в развитии научного и технического прогресса.

На фоне необходимости взаимного признания результатов измерений в рамках международной системы оценки соответствия была разработана единая и основополагающая база для прозрачной и надежной инфраструктуры измерений и испытаний в достижении соответствия объекта оценки соответствия предписанным спецификациям. Поставщиками данных измерений являются испытательные и калибровочные лаборатории, компетентность которых подтверждается путем аккредитации. Квалификацию лабораторий проверяют с помощью оценки деятельности лабораторий по предварительно установленным критериям путем межлабораторных сравнительных испытаний.

Межлабораторные сравнительные испытания (МСИ) – организация, выполнение и оценка измерений или испытаний одних и тех же или аналогичных образцов в двух или более лабораториях в соответствии с заданными условиями.

На сегодняшний день на рынке программного обеспечения отсутствует веб– приложение, которое осуществляло бы решение задач централизованной, единой системы передачи, хранения и статистической обработки данных для компании ОАО «РЖД». В связи с этим для магистерской диссертации я выбрала тему «Web-сервис МСИ на основе методики для проведения статистической обработки данных».

Данное веб-приложение позволит автоматизировать процесс расчета результатов межлабораторных сличительных (сравнительных) испытаний по методике (описание методики представлено ниже), а также предоставит возможность хранения и обмена результатами испытаний.

Методика статистической обработки и представления данных характеризующих работу лабораторий основана на ГОСТ Р ИСО 13528 и приведена на рисунке 1.

Web -сервис МСИ будет включать в себя следующие модули:

- модуль статистической обработки данных (результатов межлабораторных сличительных (сравнительных) испытаний);
- модуль формирования отчетности и анализа;
- модуль администратора;
- модуль документооборота;
- модуль лаборатории;
- модуль координатора МСИ.

На первом этапе будут реализованы модули статистической обработки данных и формирования отчетности и анализа.

Модуль статистической обработки данных будет реализован согласно следующему алгоритму на основании ГОСТ Р ИСО 13528 (данные получены в условиях повторяемости и воспроизводимости при одинаковом количестве испытаний во всех лабораториях):



Рис. 1. Методика статистической обработки и представления данных, характеризующих работу лабораторий

1. Координатор выбирает количество лабораторий и число результатов измерений необходимых исходя из рекомендации, что при выборе количества лабораторий должен соблюдаться компромисс между наличием ресурсов и желанием уменьшить неопределенность оценок до достаточного уровня, а также с учетом рекомендаций ГОСТ объекта исследования;
2. Обработка полученных данных испытаний от участвующих в МСИ лабораторий.
3. Определение приписного значения и его стандартной неопределенности на основе робастного алгоритма в соответствии ГОСТ Р ИСО 13528;
4. Определение стандартного отклонения оценки компетентности в соответствии п. 6. 6 ГОСТ Р ИСО 13528. В данном случае стандартное отклонение оценки компетентности равно робастному стандартному отклонению.
5. Проверка неопределенности приписного значения в соответствии с п. 4. 2 ГОСТ Р ИСО 13528 по неравенству. Если неравенство выполняется, то переходим к интерпретации результатов экспериментальной проверки, представленной в 6 –м пункте, иначе при интерпретации результатов экспериментальной проверки перейдем к пункту 7.
6. Вычисление статистики характеризующую работу лабораторий в соответствии ГОСТ Р ИСО 13528 п. 7. 4. «z – индекс»;
7. Вычисление статистики характеризующую работу лабораторий в соответствии ГОСТ Р ИСО 13528 п. 7. 6. «z' – индекс»;
8. Представление статистики по результатам проверки в виде штрихового графика в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13528 п. 8. 3. «Штриховые графики»;
9. Сообщение результатов участникам.

Таким образом, с учетом всех вышеперечисленных требований будет реализована статистическая обработка данных. Автоматизация данного алгоритма в рамках веб– сервиса значительно упростит жизнь всем заинтересованным лицам, а также уменьшит трудозатраты и повысит уровень надежности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ Р ИСО 13528 – 2010 Статистические методы. Применение при экспериментальной проверке компетентности посредством межлабораторных сравнительных испытаний (ISO 13528: 2005 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons).

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ЗАЯВОК  
НА РАЗРАБОТКУ СХЕМ КРЕПЛЕНИЯ ГРУЗОВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ  
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

**Е. В. Морозова**

г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** Статья посвящена разработке автоматизированной системы принятия заявок для перевозки на ЖД транспорте с реализованной возможностью для заказчика в режиме онлайн отправить заявку и по требуемым характеристикам получить примерную схему расположения груза на ЖД транспорте.

**Ключевые слова:** автоматизированная система, крепление грузов, регистрация заявок, перевозки на ж.-д. транспорте.

**Abstract.** The article is devoted to the development of an automated system for accepting requests for transportation on railway transport with the implemented possibility for the customer to send an online request and obtain an approximate scheme of cargo location on railway transport according to the required characteristics.

**Key words:** automated system, cargo securing, registration of applications, transportation on railway transport.

Часто бывает такое, что малым или крупным организациям требуется перевозка грузов. Бывают такие грузы, что привычным видом перевозки, то есть на автотранспорте, нет возможности перевезти. Также на выбор способа перевозки могут влиять такие факторы, как стоимость и логистика связи между отправной точкой и точкой назначения. Если выбор заказчика пал на перевозку ЖД транспортом, то каким образом происходит данный процесс сложно представить. В этом помогают специальные сервисы, которые наглядным образом показывают весь процесс перевозки.

В ходе анализа предметной области ниже представлены термины и определения, которые требуются для реализации и полного понимания темы.

Вагон – единица подвижного состава. Колесный экипаж открытого или закрытого типа, оборудованный всем необходимым для перевозки грузов и пассажиров.

Вагоны могут быть разных типов. Каждый тип вагонов используется по специальному назначению, которое зависит от специфики груза: его габаритов и массы, его агрегатного состояния, необходимости защиты от внешних воздействий и некоторых других факторов.

Основные типы вагонов: крытый, полувагон, платформа, хоппер, бункер, цистерна.

Железнодорожный груз – груз, принятый и оформленный железной дорогой к перевозке, за доставку и сохранность которого железная дорога несет предусмотренную законодательством ответственность [1].

Транспортная классификация грузов – упорядоченная совокупность грузов по какому-либо признаку, определяющему особенности транспортного процесса. В транспортной классификации все грузы сгруппированы в три группы: сухогрузы, наливные грузы, живность.

Каждая группа делится на подгруппы, объединяющие грузы, сходные по их транспортным характеристикам и условиям перевозки. Сухогрузы можно разделить на три подгруппы: навалочные грузы, сыпучие грузы, генеральные грузы.

К наливным относятся жидкие грузы, перевозимые наливом в цистернах и бункерных полувагонах. Из всех перевозимых железнодорожным транспортом наливных грузов 90 % составляет сырая нефть и нефтепродукты (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут и др.), 10 % – пищевые грузы (спирт, вино, растительные масла и др.) и химические (кислоты, щелочи, сжиженные газы и др.). Наливные грузы делятся на неопасные (первозимые на общих основаниях) и опасные.

К живности относятся крупный и мелкий рогатый скот, свиньи, лошади, дикие звери, птицы всякие, живая рыба, раки и пчелы [2].

Цель работы – разработать автоматизированную систему принятия заявок для перевозки на ЖД транспорте.

Главным преимуществом данной системы является возможность заказчика в режиме онлайн отправить заявку и по требуемым характеристикам получить примерную схему расположения груза на ЖД транспорте.

Разработка системы будет производиться по технологии ASP. NET. Microsoft. NET Framework- это платформа для создания, развертывания и запуска веб-сервисов и приложений. Она предоставляет вы-

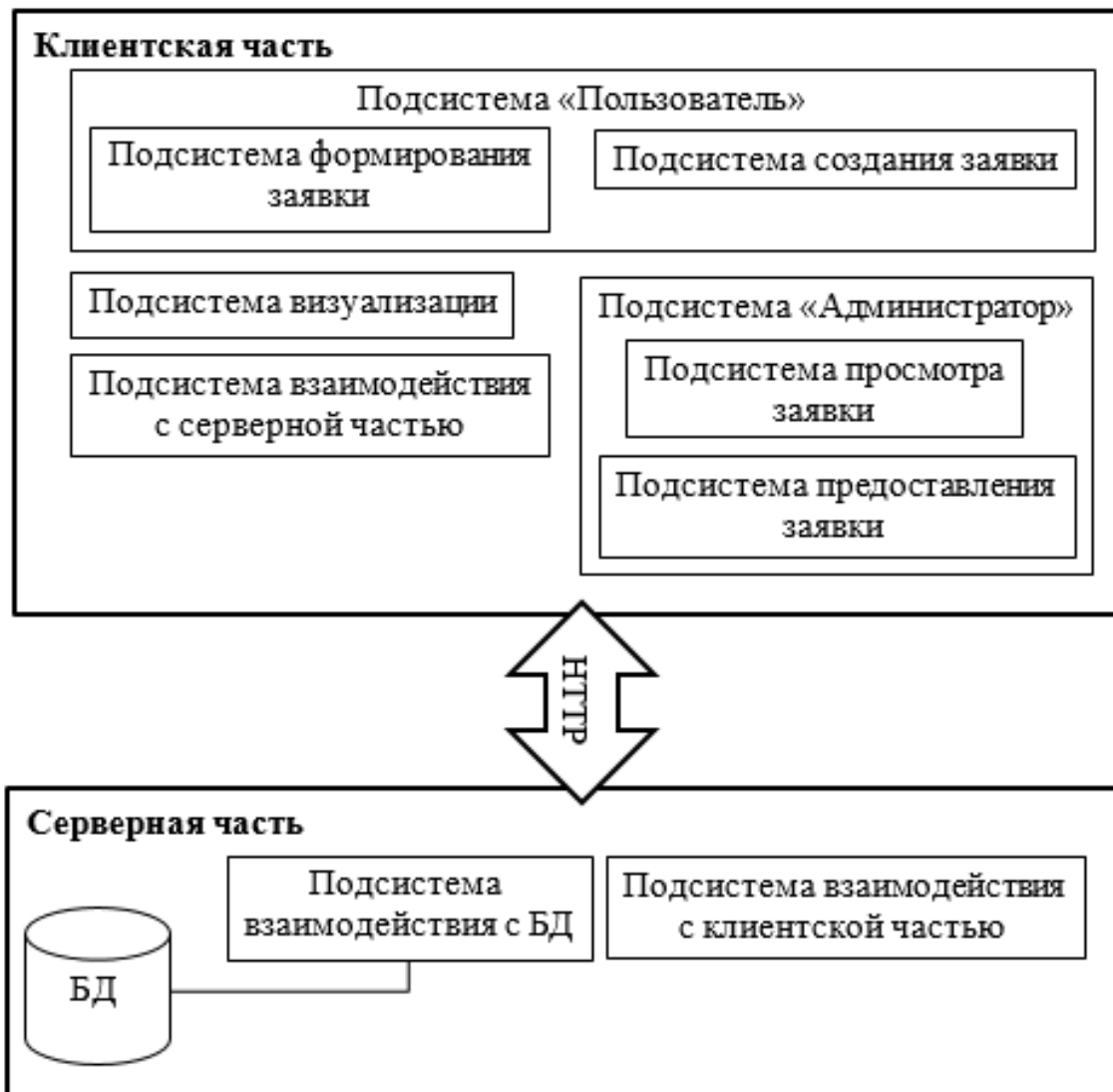
сокопроизводительную, основанную на стандартах, многоязыковую среду, которая позволяет интегрировать существующие приложения с приложениями и сервисами следующего поколения, а также решать задачи развертывания и использования интернет-приложений. NET Framework состоит из трех основных частей – общезыковой среды выполнения (common language runtime), иерархического множества унифицированных библиотек классов и компонентной версии ASP, называемую ASP.NET.

ASP.NET – это часть технологии .NET, используемая для написания мощных клиент– серверных интернет приложений. Она позволяет создавать динамические страницы HTML. ASP. NET возникла в результате объединения более старой технологии ASP (активные серверные страницы) и .NET Framework. Она содержит множество готовых элементов управления, используя которые можно быстро создавать интерактивные веб-сайты [3, 4].

Согласно приведенным выше методологиям был проведен подробный анализ предметной области, в результате которого были выявлены основные принципы расположения и крепления грузов на ЖД транспорте. Также была проанализирована система аналог «Схемы погрузки» и выявлены основные ее достоинства и недостатки.

На основании описанных выше данных была выбрана архитектура и спроектирована структурная схема системы, которая представлена на рисунке 1, спроектирована логическая модель базы данных (рис. 2) и выбраны технологии для реализации системы.

Рис. 1. Структурная схема системы



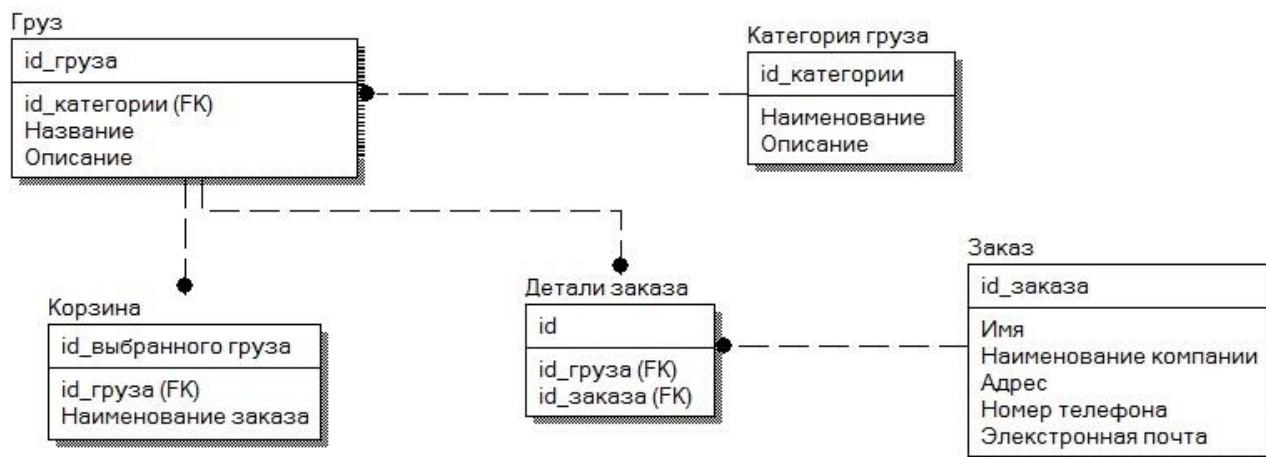


Рис. 2. Логическая модель базы данных

Благодаря структурной схеме и логической модели базы данных, была составлена спецификация требований и перечень исключительных ситуаций. Также по методологии UML были разработаны диаграммы вариантов использования, классов, состояний и последовательностей. С помощью данных диаграмм были рассмотрены все функциональные возможности системы и разработаны необходимые экранные формы, основные из которых представлены на рисунках 3–4.

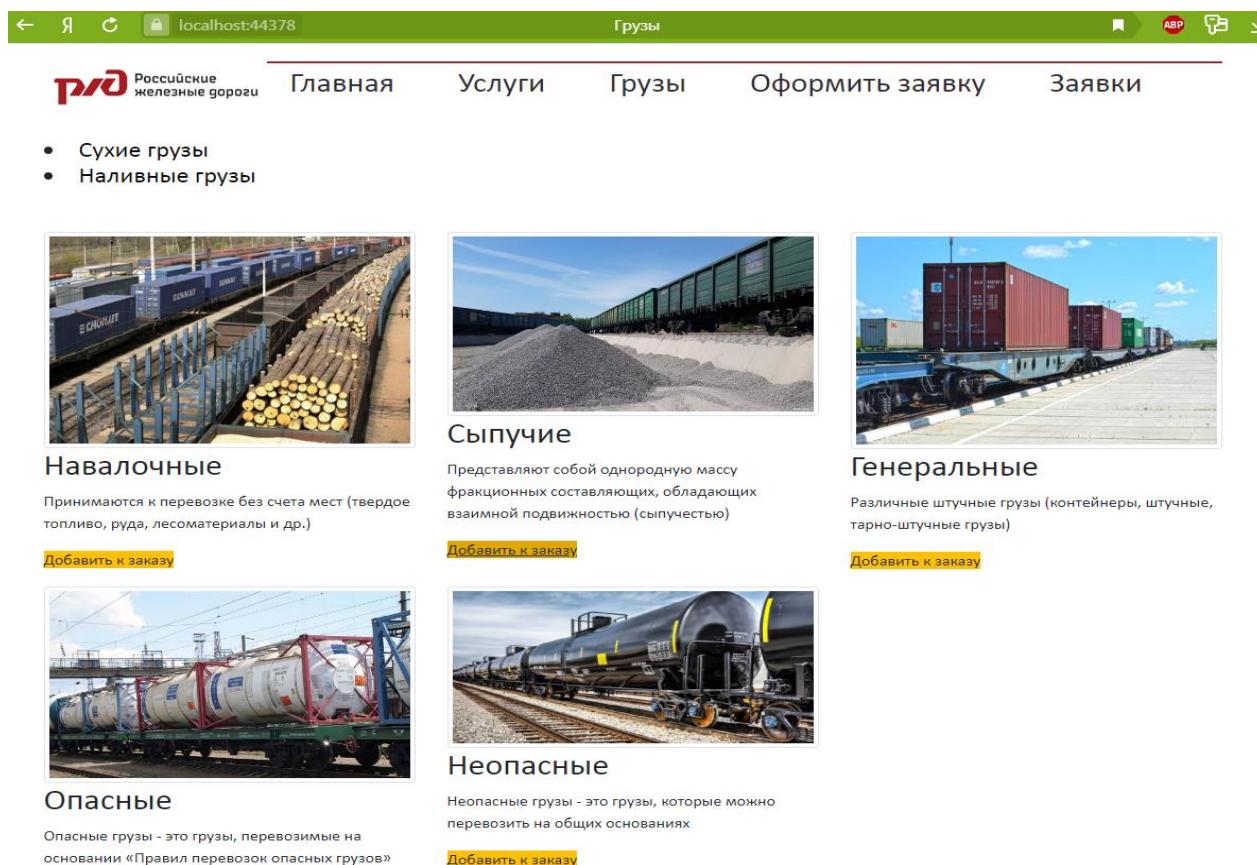


Рис. 3. Главная страница сайта

На данной странице пользователь сможет ознакомиться со всеми доступными грузами к перевозке. Также просмотреть все грузы по категориям. После выбора груза при нажатии кнопки «Добавить к заказу» будет открываться страница «Оформления заявки», где будет отображаться весь список выбранных грузов.

Оформление заказа

Введите имя  
Екатерина

Введите наименование компании  
ОАО СтройМатериал

Введите адрес  
Московское шоссе 3

Введите контактный телефон  
89276980984

Введите e-mail  
StroyMaterial@mail.ru

Завершить заказ

© 2019 Морозова Екатерина · [Вернуться вверх](#)

Рис. 4. Страница оформления заявки

При нажатии кнопки «Оформить заявку» будет появляться страница «Оформления заказа», в которой пользователь должен заполнить все поля и нажать на кнопку «Завершить заказ» для отправки заявки в базу данных. После обработки всех требований на электронную почту пользователя будет направлено письмо с примерной схемой расположения груза на ЖД транспорте.

Таким образом, данная система должна стать кроссплатформенным веб-приложением, которое будет помогать пользователю в режиме онлайн направлять заявку на разработку схем крепления грузов для перевозки на ЖД транспорте.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Большой словарь – Железнодорожный груз [Электронный ресурс]. URL: [https://big\\_economic\\_dictionary.academic.ru/3103](https://big_economic_dictionary.academic.ru/3103) (дата обращения: 19. 11. 2019).
- 2 Транспортная классификация [Электронный ресурс]. URL: <https://poisk-ru.ru/s44339t3.html> (дата обращения: 10. 12. 2019).
- 3 ASP. NET [Электронный ресурс] // Интернет технологии. ru: [сайт]. URL: <https://www.internet-technologies.ru/> (дата обращения: 20. 09. 2019).
- 4 Додонов М. В. Автоматизированная система согласования расписаний международных контейнерных поездов в рамках проекта «один пояс – один путь»// Мехатро– ника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно– практической конференции (Самара, 23–24 апреля 2019 г. ). – Самара: СамГУПС, 2019. С. 43– 47

УДК 681. 5; 625. 15

#### АВТОМАТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ ПЕРЕСЕЧЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА КОММУНИКАЦИЯМИ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. А. Никищенков, В. Н. Самсонов, П. Б. Романова, Я. В. Дорофеев

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы автоматизации актуальных задач в области опасных пересечений полотна железнодорожного пути с нефтепроводами и газопроводами. Приведены сведения о нефтегазовой инфраструктуре Самарского региона. Представлен проект по созданию цифрового атласа пересечений, включающий их паспортизацию на основе информационных технологий и направленный на обеспечение мониторинга состояния объектов и их своевременное техническое обслуживание.

**Ключевые слова:** Пересечения железнодорожного полотна, нефтепроводы и газопроводы, паспортизация, цифровизация, проект цифрового атласа

**Abstract.** The article deals with the automation of urgent tasks in the field of dangerous intersections of the railway track with oil and gas pipelines. Information on the oil and gas infrastructure of the Samara region is provided. A project is presented to create a digital atlas of intersections, including their certification on the basis of information technology and aimed at ensuring monitoring of the state of objects and their timely maintenance.

**Keywords:** Railroad crossing, oil and gas pipelines, certification, digitalization, digital atlas design

Актуальность автоматизации широкого спектра задач и внедрения цифровых технологий в сфере пересечений полотна железной дороги определена следующими факторами:

- 1) приоритетными направлениями развития ОАО «РЖД» [1];
- 2) недостаточной проработкой указанных вопросов в существующих АСУ и ИС, эксплуатируемых в дирекциях и службах дорог;
- 3) сосредоточением взрывоопасных пересечений на полигоне Куйбышевской железной дороги – филиала ОАО «РЖД».

В Поволжском регионе развернута самая крупная в России система трубопроводного транспорта (рис. 1) и разветвленная сеть газопроводов (рис. 2).

В 2019 г. исполнилось 30 лет со дня крупнейшей в истории России и СССР железнодорожной катастрофы, произошедшей 4 июня 1989 года в Иглинском районе Башкирской АССР в 11 км от города Аши на перегоне Аша – Улу – Теляк в результате утечки нефтегазовой смеси и взрыва, мощность которого была сопоставима с ядерным взрывом в Хиросиме [2].

На Куйбышевской железной дороге карточки на пересечения железнодорожного полотна элементами инфраструктуры сторонних организаций заводятся вручную и в рамках регламентов ЕКА-СУИ, в т. ч. для взрывоопасных пересечений (газопроводы и нефтепроводы). В них содержатся данные: расположение пересечения на перегоне; продукт транспортировки; техническая характеристика трубопровода (границы охранной зоны, границы опасной зоны, рабочее давление, диаметр труб, диаметр футляра); техническая характеристика пересекаемой железной дороги (число путей, тип земляного полотна, высота насыпи, расстояние от подошвы рельса до верха футляра); дата и номер согласования; год ввода в эксплуатацию; владелец; эксплуатирующая организация; гарантийный срок эксплуатации; отключающая автоматика при утечке; газоанализаторы; наличие документации; составитель карточки; дата составления.

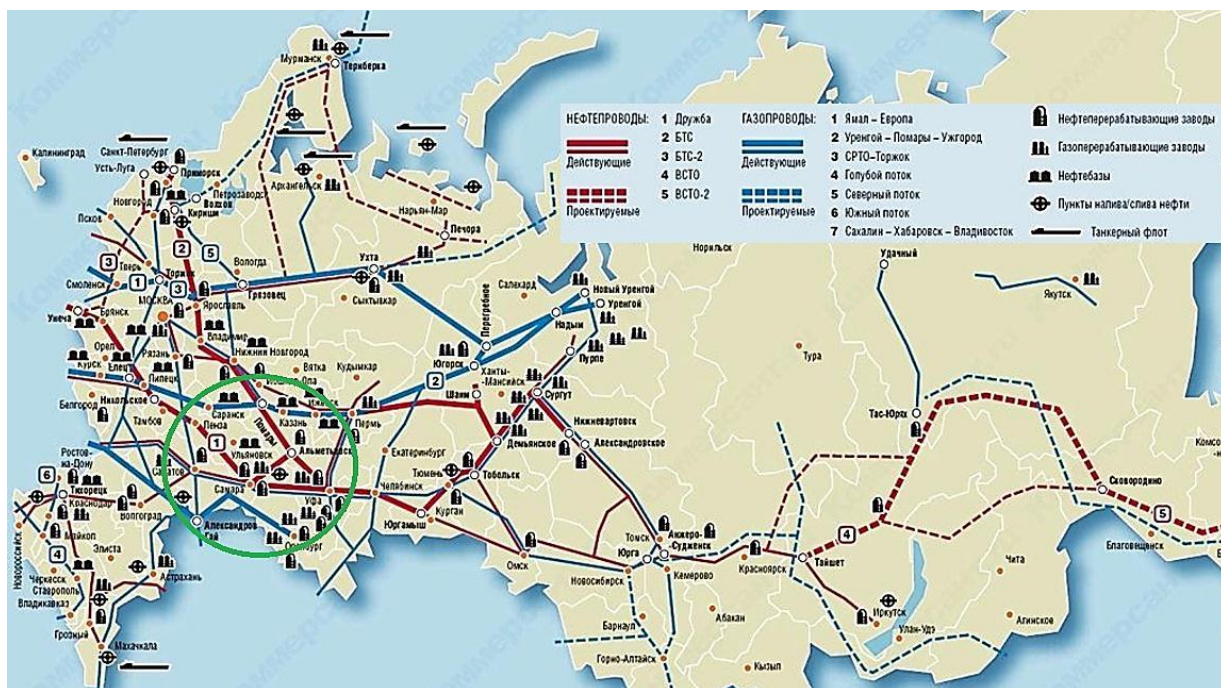


Рис. 1. Нефтегазовая инфраструктура России





Рис. 2. Укрупненная схема газопроводов ООО «Газпром трансгаз Самара»

В 2016–2018 гг. СамГУПС выполнил ряд НИОКР по автоматизации процессов согласования и выдачи технических условий на пересечения железнодорожного полотна коммуникациями организаций и примыкания путей необщего пользования к путям общего пользования железных дорог [3, 4]. В развитие этой актуальной тематики научных и практических работ был предложен масштабный проект по разработке региональной (национальной) автоматизированной системы комплексного контроля безопасности пересечений железнодорожного полотна взрывоопасными коммуникациями предприятий нефтегазодобывающего комплекса на основе цифровых технологий («Цифровой атлас опасных пересечений»).

Основной целью проекта является повышение надежности и безопасности движения поездов вследствие уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций в местах опасных пересечений за счёт цифрового мониторинга состояния, своевременного обслуживания объектов и мест расположения [5–7]. К решаемым задачам относятся:

- 1) разработка и актуализация комплексного описания опасных пересечений железнодорожного полотна в виде цифрового стандартизированного паспорта;
- 2) информационное и технологическое сопровождение деятельности железной дороги по управлению процессами взаимодействия с предприятиями региона при планировании текущего содержания и проведении работ в зоне пересечений;
- 3) обеспечение оперативного и регулируемого доступа причастных подразделений и работников к информации о пересечениях для выполнения ими предписанных действий по обеспечению требований безопасности;
- 4) автоматизированная обработка существующих паспортов пересечений и выдача напоминаний и предупреждений о необходимости проведения регламентных работ;
- 5) обеспечение взаимодействия с отраслевыми информационными системами для ввода первичных данных о пересечениях и их корректировки;
- 6) разработка схематичного визуального представления расположения пересечений на основе геоинформационных технологий.

В результате реализации проекта должна быть создана многофункциональная многопользовательская единая автоматизированная система комплексного контроля безопасности пересечений железнодорожного полотна взрывоопасными коммуникациями предприятий нефтегазодобывающего комплекса на основе цифровых технологий («Цифровой атлас опасных пересечений»), удовлетворяющая следующим требованиям:

- 1) соответствие Концепции проекта «Цифровая железная дорога» и государственной платформе «Цифровая экономика»;
- 2) обеспечение отраслевых стандартов по конфиденциальности сведений и защите служебной информации;

3) интегрированная среда разработки, базирующаяся на отечественных программных продуктах.

В качестве заказчиков и партнеров по проекту планируется привлечение Минтранса РФ, ФАЖТ, ОАО «РЖД», АО НИИАС, со стороны нефтегазовой отрасли – ПАО «Транснефть», ПАО «Газпром», ПАО «Газпромнефть».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Розенберг Е. Н., Уманский В. И., Дзюба Ю. В. Цифровая экономика и цифровая железная дорога // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 5 (72). – С. 45–49.
- 2 Спасали всем Союзом. 30 лет трагедии под Ашой [Электронный ресурс]. URL: <https://mir24.tv/articles/16364256> (Дата обращения: 25. 02. 2020).
- 3 Никищенков С. А., Карпович В. А., Лизогуб Ю. В., Пацев А. В. Информационная система формирования и выдачи технических условий пересечения железной дороги и примыкания путей // Вестник СамГУПС. – 2017. – № 3 (37). – С. 9–15.
- 4 Никищенков С. А. Атлас примыканий будет оцифрован // Гудок. – 2017. – Выпуск № 31 (26170).
- 5 Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. – М. : ООО «Техинформ», 2012. – 520 с.
- 6 Свод правил СП 227. 1326000. 2014 Пересечения железнодорожных линий с линиями транспорта и инженерными сетями. Дата введения 01. 12. 2014. Утвержден приказом Минтранса России № 333 от 2 декабря 2014 года.
- 7 Геоинформационные и спутниковые технологии. [Электронный ресурс] URL: <http://www.vniias.ru/geoinfomiationnye-tehnologii> (Дата обращения: 25. 02. 2020).

УДК 621. 436: 629. 425

### АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ЗА РАСХОДОМ МОТОРНОГО МАСЛА НА АВТОНОМНЫХ ЛОКОМОТИВАХ

С. А. Петухов, Л. С. Курманова, Д. С. Чинченко

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе предложена автоматизированная система контроля расхода моторного масла на тепловозах, которая позволит выявлять техническое состояние тепловоза по косвенным признакам анализа смазочных материалов.

**Ключевые слова:** локомотив, моторные масла, контроль расхода, автоматизированная система.

**Abstract.** The paper proposes an automated system for monitoring the consumption of engine oil on locomotives, which will allow to identify the technical condition of the locomotive by indirect signs of the analysis of lubricants.

**Key words:** locomotive, motor motors, flow control, automated system.

Железнодорожный транспорт – один из крупнейших в стране потребителей минеральных масел и, в первую очередь, моторных масел для автономных локомотивов (рис. 1). В ОАО «РЖД» на долю локомотивного хозяйства ежегодно приходится около 140 тыс. т смазочных масел и смазок (это свыше 100 наименований) [1, 2]. От качества моторного масла и системы его применения во многом зависит надежность и межремонтные пробеги автономных локомотивов. Кроме того, масло – уникальный носитель информации о состоянии дизеля, изнашиваемости его трущихся деталей, работе агрегатов масляной системы, попадании внешних загрязнителей. Отсюда ясно, какое большое значение должно придаваться на железных дорогах применению моторного масла. В связи с этим, железнодорожным транспортом предъявляются высокие требования к двигателестроительной и нефтеперерабатывающей промышленности, как по расходу масла, так и по его качеству.

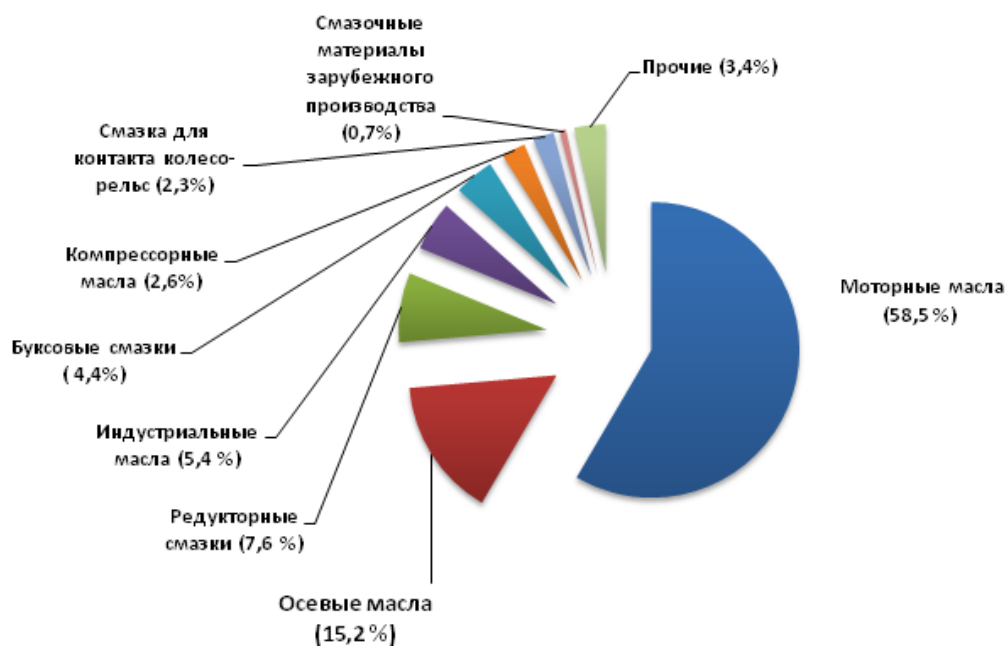


Рис. 1. Потребление смазочных материалов ОАО «РЖД»

Так по данным заводов– изготовителей, для наиболее распространенных тепловозных дизелей в соответствии с ТУ на поставку удельный расход масла составляет: 10Д100 (10ДН 20,72×25,4) – 4,08 г/(кВт·ч); ПД1М (6ЧН 31/33) – 4,0 г/(кВт·ч); 11Д45 (16ДН 23/30) – 2,72 г/(кВт·ч); 1А5Д49 (16ЧН 26/26) – 1,76 г/(кВт·ч).

Однако в практике эксплуатации дизелей на тепловозах этими показателями пользоваться невозможно. Тепловозные дизели из-за специфических условий их использования значительную часть времени работают на холостом ходу (ХХ), на дробных частичных нагрузках, и только от 0, 2 до 10 % (в зависимости от конкретных условий обслуживаемого участка) – на номинальной мощности. Кроме того, из-за необходимости в поездной работе частого изменения мощности и частоты вращения коленчатого вала, до 20 % общего времени работы дизеля приходится на переходные процессы [3, 4]. В связи с этим нормирование и анализ расхода моторных масел на тепловозах производится в процентах от расхода дизельного топлива. Хотя такой метод имеет серьезные недостатки, он всё же наиболее приспособлен к резко переменным режимам работы тепловозов.

В то же время, было бы правильным, учитывая специфические особенности режимов эксплуатации тепловозных дизелей, ввести в ТУ показатель – расход масла на ХХ в процентах к расходу дизельного топлива.

Общий расход моторного масла существенно зависит от установленного срока его службы между плановыми заменами. За последние годы нормативный срок службы масла в дизелях существенно повысился, что позволило снизить расход остродефицитного и дорогостоящего масла без ухудшения состояния дизелей.

В то же время заводы – изготовители устанавливают для тепловозных дизелей, находящихся в пределах гарантийного пробега, значительно меньшие сроки службы масла (табл. 1).

Таблица 1

Сроки службы моторного масла, устанавливаемые заводами-изготовителями

Серия тепловоза	Тип дизеля	Срок службы масла до смены, установленный	
		Заводом изготовителем	ОАО «РЖД»
2ТЭ10	10Д100	100 тыс. км	На текущих ремонтах ТР– 2 и ТР– 3 (115 тыс. км)
ТЭМ2	ПД1М	6 месяцев	На текущих ремонтах ТР2 и ТР3 (15 мес. )
2ТЭ116	1А5Д49	100 тыс. км	100 тыс. ум

В обоснованном повышении срока службы масла в тепловозных дизелях заложен важный резерв его экономии. Одним из эффективных путей решения этой проблемы может быть дозированный ввод присадок в масло в процессе его работы [5–7]. В то же время значительная доля общего расхода моторного масла приходится на досрочную замену из-за достижения бракованных значений основных

его параметров. В связи с этим фактический средний срок службы масла в дизелях тепловозов ниже установленного инструкциями ОАО «РЖД» и заводов – изготовителей (табл. 2).

Таблица 2

Фактический средний срок службы масла в дизелях тепловозов		
Серия тепловоза	Тип дизеля	Фактический средний срок службы масла
2ТЭ10М	10Д100	83 тыс. км
ТЭМ2	ПД1М	7, 3 мес.
2ТЭ116	1А5Д49	40, 8 тыс. км

Для того чтобы следить за расходом моторного масла, выявлять дизели, дающие перерасход, активно вмешиваться и своевременно принимать меры по устранению причин перерасхода, необходимо иметь оперативные данные о расходе моторного масла в процентах от расхода топлива по каждой секции тепловоза.

Примерная схема автоматизированной системы контроля за расходом моторного масла на тепловозах показана на рис. 2.

Первичными документами в сервисных локомотивных депо (СЛД) для составления отчета служат акты о приемке топлива и нефтепродуктов (форма ФМУ–7), журнал учета поступающего топлива и нефтепродуктов (форма ФМУ–5), суточные ведомости отпуска топлива, смазочных материалов на локомотивы (форма ФМУ–23), журнал ведомости учета расхода масел и смазок на стационарные установки (форма ТХУ–8); журнал оборота топлива и смазочных материалов на базе топлива (форма ТХУ–11).

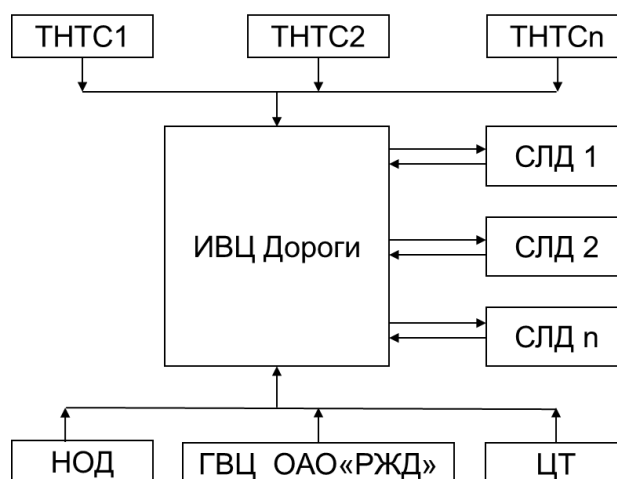


Рис. 2. Схема автоматизированной системы контроля за расходом моторного масла в тепловозах

В этой схеме предусматривается ежедневное поступление информации в информационно– вычислительный центр дороги (ИВЦ) от всех баз топлива и нефтепродуктов и СЛД полной информации о всех наборах дизельного топлива и моторного масла на каждую секцию тепловоза. Информация о пробегах тепловозов вводится из депо (СЛД) ежемесячно. После обработки на ЭВМ из ИВЦ выдается выходная информация:

- расход моторного масла по каждой секции тепловоза (в процентах к расходу дизельного топлива) по сравнению с нормой и ежемесячно усредненные данные в целом по приписному парку и отдельно по каждой секции тепловозов о расходе масла в процентах к расходу топлива и на 100 км пробега;

- данные о каждой секции тепловоза, перерасходующей масло, и ежемесячно по каждому депо и отдельно в целом усредненные данные о расходе масла в процентах от расхода топлива с разбивкой по секциям тепловозов;

- усредненные данные по каждому депо, отделению и дороге в целом по всему приписному парку и каждой серии тепловозов о расходе моторного масла в процентах от расхода дизельного топлива и на 100 км пробега, номера тепловозов, работающих с перерасходом масла, данные о причинах досрочной замены по депо, дороге в целом и по сериям тепловозов в процентах и число таких замен масла на 1 млн. км пробега;

– усредненные данные о расходе моторного масла в процентах от расхода дизельного топлива и на 100 км пробега в целом по всему парку дороги и по каждой секции тепловозов, данные о причинах досрочной замены масла по сериям тепловозов по причинам в процентах и на 1 млн км пробега.

Как было сказано выше, моторное масло – ценный носитель информации о техническом состоянии дизеля. Поэтому на сети железных дорог разработана и действует система технической диагностики состояния тепловозных дизелей и прогноза их безаварийной работы. Базой для этой системы является физико-химический и спектральный (на содержание Fe, Pb, Cu, Sn, Al, Si, Na) анализ масла. Входной контроль смазочных материалов осуществляют химико-технические лаборатории железных дорог. В настоящее время на сети функционирует 165 лабораторий, которые ежегодно анализируют свыше 5 млн проб. Отбор проб на анализ производится на каждом техническом обслуживании ТО–3 и текущих ремонтах. Данные о результатах физико-химического и спектрального анализов проб масла вводятся ИВЦ дороги, где обрабатываются по специальным программам, после чего в депо приписки передаётся диагноз состояния дизеля по каждому контролируемому узлу (с оценкой состояний: нормальное, повышенный износ, аварийное) и прогноз его дальнейшей работы. Достоверность прогноза по различным узлам дизеля составляет 0,85– 0,96 % . Такая система позволяет улучшить техническое состояние тепловозного парка.

Анализ этих данных позволяет выявить депо, в которых сложилось неблагоприятное положение с расходом масла, а в самом депо установить серии тепловозов, на которых чаще всего досрочно меняется масло, и причины этого. Это позволит добиться существенного сокращения непроизводительных расходов моторного масла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Курманова Л. С., Петухов С. А. Автоматизированная система контроля качества ремонта и технического обслуживания локомотивов // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Самара, 2019. – С. 74–77.
- 2 Курманова Л. С., Петухов С. А. Автоматизированные системы управления производством в локомотивном хозяйстве // Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте: материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Самара, 2019. – С. 78–81.
- 3 Петухов С. А., Курманова Л. С. Система смазки двигателя внутреннего сгорания // Патент на полезную модель РФ № 185418 по кл. F01M5/02 от 05. 07. 2017. Опубликовано 04. 12. 2018. Бюл. № 34.
- 4 Курманова Л. С., Петухов С. А. Разработка саморегулирующейся системы смазки транспортного двигателя // Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы международной научно-практической конференции. 2018. – С. 323–326.
- 5 Курманова Л. С., Петухов С. А. Эффективность применения модифицированного моторного масла в транспортных дизелях // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Том I / Пензенский ГАУ. – Пенза : РИО ПГАУ, 2018. – С. 181–184.
- 6 Петухов С. А. Оценка влияния металлоплакирующей присадки «Ресурс» на работу дизеля тепловоза ЧМЭЗ // Вестник СамГУПС. – 2009. – № 5– 1. – С. 120а–123.
- 7 Petukhov S. A., Kurmanova L. S., Erzamaev M. P. Transport diesels oil system operation efficiency increase // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. – 2019. – Т. 2. – № 434. – С. 79–85.

УДК 519. 254. 1

#### ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ГАММЕРШТЕЙНА ПРИ НАЛИЧИИ АВТОКОРРЕЛИРОВАННОЙ ПОМЕХИ

Е. А. Полтева, Д. В. Иванов

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Предложен алгоритм идентификации нелинейных динамических систем класса Гаммерштейна с полиномиальной нелинейностью при наличии автокоррелированных помех. Результаты численных экспериментов показали высокую эффективность предложенного алгоритма идентификации.

**Ключевые слова:** разность дробного порядка; белый шум; метод полных наименьших квадратов (ПМНК); система класса Гаммерштейна; выходная ошибка.

**Annotation.** An algorithm is proposed for identifying nonlinear dynamical systems of the Hammerstein class with polynomial nonlinearity in the presence of autocorrelated noise. The results of numerical experiments showed the high efficiency of the proposed identification algorithm.

**Keywords:** fractional difference; White noise; full least squares method (FLSM); Hammerstein class system; output error.

**Введение.** Нелинейные динамические объекты обладают нелинейными и динамическими свойствами, которые тесно переплетены, и порой их невозможно четко разделить. Для упрощения задачи исследуемый нелинейный динамический объект представляют в виде некоторого сочетания безынерционных нелинейных блоков и линейных динамических элементов. Подбор наилучшего сочетания линейных и нелинейных блоков, а также их параметров, эквивалентен синтезу модели, описывающей исследуемый объект с требуемой точностью.

Под объектами типа Гаммерштейна принято понимать объекты, состоящие из последовательно соединённых статических нелинейных объектов (СНЭ) и динамических линейных элементов (ДЛЭ).

Данные модели могут быть использованы для моделирования различных процессов [1, 2, 3], а также в обработке сигналов [4]. Модели Гаммерштейна также могут быть полезны для задач управления [5]. Идентификации моделей класса Гаммерштейна на основе модификаций полного метода наименьших квадратов посвящены работы [6, 7].

В данной статье рассматривается алгоритм идентификации модели Гаммерштейна с полиномиальной нелинейностью при наличии автокоррелированных помех.

**Постановка задачи.** Нелинейная система класса Гаммерштейна описывается стохастическими уравнениями:

$$\begin{aligned} z_i &= \sum_{m=1}^{r_1} b^{(m)} z_{i-m} + \sum_{m=0}^r a^{(m)} \sum_{j=1}^k c^{(j)} x_{i-m}^j \\ y_i &= z_i + \xi_i \end{aligned} \quad (1)$$

где  $z_i, y_i$  – ненаблюдаемая и наблюдаемая выходные переменные;  $x_i$  – наблюдаемая переменная;  $\xi_i$  – помеха наблюдения в выходном сигнале.

Пусть выполнены следующие предположения:

1. Систем (1) является устойчивой.
2. Вектор входных переменных удовлетворяет условию постоянного возбуждения.
3.  $\{x_i\}$  статистически не зависят от  $\{\xi_i\}$ ;
4. Пусть выполняются следующие условия:

$$N^{-1} \sum_{i=1}^N \xi_i \xi_{i+m} \xrightarrow{N \rightarrow \infty} h_\xi(m) < \infty \quad (2)$$

Введем следующие обозначения:

$$\sigma^2 = h_\xi(0), \quad h_\xi(0) = h_\xi(0) / \sigma^2,$$

$$\varphi_\xi^{(i)} = (\xi_i, \dots, \xi_{i-r_1})^T, \quad - \text{ вектор } (r_1 + 1) \times 1,$$

матрица

$$N^{-1} \sum_{i=1}^N \varphi_\xi^{(i)} (\varphi_\xi^{(i)})^T \xrightarrow{N \rightarrow \infty} \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & (h)^T \\ h & H \end{pmatrix} \quad (3)$$

положительно определенная,

где  $h = \sigma^2 (h(1), \dots, h(r_1))^T$  – вектор  $r_1 \times 1$ ,

$$H = \begin{pmatrix} 1 & \dots & h(r_1 - 1) \\ \vdots & & \vdots \\ h(r_1 - 1) & \dots & 1 \end{pmatrix} - \text{ матрица } r_1 \times r_1.$$

Требуется определить оценки неизвестных коэффициентов динамической системы описываемой уравнением (1) по наблюдаемым последовательностям  $b^{(m)}, a^{(m)}, c^{(j)}$ , при неизвестных порядках  $k, r, r_1$ .

**Алгоритм идентификации.** В работе предложено обобщение алгоритма [8] на случай динамических систем класса Гаммерштейна при наличии автокоррелированной помехи в выходном сигнале:

1. На первом этапе определяются оценки параметров расширенной модели  $\hat{\theta}$ , где:

$$\theta = (\theta_b | \theta_{ac})^T = (b^{(1)} \dots b^{(r)} | a^{(1)} c^{(1)} \dots a^{(r)} c^{(1)}, a^{(1)} c^{(2)} \dots a^{(r)} c^{(2)}, a^{(1)} c^{(k)} \dots a^{(r)} c^{(k)})^T$$

2. На втором этапе производится разделение параметров  $a^{(m)}, c^{(j)}$  с помощью сингулярного разложения

$$\varphi_i = (y_{i-1}, \dots, y_{i-r} | x_i \dots x_{i-r}, \dots, x_i^k \dots x_{i-r}^k)^T$$

При неограниченных условиях на сигнал и независимых помехах можно показать, что оценки, полученные по приведенному ниже критерию, являются сильно состоятельными:

$$\min_{\theta} \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \varphi_i^T \theta)^2}{1 + \theta_b^T H \theta_b - 2h^T \theta_b} \quad (4)$$

**Теорема 1.** Пусть некоторый случайный процесс  $\{y_i, i = \dots -1, 0, 1, \dots\}$  описывается уравнением (1) с начальными нулевыми условиями и выполняются предположения 1–4. Тогда оценки  $\hat{\theta}$ , определяемые выражением (4) с вероятностью 1 при  $N \rightarrow \infty$ , существуют, единственные и являются сильно состоятельными оценками.

Для решения задачи (1) воспользуемся формулой:

$$\hat{\theta} = (\Phi^T \Phi - \sigma^2 S)^{-1} (\Phi^T Y - \sigma^2 h), \quad (5)$$

где  $S = \begin{pmatrix} H_{r1 \times r1} & 0_{r1 \times kr} \\ 0_{kr \times r1} & 0_{kr \times kr} \end{pmatrix}$ ,  $\Phi^T = \begin{pmatrix} \varphi_1^T \\ \vdots \\ \varphi_N^T \end{pmatrix}$ ,  $Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_N \end{pmatrix}$ .

В статье предлагается использовать расширенную систему эквивалентную смещенной нормальной системе (5).

$$A\bar{v} = \bar{d}, \quad (6)$$

или

$$\begin{pmatrix} I & 0 & \Phi \\ 0 & I & j\sigma L \\ \Phi^T & j\sigma L^T & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v \\ \omega \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y \\ 0 \\ \sigma \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $H = LL^T$  – разложение Холецкого.

$L$  – нижняя треугольная матрица со строго положительными элементами на диагонали.

**Заключение.** В статье предложен алгоритм идентификации нелинейной динамической системы класса Гаммерштейна с полиномиальной нелинейностью при наличии автокоррелированных помех. Результаты численных экспериментов показали высокую эффективность предложенного алгоритма идентификации, по сравнению с классическим методом наименьших квадратов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Korenberg M. J. Recent advances in the identification of nonlinear systems: Minimum-variance approximation by hammerstein models // Proc. IEEE EMBS, vol. 13, 1991, pp. 2258–2259.
- 2 Westwick D. and Kearney R. Identification of a hammerstein model of the stretch reflex EMG using separable least squares // Proc. World Congr. Medical Physics and Biomedical Engineering, Chicago, IL, 2000.
- 3 Eskinat E., Johnson S. H. and Luyben W. L. Use of Hammerstein models in identification of nonlinear systems // AIChE J., vol. 37, no. 2, pp. 255–268, 1991.
- 4 Stapleton J. C. and Bass S. C. Adaptive noise cancellation for a class of nonlinear dynamic reference channels // IEEE Trans. Circuits Syst., vol. CAS-32, no. 2, pp. 143–150, Feb. 1985.
- 5 Lang Z. H. Controller design oriented model identification method for Hammerstein systems // Automatica, vol. 29, pp. 767–771, 1993.

- 6 Иванов Д. В., Иванов А. В. Идентификация систем Гаммерштейна дробного порядка с полиномиальной нелинейностью при наличии дробного белого шума // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2018. – Т. 23. – № 123. – С. 395–401.
- 7 Иванов Д. В., Усков О. В. Рекуррентное оценивание параметров динамических систем класса Гаммерштейна с локально автокоррелированной помехой в выходном сигнале // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 6 (30). – С. 53–59.
- 8 Baia E. W. An optimal two– stage identification algorithm for Hammerstein-Wiener nonlinear systems // Automatica. 1998. Vol. 34. № 3. P. 333–338.

УДК 681. 31, 519. 254

## ТЕСТИРОВАНИЕ РЕКУРРЕНТНОГО АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ МНОГОМЕРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗНОГО ПОРЯДКА С ПОМЕХАМИ ВО ВХОДНЫХ СИГНАЛАХ

И. Л. Сандлер

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация:** В данной статье предлагается рекуррентный алгоритм оценивания параметров многомерных дискретных линейных динамических систем разного порядка с ошибками по входу, описываемые белым шумом. Получаемые оценки при помощи стохастического градиентного алгоритма минимизации квадратичных форм являются сильно состоятельными.

**Ключевые слова:** разный порядок, рекуррентное оценивание параметров, сильно состоятельные оценки, линейная динамическая система, помехи в входных сигналах.

**Abstract:** this paper proposes a recurrent algorithm for estimating the parameters of multidimensional discrete linear dynamical systems of different order with input errors described by white noise. The estimates obtained by the stochastic gradient algorithm for minimizing quadratic forms are strongly consistent.

**Keywords:** miscellaneous, recursive parameter estimation, strongly consistent estimators of the linear dynamic system, the noise in the input signals.

Рассмотрим многомерную линейную дискретную динамическую систему разного порядка, описываемая разностным уравнением, при наличии помех наблюдений во входных сигналах с  $i = \dots -1, 0, 1, \dots$ :

$$z_i^{(n)} - \sum_{m=1}^{\bar{r}_m} b_0^{(mm)}(n) z_{i-m}^{(n)} = \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq n}}^{\bar{r}_n} \sum_{m=1}^{\bar{r}_m} b_0^{(ml)}(n) z_{i-m}^{(l)} + \sum_{j=1}^d \sum_{m=0}^{\bar{r}_m} a_0^{(mj)}(n) x_{i-m}^{(j)}, \quad (1)$$

$$w_i^{(j)} = x_i^{(j)} + \xi_2^{(j)}(i),$$

где,  $n = \overline{1, k}$ ,

$z_i^{(l)}$  – ненаблюдаемые выходные сигналы,  $l = \overline{1, k}$ ;

$k$  – число выходных переменных;

$b_0^{(ml)}(n), a_0^{(mj)}(n)$  – параметры линейного разностного уравнения;

$w_i^{(j)}, x_i^{(j)}$  – наблюдаемые и ненаблюдаемые входные сигналы,  $j = \overline{1, d}$ ;

$d$  – число входных переменных;

$\xi_2^{(j)}(i)$  – помеха наблюдений в  $j$ -ом входном сигнале.

Пусть выполняются следующие предположения:

1<sup>0</sup>. Множество  $\tilde{B}$ , которому априорно принадлежат истинные значения параметров устойчивой линейной системы, является компактом.



2<sup>0</sup>. Помеха  $\{\xi_2^{(j)}(i)\}$  статистически независимая последовательность и стационарная в совокупности в узком смысле с  $E(\xi_2^{(j)}(i))=0$ ,  $E\left[\{\xi_2^{(j)}(i)\}^2\right]=\left(\sigma_2^{(j)}\right)^2 > 0$  и для некоторых постоянных,  $\pi_{\xi_2^{(j)}}: \left|\xi_2^{(j)}(i)\right| < \pi_{\xi_2^{(j)}}$ , где  $E$  – оператор математического ожидания.

3<sup>0</sup>.  $\{x_i^{(1)}, \dots, x_i^{(d)}\}$  статистически не зависят от  $\{\xi_2^{(j)}(i)\}$ .

4<sup>0</sup>. Последовательности  $\{x_i^{(j)}\}$  – стационарные в совокупности в узком смысле с дробно – рациональной плотностью случайные сигналы с  $E\left[\left(x_i^{(j)}\right)^2\right] > 0$  и для некоторого  $\pi_x^{(j)} > 0: \left|x_i^{(j)}\right| < \pi_x^{(j)}$  п. н.

5<sup>0</sup>. Выполняются условие несократимости полиномов

$$B^{(n)}(q^{-1}) = 1 - \sum_{m=1}^{\bar{r}_m} b_0^{(nm)} \cdot q^{-m},$$

$$A^{(j)}(q^{-1}) = \sum_{m=0}^{r_{nj}} a_0^{(mj)} \cdot q^{-m},$$

$$B^{(l)}(q^{-1}) = \sum_{m=1}^{\bar{r}_{lj}} b_0^{(ml)} \cdot q^{-m},$$

где,  $q^{-1}$  – оператор сдвига назад,  $q^{-1}x_i = x_{i-1}$

Требуется рекуррентно определить оценки неизвестных коэффициентов динамической системы, описываемых уравнением (1) по наблюдаемым последовательностям  $\{z_i^{(l)}\}$ ,  $\{w_i^{(j)}\}$ .

В [ 1 ] показано, что оценки будут сильно состоятельные при следующем критерии:

$$\min_{\substack{\frac{b(n)}{a(n)} \in \bar{B}}} \lim_{i \rightarrow \infty} E \left[ \frac{\left[ y_i^{(n)} - \left( \frac{b(n)}{a(n)} \right)^T \left( \frac{Z_{\bar{r}_{nk}}(i-1)}{W_{\bar{r}_{nd}}(i)} \right) \right]^2}{\left( \sigma_1^{(n)} \right)^2 + a^T(n) D_2(n) a(n)} \right] \quad (2)$$

где,

$$Z_{\bar{r}_{nk}}(i-1) = \left( z_{\bar{r}_{nk}}^{(n)T} \dots z_{\bar{r}_{nk}}^{(k)T} \right)^T,$$

$$W_{\bar{r}_{nd}}(i) = \left( w_{\bar{r}_{nd}}^{(1)T} \dots w_{\bar{r}_{nd}}^{(d)T} \right)^T,$$

$$z_{\bar{r}_{nd}}^{(l)}(i) = \left( z_{i-1}^{(l)}, \dots, z_{i-\bar{r}_{nd}}^{(l)} \right)^T,$$

$$w_{\bar{r}_{nj}}^{(j)}(i) = \left( w_i^{(j)}, \dots, w_{i-\bar{r}_{nj}}^{(j)} \right)^T,$$

$$D_2(n) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Xi_{\bar{r}_n}(i) \cdot \Xi_{\bar{r}_n}^T(i),$$

$$\Xi_{\bar{r}_n}(i) = \left( \Xi_{\bar{r}_{n1}}^T(i) \dots \Xi_{\bar{r}_{nd}}^T(i) \right)^T,$$

$$\Xi_{\bar{r}_{nj}}(i) = \left( \xi_2^{(j)}(i), \dots, \xi_2^{(j)}(i - \bar{r}_{nj}) \right)^T,$$

$$b(n) = \left( \left( b^{(n)}(n) \right)^T \dots \left( b^{(k)}(n) \right)^T \right)^T,$$

$$a(n) = \left( \left( a^{(1)}(n) \right)^T \dots \left( a^{(d)}(n) \right)^T \right)^T, \quad l \neq n,$$

$$b^{(l)}(n) = \left( b^{(1l)}(n), \dots, b^{(\bar{r}_{nl})}(n) \right)^T,$$

$$a^{(j)}(n) = \left( a^{(0j)}(n), \dots, a^{(\bar{r}_{nj})}(n) \right)^T,$$

Тогда оценки неизвестного вектора параметров  $\begin{pmatrix} \hat{b}_i(n) \\ \hat{a}_i(n) \end{pmatrix}$  можно получить с помощью стохастически

градиентного алгоритма:

$$\begin{bmatrix} \left| \frac{\hat{b}_{i+1}(n)}{\hat{a}_{i+1}(n)} \right| = \left| \frac{\hat{b}_i(n)}{\hat{a}_i(n)} \right| - \alpha_i \nabla_{\left( \frac{b(n)}{a(n)} \right)} \left[ \frac{\left( y_{i+1}^{(n)} - \left| \frac{\hat{b}_i(n)}{\hat{a}_i(n)} \right|^T \left| \frac{Z_{r_{nk}}(i+1)}{W_{r_{nd}}(i+1)} \right| \right)^2}{\omega(\hat{b}_i(n), \hat{a}_i(n))} \right] \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $1 + a_i^T(n) \frac{D_2(n)}{(\sigma_1^{(n)})^2} a_i(n) = \omega(\hat{b}_i(n), \hat{a}_i(n))$ ,

$\alpha_i$  – последовательность, для которой выполняется условие.

$$b^0 \cdot \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i = \infty, \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_i^t < \infty, \text{ при } t > 1$$

Пусть динамическая система описывается уравнением (1) и выполняются предположения  $1^0 - 6^0$

тогда оценки, определяемые алгоритмом (3) либо  $\left| \frac{\hat{b}_i(n)}{\hat{a}_i(n)} \right| \xrightarrow{i \rightarrow \infty} \left| \frac{b_0(n)}{a_0(n)} \right|$  п. н, либо  $\left| \frac{\hat{b}_i(n)}{\hat{a}_i(n)} \right| \xrightarrow{i \rightarrow \infty} \infty$

Дальнейшей разработкой является создание программной реализации алгоритма (3), обобщением на случай автокоррелированных помех [2–5].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кацюба О. А. Козлов Е. В. Оценивание параметров многосвязных разного порядка линейных динамических систем при наличии помех во входных и выходных сигналах в условиях априорной неопределенности // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические Науки». – 2010. – № 2 (26). – С. 52–59.
- 2 Кацюба О. А., Иванов Д. В. Идентификация параметров многомерных по входу линейных динамических систем с помехами во входных и выходном сигналах методом стохастической аппроксимации // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – Т. 38. – № 4. – С. 15–19.
- 3 Рекуррентное оценивание параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем при наличии автокоррелированных помех во входных и выходных сигналах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2016. – С. 14–27.
- 4 Сандлер И. Л. Рекуррентный алгоритм оценивания параметров многомерной линейной динамической системы разного порядка при наличии нестационарных автокоррелированных помех в выходных сигналах // Identification systems. Theory and applications Proceedings of the International scientific and practical conference. Publishing House Science and Innovation Center, Ltd. 2015. – С. 11–16.
- 5 Sandler I. L. Recursive estimation of autoregression parameters multivariate linear discrete dynamical systems of different orders in the presence nonstationary autocorrelated noise in the output signal // Innovation and quality in information technology and data analysis: Proceedings of the International scientific and practical conference 2016. – С. 129–132.

УДК 629. 4

### ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ КОРРЕКТИРОВКИ ПЛАНОВОЙ НОРМЫ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Е. А. Сидорова, С. О. Подгорная

г. Омск, Омский государственный университет путей сообщения

Рациональное потребление топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) базируется на правильном определении их потребности. Расход ТЭР на выполнение локомотивами или мотор-вагонным подвижным составом единицы перевозочной работы называется удельным расходом ТЭР на тягу поез-

дов (УРЭ) и является ключевым показателем энергетической эффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте [1].

Основой для определения потребности в энергоресурсах является плановая норма удельного расхода ТЭР, представляющая собой расчетное значение удельных энергозатрат на выполнение тяговым подвижным составом единицы планового объема перевозочной работы с учетом заданий по показателям использования локомотивов, а также соблюдения требований по их техническому содержанию [2].

Завышенная или заниженная плановая норма УРЭ приводит к необоснованному перерасходу энергоресурсов, снижению эффективности их использования. Объективная норма УРЭ отражает реально достижимый уровень энергопотребления и в сочетании с системами стимулирования способствует повышению качества выполняемых работ.

С течением времени планового периода появляются данные о фактических результатах выполнения перевозочного процесса, что позволяет по окончании промежуточных отчетных отрезков времени (квартал, полугодие, 9 месяцев) выполнить прогнозирование энергопотребления на оставшуюся часть планового периода и весь период в целом. Для оценки достоверности прогнозных значений УРЭ и их соответствия установленным плановым нормам в каждом виде движения определяют расхождение прогнозного и планового значений по формуле:

$$\delta_k = \left( \frac{\tilde{b}_k}{b_k^{\text{пл}}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (1)$$

где  $\tilde{b}_k$ ,  $b_k^{\text{пл}}$  – прогнозное значение и плановая норма УРЭ в  $k$ -м виде движения в целом на рассматриваемый период соответственно.

Полученное значение  $\delta_k$  сравнивается с максимально допустимым значением расхождения  $\delta_{\text{max}}$ , которое устанавливается на соответствующем уровне производственной иерархии исходя из условий выполнения перевозочного процесса. Если  $|\delta_k| \leq \delta_{\text{max}}$ , то корректировка плановой нормы УРЭ, установленной в  $k$ -м виде движения, не выполняется.

Если  $|\delta_k| > \delta_{\text{max}}$ , то при принятии решения о необходимости корректировки плановой нормы УРЭ в  $k$ -м виде движения целесообразно учитывать динамику и специфику выполнения перевозочного процесса в базовом периоде – прошлом календарном периоде, аналогичном периоду прогнозирования. При этом предлагается следующая методология.

По отчетным данным на момент осуществления прогнозирования УРЭ определяются соотношения:

$$\tilde{\delta}_k = \frac{b_{k \text{ ч.п}}^{\phi}}{\tilde{b}_k} \cdot 100, \quad (2)$$

$$\delta_k^{\text{пл}} = \frac{b_{k \text{ ч.п}}^{\phi}}{b_k^{\text{пл}}} \cdot 100, \quad (3)$$

$$\delta_k^{\text{баз}} = \frac{b_{k \text{ ч.п}}^{\text{баз}}}{b_k^{\text{баз}}} \cdot 100, \quad (4)$$

где  $b_{k \text{ ч.п}}^{\phi}$  – фактическое значение УРЭ за прошедшую часть планового периода;  $b_{k \text{ ч.п}}^{\text{баз}}$  – фактическое значение УРЭ за часть базового периода, аналогичную прошедшей части планового периода;  $b_k^{\text{баз}}$  – фактическое значение УРЭ в целом за базовый период.

На основе полученных по выражениям (2) – (4) значений определяются их взаимные расхождения по формулам:

$$\tilde{\delta}_k^{\text{пл}} = \left| \tilde{\delta}_k - \delta_k^{\text{пл}} \right|, \quad (5)$$

$$\tilde{\delta}_k^{\text{баз}} = \left| \tilde{\delta}_k - \delta_k^{\text{баз}} \right|. \quad (6)$$

Если  $\tilde{\delta}_k^{\text{баз}} < \tilde{\delta}_k^{\text{пл}}$ , то плановая норма УРЭ в соответствующем виде движения на прогнозный период должна быть скорректирована в установленном ОАО «РЖД» порядке. В противном случае плановая норма УРЭ в уточнении не нуждается.

Определение необходимости корректировки плановой нормы УРЭ в целом по структурному подразделению осуществляется аналогично.

Приведем пример оценки необходимости корректировки плановой нормы УРЭ, значение которой для структурного подразделения  $N$  в целом на год установлено на уровне 107,7 кВт·ч/10 тыс. т·км брутто. Пусть от начала планового периода прошло шесть месяцев, следовательно, имеются данные о фактических показателях перевозочного процесса, на основе которых выполняется прогнозирование УРЭ в соответствии с принятыми в ОАО «РЖД» методиками. Прогнозное значение УРЭ на год составило 104,2 кВт·ч/10 тыс. т·км брутто. Расхождение установленной плановой нормы и прогнозного значения УРЭ определяется по формуле (1):

$$\delta = \left( \frac{104,2}{107,7} - 1 \right) \cdot 100 = -3,2 \text{ \%}.$$

Как правило, в ОАО «РЖД» максимально допустимое значение расхождения  $\delta_{\text{max}}$  принимается равным 3 %. Полученное расчетное значение  $|\delta|$  превышает установленное ограничение  $\delta_{\text{max}}$ , поэтому необходимость корректировки плановой нормы определяется на основе сравнительного анализа соотношений фактических значений УРЭ в текущем и базовом периодах  $b_{k \text{ ч.п}}^{\text{ф}}=104,6$ ,  $b_{k \text{ ч.п}}^{\text{баз}}=103,8$ ,  $b_k^{\text{баз}}=103,2$  кВт·ч/10 тыс. т·км брутто по формулам (2)–(6):

$$\tilde{\delta} = 100,4 \text{ \%}, \quad \delta^{\text{пл}} = 97,1 \text{ \%}, \quad \delta^{\text{баз}} = 100,6 \text{ \%}, \quad \tilde{\delta}^{\text{пл}} = 3,3 \text{ \%}, \quad \tilde{\delta}^{\text{баз}} = 0,2 \text{ \%}.$$

Так как  $\tilde{\delta}^{\text{баз}} < \tilde{\delta}^{\text{пл}}$ , то заданная на год плановая норма УРЭ должна быть скорректирована в установленном порядке с учетом изменения фактических показателей перевозочного процесса относительно запланированных.

Предложенные рекомендации по оценке необходимости корректировки плановой нормы УРЭ включены в состав Методики анализа и прогнозирования расхода ТЭР на тягу поездов, внедренной на сети железных дорог России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года // Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14. 12. 2016 № 2537 р.
- 2 Распоряжение ОАО «РЖД» от 17. 09. 2007 № 1808р «О планировании и нормировании расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов в ОАО «РЖД».

УЖД 656. 34

#### СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУТИ

Н. В. Трифонова, Н. А. Авсиевич

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В статье рассматривается о способе оперативного диагностирования железнодорожного полотна с помощью системы сбора и обработки динамических параметров пути. Анализ состояния с использованием алгоритма оценки величины ускорения колебаний позволит обеспечить качественный анализ в реальном времени, спланировать ремонтные и профилактические работы, а также увеличить качество железнодорожного пути.

**Ключевые слова:** акселерометр, ускорение, рельсошпальная решетка, балластный слой, обработка данных, анализ величины ускорений, динамические параметры, частота колебаний, амплитуда колебаний.

**Abstract.** The article discusses a method for the on-line diagnosis of a railway track using a system for collecting and processing dynamic track parameters. An analysis of the state using the algorithm for estimating the magnitude of the acceleration of oscillations will allow for a qualitative analysis in real time, to plan repair and maintenance work, as well as to increase the quality of the railway track.

**Keywords:** accelerometer, acceleration, rail-sleeper, ballast layer, data processing, analysis of accelerations, dynamic parameters, vibration frequency, vibration amplitude.

Важнейшей составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта является обеспечение безопасного движения поездов, которая во многом зависит от состояния и уровня технического обслуживания железнодорожного пути, поэтому поддержание работоспособности путей, за счет грамотного планирования ремонтных или профилактических работ одна из главных задач, стоящих перед центром транспортного обслуживания.

Как известно, железнодорожное полотно подвержено влиянию различных негативных факторов: подземные воды, внешние экологические условия, тем самым постепенно разрушая его. Разрушения могут быть точечными или протяженностью более трех километров пути, что может привести к нежелательным последствиям передвижения подвижного состава.

Основная проблема заключается в обнаружении участков с деформированным строением пути за счет снижения качества земляного полотна и своевременном устранении разрушений путем направления специалистов по обслуживанию железнодорожных путей. Также необходимо определить степень разрушений по временной шкале, распределить ремонтные и профилактические работы, основываясь на данных с высоким уровнем достоверности.

На Российской железной дороге достаточно успешно выполняются множество программ по обслуживанию железных дорог, однако для этого применяются либо устаревшие системы с использованием вагонных тележек для считывания информации, что не дает полной картины о состоянии динамических параметров пути, либо вагоны лаборатории, которые снимают показатели раз в месяц и имеют меньший вес, не позволяющий собрать наиболее точной информации по всем параметрам пути. Все это приводит к удорожанию диагностики железнодорожного полотна, а также последующего комплекса мероприятий по обработке, подготовке и представлению аналитических отчетов.

В данной статье будет рассказано о способе решения описанной проблемы и показана система для сбора и обработки динамических параметров пути. Программа позволит спланировать ремонтные и профилактические работы на отдельных участках железнодорожного пути и увеличить качество пути за счет оперативного обслуживания в необходимых местах без привлечения дополнительного программного обеспечения.

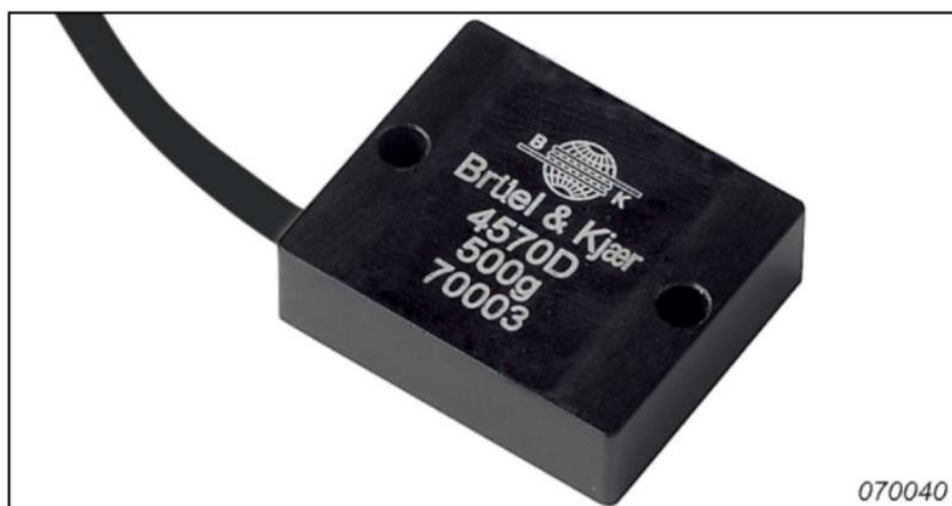


Рис. 1 Акселерометр марки Briel&Kjer, тип 4575

Неотъемлемой частью разрабатываемого программного обеспечения является датчик, который считывает информацию о состоянии железнодорожного и земляного полотна. Акселерометры крепятся непосредственно в тело шпалы, чтобы проводить замеры амплитуды и частоты колебаний, а

также величины ускорений рельсошпальной решетки под воздействием подвижного состава. Параметры максимального и минимального отклонения, частота колебаний участка железнодорожного пути записываются на жесткий носитель с помощью которого осуществляется дальнейшая передача данных непосредственно в программное обеспечение для последующей обработки и анализа.

Во время прохождения поезда получаем исходные данные для выявления зависимости амплитуды колебаний, частоты и ускорений рельсошпальной решетки от состояния балластного слоя. Для измерения ускорения применяются сертифицированные низкочастотные акселерометры типа 4575 марки Vguel&Kjer в комплекте с монтажным блоком UA2079, дифференцированный усилитель UA2697 и АЦП совместно с ноутбуком. Все параметры собираются по трем осям x, y, z, также время t фиксирования данных. Входные данные поступают в систему для дальнейшей обработки и выявления равноупругости и отступления от норм содержания балластного слоя.

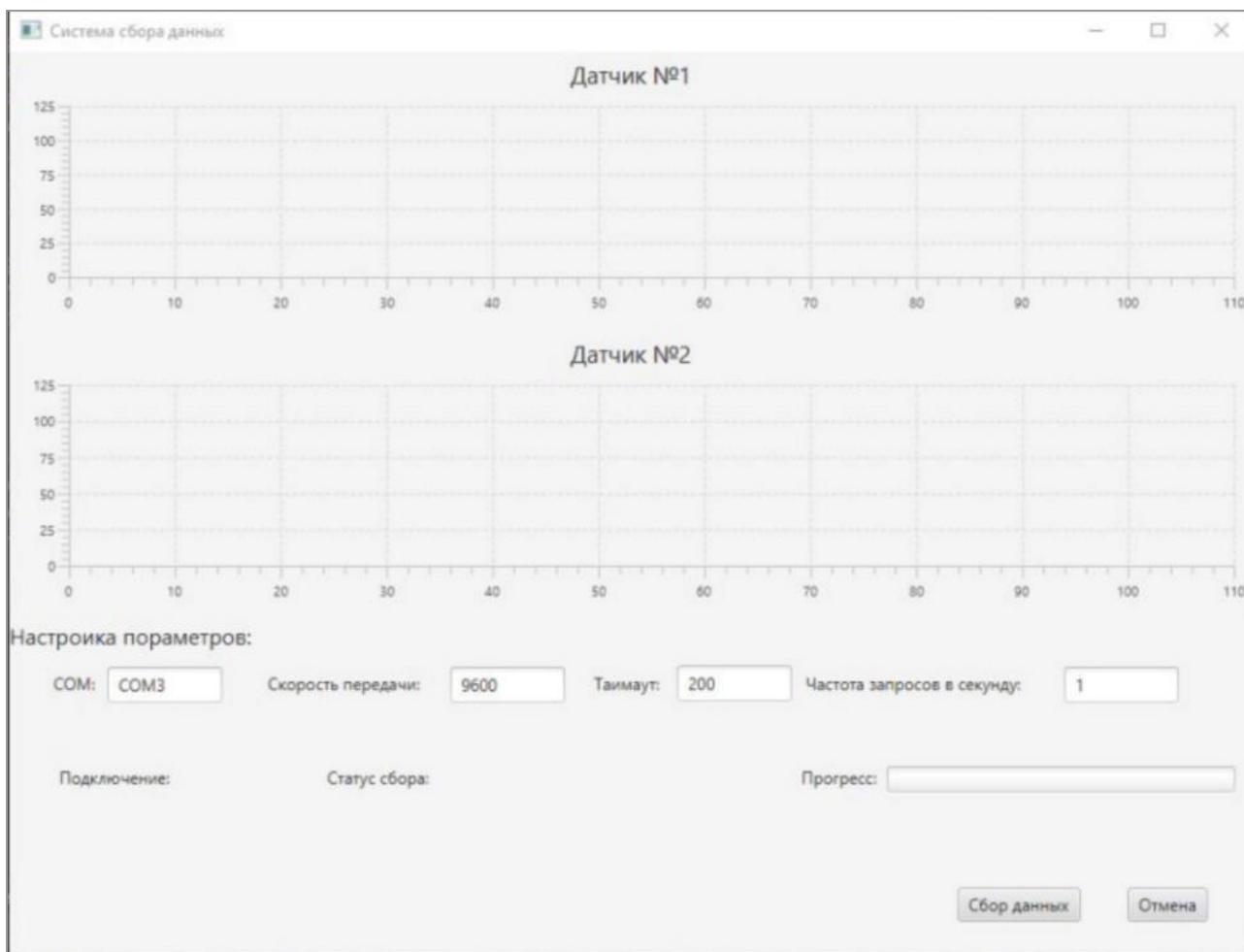


Рис. 2 Система обработки данных

После сбора входных данных следует обработка двоичных файлов уже в самом программном обеспечении посредством подсистемы обработки и анализа данных. Она позволяет обработать загруженные данные и проанализировать их с помощью модуля, который в свою очередь, используя алгоритм сравнения данных выполняет анализ и представляет результаты в графическом или табличном виде. Используемый алгоритм оценивает величину ускорений колебаний в зависимости от скоростей движения и нагрузки на полотно, проводит верификацию полученных данных на основании сравнительного анализа с результатами проходов диагностических комплексов, а также натуральных осмотров. В результате должен быть выполнен анализ влияния свойств балластной призмы на вертикальные ускорения рельсошпальной решетки под действием динамических сил от подвижного состава.

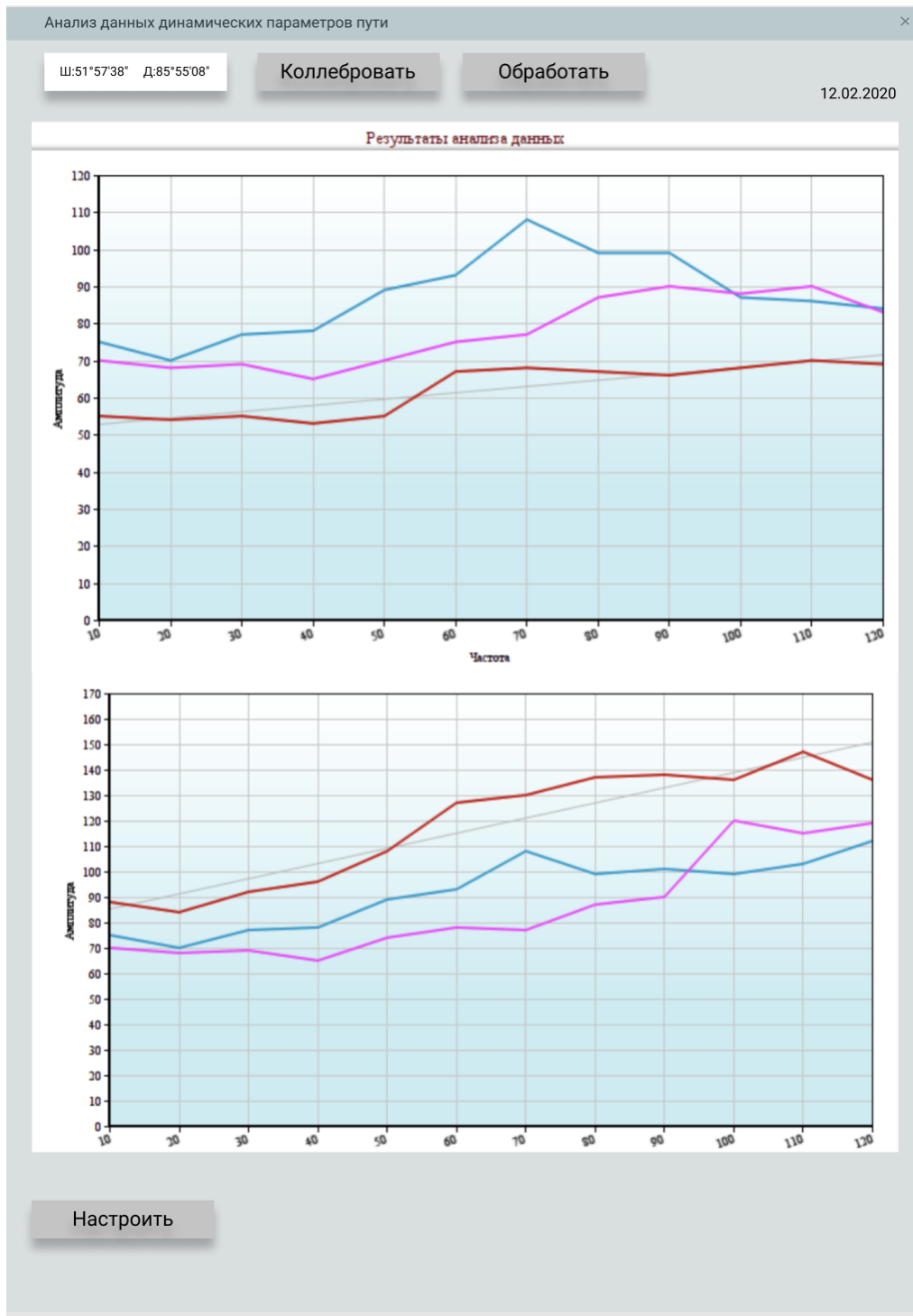


Рис. 3 Анализ данных динамических параметров пути

Из результатов проведенного анализа и обработки данных была получена частота колебаний и их ускорений при проходе на участке подвижного состава. Система определяет степень разрушения на участке за счет амплитуды отклонений и передает результат в виде кривых на графике с дополнительным описанием полученных параметров с результатами их обработки.

Таким образом, за счет непрерывного мониторинга состояния балластной призмы при помощи акселерометров исследуются участки железнодорожного пути на предмет отклонений норм балластного слоя, влияния вертикального и горизонтального ускорения рельсошпальной решетки. Анализ проводится на месте сбора данных, что позволяет получить результаты в режиме реального времени, вовремя среагировать на проблемные участки железнодорожного полотна и принять необходимые меры для безопасности перевозок.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Стоянович Г. М., Прокудин И. В., Черников А. К. Расчет устойчивости и прочности железнодорожного земляного полотна при вибродинамическом воздействии подвижного состава. Метод. пособие. – Хабаровск, 1999. – 83 с.
- 2 Яковлева Т. Г. Железнодорожный путь. М. : Транспорт, 1999. – 405 с.
- 3 Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2791 р.
- 4 Комплексная оценка состояния пути / В. П. Конаков, В. О. Певзнер, И. Б. Петропавловская, Т. И. Громова // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 3. – С. 64–67.
- 5 Аппаратно-программный комплекс измерения геометрических параметров рельсовой колеи железнодорожного пути / В. М. Круглов, Д. С. Манойло, М. М. Железнов, А. А. Сабирзянов // Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ-2004. Сборник материалов. – М. : ОАО «ГАО ВВЦ». – 2004. – С. 101–102.
- 6 Оценка деформативности пути в местах расстройств и возможных изменений в сроках выправки при повышении осевой нагрузки грузовых вагонов / В. О. Певзнер, С. С. Надежин, А. В. Анисин, И. В. Третьяков // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2013. – № 4. – С. 44–48.
- 7 Певзнер В. О. Эффективная система технического обслуживания пути – залог безопасности движения // Путь и путевое хозяйство. – 2012. – № 3. – С. 20–21.
- 8 Авсиевич А. В., Чертыковцева Н. В., Авсиевич В. В. О возможности возникновения резонансных явлений при движении подвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 2 (68). – С. 56–61.

УДК 62-83

**ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГАЗОДИЗЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ  
НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ Д-242**

**Н. В. Чертыковцева, В. В. Авсиевич, Т. Р. Реуф, М. В. Ткачёв**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В статье рассматривается определение передаточных функции на основе экспериментальных данных полученных с газодизельной установки.

**Ключевые слова:** газодизельная установка, математическая модель, двигатель внутреннего сгорания, передаточная характеристика.

**Annotation.** The article considers the definition of transfer functions based on experimental data obtained from a gas– diesel installation.

**Keywords:** gas-diesel unit, mathematical model, internal combustion engine, transfer characteristic

При проведении теоретических исследований газодизельного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) необходимо иметь математическую модель ДВС. Данная модель должна иметь большую достоверность переходных характеристик. В связи с тем, что ДВС протекают сложные динамические процессы, математическую модель, описывающую ДВС получить непросто.

Целью данной работы является создание математической модели ДВС, которая позволит исследовать систему автоматического управления подачи газа и запальной дозы дизельного топлива.

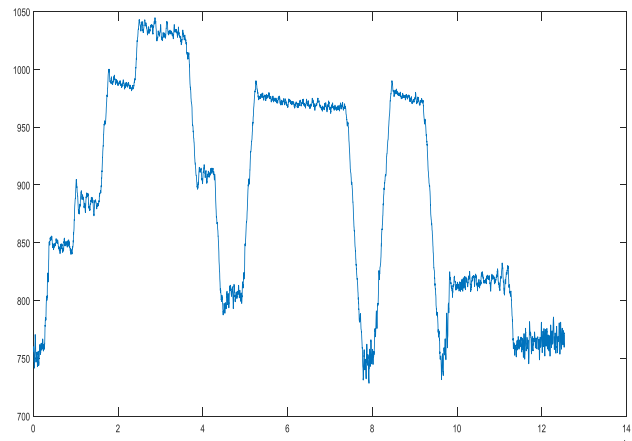
Для получения математической модели ДВС предлагается использовать экспериментальные данные работы газодизельной установки снятые в ходе проведения эксперимента в Самарском государственном университете путей сообщения в научно– исследовательской лаборатории «Локомотивных энергетических установок» (рис. 1).

В ходе эксперимента снимались переходные характеристики ДВС на разных заданных частотах (уставках) вращения коленчатого вала при одинаковой нагрузке и диапазоне частот от 700 – 1000 об/мин. В результате проведения эксперимента получено 8 зависимостей частоты вращения коленчатого вала ДВС от расхода топлива, время длительности одного измерения в среднем составляет 2, 3с. с частотой дискретизации 25 мс. После того как данные были получены с газодизельной установки, было проведено сглаживания данных применим алгоритм скользящего среднего так как экспериментальные данные имеют большие шумы, что мешает проведению идентификации и снижает её точность.





а)



б)

Рис 1. а) газодизельная установка, б) результаты проведенного эксперимента

Для построения математической модели газодизельной установки, по экспериментальным данным определим его передаточные функции на разных частотах работы с помощью пакета расширения System Identification ПО Matlab, методика работы которого заслуживает доверия в научной среде. В результате было получено семь передаточных функции. Для получения передаточных функции были взяты отрезки данных частоты вращения коленчатого вала и потребления топлива на данных отрезках.

В результате получили передаточные функции, показанные в таблице 1.

Таблица 1

Передаточные функции ДВС – 242 на разных частотах

Уставка	Передаточная функция	Уставка	Передаточная функция		
770	$\frac{-0,1262s + 0,2162}{s^2 + 12,61s + 0,009805}$	794	$\frac{-5,906s + 0,001909}{s^2 + 8,356s + 0,001063}$		
	Fit to estimation data		63 %	Fit to estimation data	66, 04 %
	FPE		20, 27	FPE	42, 25
MSE	20, 26	MSE	41, 58		
843	$\frac{0,488s + 0,316}{s^2 + 7,771s + 0,01228}$	868	$\frac{-223,9s + 5,128}{s^2 + 95,96s + 0,1873}$		

	<table border="1"> <tr> <td>Fit to estimation data</td> <td>66, 49 %</td> </tr> <tr> <td>FPE</td> <td>55, 27</td> </tr> <tr> <td>MSE</td> <td>55, 21</td> </tr> </table>	Fit to estimation data	66, 49 %	FPE	55, 27	MSE	55, 21		<table border="1"> <tr> <td>Fit to estimation data</td> <td>30, 11%</td> </tr> <tr> <td>FPE</td> <td>0, 1453</td> </tr> <tr> <td>MSE</td> <td>0, 1452</td> </tr> </table>	Fit to estimation data	30, 11%	FPE	0, 1453	MSE	0, 1452
Fit to estimation data	66, 49 %														
FPE	55, 27														
MSE	55, 21														
Fit to estimation data	30, 11%														
FPE	0, 1453														
MSE	0, 1452														
942	$\frac{-5,25s + 2,316}{s^2 + 9,953s + 0,07399}$	966	$\frac{-1,195s + 0,8707}{s^2 + 11,87s + 0,02706}$												
	<table border="1"> <tr> <td>Fit to estimation data</td> <td>66, 36 %</td> </tr> <tr> <td>FPE</td> <td>49, 11</td> </tr> <tr> <td>MSE</td> <td>49, 06</td> </tr> </table>	Fit to estimation data	66, 36 %	FPE	49, 11	MSE	49, 06		<table border="1"> <tr> <td>Fit to estimation data</td> <td>66, 66 %</td> </tr> <tr> <td>FPE</td> <td>46, 67</td> </tr> <tr> <td>MSE</td> <td>46, 62</td> </tr> </table>	Fit to estimation data	66, 66 %	FPE	46, 67	MSE	46, 62
Fit to estimation data	66, 36 %														
FPE	49, 11														
MSE	49, 06														
Fit to estimation data	66, 66 %														
FPE	46, 67														
MSE	46, 62														

На основе проведенных исследований по переходным характеристикам, приведенным в таблице 1 видно, что с ДВС является нестационарной системой и при изменении частоты в сторону увеличения меняются и параметры системы при неизменной структуре (модель второго порядка).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Войтенко В. А. Математическое моделирование скоростных характеристик двигателя внутреннего сгорания // Электротехнические и компьютерные системы: Одесса: Одесский национальный политехнический университет – 2013. – № 9 (85). – С. 45–49.
- 2 Авсиевич В. В., Авсиевич В. В. Применение дробного ПИД регулятора в системе автоматического управления нагревательной печи // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 4 (28). – С. 47–52.
- 3 Тюмиков Д. К., Авсиевич А. В., Старикова А. М. Выбор доминантных переменных при статистическом исследовании тепловозных дизелей // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 1 (31) – С. 77–82.
- 4 Авсиевич А. В. Аналитические модели систем автоматического управления на основе дифференциальных уравнений с дробными показателями // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 3 (27). – С. 37–41.

**КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕЛИНЕЙНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МНОГОМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПОМЕХАХ ВО ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ СИГНАЛАХ**

**В. А. Юрлов, И. Л. Сандлер, О. А. Кацюба**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В данной статье рассматривается проблема распространения метода наименьших квадратов на решение задач параметрической идентификации стохастических нелинейных разностных уравнений при наличии помех наблюдений во входных и выходных переменных. Предлагается критерий оценивания параметров многомерной стационарной нелинейной стохастической системы с помехами наблюдений типа белый шум. Доказывается сильная состоятельность получаемых оценок параметров.

**Ключевые слова:** нелинейные разностные уравнения, параметрическая идентификация, метод наименьших квадратов, эффективность оценок.

**Abstract.** This article deals with the problem of least squares method extension to the solution of parametric identification problems of stochastic nonlinear difference equations in the presence of observation interference in input and output variables. A criterion for estimating the parameters of a multidimensional stationary nonlinear stochastic system with white noise disturbances is proposed. The strong consistency of the obtained parameter estimates is proved.

**Keywords:** nonlinear difference equations, parametric identification, least squares method, estimation efficiency.

Рассмотрим стационарную многомерную нелинейную стохастическую систему с дискретным временем ( $i = \dots, -1, 0, 1, \dots$ ), которая описывается разностным уравнением следующего вида:

$$\begin{aligned} Z_{i+1} &= G_1^{(1)}Z_i + G_2^{(2)}Z_{i-1} + \dots + G_1^{(r)}Z_{i-r} + G_2^{(0)}X_i + \dots + G_2^{(r_1)}\eta_{r_1}(X_{i-r_1}) \\ Y_i &= Z_i + \Xi_1(i), \quad W_i = Z_i + \Xi_2(i) \end{aligned} \tag{1}$$

$$\eta_{r_1} X = \begin{pmatrix} \eta_{r_1}^{(1)}(X_{i-r_1}^{(1)}) \\ \vdots \\ \eta_{r_1}^{(p)}(X_{i-r_1}^{(p)}) \end{pmatrix}$$

где  $Z_i$  – ненаблюдаемый и наблюдаемый векторы состояний системы соответственно ( $Z_i, Y_i \in R_{p_2}$ );  $X_i, W_{i-(r_1-1)}$  – ненаблюдаемый и наблюдаемый входные сигналы ( $Z_i, W_i \in R_p$ );  $\eta_{r_1}(X_i)$  – наблюдаемый векторный входной сигнал ( $i = i - r_1$ ).

Необходимо выполнение следующих условий:

1°. Вектор входных сигналов  $X_i$  и истинные параметры удовлетворяют условию

$$N^{-1} \sum_{i=i_0}^N \begin{pmatrix} Z_i \\ Z_{i-1} \\ \vdots \\ Z_{i-r} \\ X_i \\ \vdots \\ \eta_{r_1}(X_{i-r_1}) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} Z_i^T & Z_{i-1}^T & \dots & X_{i-r}^T & X_i^T & \dots & \eta_{r_1}^T(X_{i-r_1}) \end{pmatrix} \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{n.n.} H_1^* \begin{pmatrix} H_{ZZ} & H_{Z\eta} \\ H_{Z\eta}^T & H_{X_i\eta} \end{pmatrix}$$

где  $H_1^*$  положительно определена.

2°. Стохастические последовательности  $\{\Xi_1(i)\}$  и  $\{\Xi_2(i)\}$  при ( $i = i - r_1$ ) независимы

3°.  $X_i$  не зависит от  $\Xi_k(i)$

4°. Множество, которому априорно принадлежат истинные значения параметров устойчивой нелинейной многомерной системы, является компактом.

$$E(\Xi_1(i)\Xi_1^T(i) | F_{i-1}) = D_1 \text{ п. н.},$$

$$E(\Xi_1(i) | F_{i-1}) = 0;$$

$$E(\Xi_2(i)\Xi_2^T(i) | F_{i-1}) = D_2 \text{ п. н.};$$

$$E(\Xi_2(i) | F_{i-1}) = 0, \quad i = i - r_1$$

где  $E$  – оператора математического ожидания;  $F_{i-1} - \sigma$  – алгебра, индуцированная семейством случайных величин  $\{\Xi_k(t), t \in T_i\}$ ,  $T_i = \{t; t \leq i, t \in z_c - \text{множество целых чисел}\}$

$$E[\Xi_k(0)\Xi_k^T(0)] = D_k, \quad i = i - r_1$$

$$E[\xi_k^{(j)}(i)\xi_k^{(d)}(i)] = \pi_{jd}^{kk}, \quad \text{где } j \in R_{p_2}; d \in R_p$$

Требуется определить оценки неизвестных матриц коэффициентов динамического объекта по наблюдаемым последовательностям  $\{Y_i\}, \{W_{i-r_1}\}$

Уравнение (1) можно записать в виде:

$$Y_{i+1} - \Xi_1(i+1) = G_1^{(1)}(Y_i - \Xi_1(i)) + \dots + G_2^{(r_1)}(\eta_{r_1})$$

Перепишем уравнение в виде скалярных уравнений ( $j = 1, \overline{p_2}$ )[3]:

$$y_{i+1}^{(j)} = b_{j\bullet}^{(0)} Y_i + \dots + b_{j\bullet}^{(r)} Y_{i-r} + a_{j\bullet}^{(0)} W_1 - \dots - b_{j\bullet}^{(0)} \Xi_1(i) \dots a_{j\bullet}^{(r_1-1)} \Xi_2(i - (r_1 - 1)) + \xi^{(1)}(i+1) \quad (2)$$

где  $b_{j\bullet}^{(0)}$  –  $j$  строка матрицы  $G_1^{(0)}, \dots, a_{j\bullet}^{(0)}, \dots, a_{j\bullet}^{(r_1-1)}$  –  $j$  строка матрицы  $G_2^{(r_1)}$

Можно записать (2) следующим образом:

$$\bar{b}_{j\bullet}^{(0)} = \begin{vmatrix} b_{j\bullet}^{(0)} & \dots & b_{j\bullet}^{(r_1)} \end{vmatrix}$$

$$\bar{a}_{j\bullet}^{(0)} = \begin{vmatrix} a_{j\bullet}^{(0)} & \dots & a_{j\bullet}^{(r_1)} \end{vmatrix}$$

$$Y_r(i) = \begin{vmatrix} Y_i^T & \dots & Y_{i-r}^T \end{vmatrix}^T;$$

$$W_{r_1}(i) = \begin{vmatrix} W_i^T & \dots & \eta_{r_1}^T(X_{i-r_1}) \end{vmatrix}^T$$

тогда:

$$y_{i+1}^{(j)} = \begin{vmatrix} \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} & \dots & \bar{a}_{j\bullet}^{(r)} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Y_r(i) \\ W_{r_1}(i) \\ \vdots \\ \eta_{r_1}(X_{i-r_1}) \end{vmatrix} + \xi_1^{(j)}(i+1) - \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \Xi_r - \bar{a}_{j\bullet}^{(r_1-1)} \Xi_{r_1-1}$$

где  $\Xi_r = \begin{vmatrix} \Xi_1^T(i) & \dots & \Xi_1^T(i-r) \end{vmatrix}^T$ ;  $\Xi_{r_1-1} = \begin{vmatrix} \Xi_2^T(i) & \dots & \Xi_2^T(i - (r_1 - 1)) \end{vmatrix}^T$

Введем обобщённую ошибку для  $j$  – уравнения:

$$e^{(j)}(\bar{b}_{j\bullet}^{(0)}, \bar{a}_{j\bullet}^{(r_1-1)}, i+1) = \xi_1^{(j)}(i+1) - \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \Xi_r - \bar{a}_{j\bullet}^{(r_1-1)} \Xi_{r_1-1}$$

Из предпосылки 2 следует, что обобщённая ошибка имеет нулевое среднее, также имеют место следующие соотношения

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \xi_1^{(j)}(i+1) \Xi_k(i) \right) \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{n.h.} 0,$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \Xi_1(i+1) \Xi_1^T(i) \right) = D_1 \text{ п. н.},$$

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \Xi_2(i) \Xi_2(i) \Xi_2^T(i) \right) = D_2 \text{ п. н.},$$

Обобщенная ошибка имеет нулевое среднее, а ее локальная дисперсия с вероятностью 1 равна (4° и 5°):

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E \left[ \left( e^{(j)}(\bar{b}_{j\bullet}^{(0)}, \bar{a}_{j\bullet}^{(0)}, i+1) \right)^2 \right] =$$

$$= \sigma_j^2 + \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} D \bar{b}_{j\bullet}^{(0)T} + \bar{a}_{j\bullet}^{(r_1-1)} \bar{D} \bar{a}_{j\bullet}^{(r_1-1)T} = \omega(\bar{b}_{j\bullet}^{(0)}, \bar{a}_{j\bullet}^{(0)})$$

где  $D = \begin{vmatrix} D_1 & 0_{r,r} & \dots & 0_{r,r} \\ 0_{r,r} & D_1 & \dots & 0_{r,r} \\ \vdots & \vdots & \dots & 0_{r,r} \\ 0_{r,r} & 0_{r,r} & \dots & D_1 \end{vmatrix} r + 1$  и  $\bar{D} = \begin{vmatrix} D_2 & 0_{r_1,r_1} & \dots & 0_{r_1,r_1} \\ 0_{r_1,r_1} & D_2 & \dots & 0_{r_1,r_1} \\ \vdots & \vdots & \dots & 0_{r_1,r_1} \\ 0_{r_1,r_1} & 0_{r_1,r_1} & \dots & D_2(r_1 - 1) \end{vmatrix} r_1$

Определим оценки  $\left| \hat{b}_{j\bullet} \quad \hat{a}_{j\bullet} \right|$  неизвестных истинных значений из условия минимума суммы взвешенных квадратичных отклонений  $e^{(j)}$  с весом  $\omega_5(\bar{b}_{j\bullet} \quad \bar{a}_{j\bullet})$ .

$$\min_{\left( \begin{smallmatrix} \bar{b}_{j\bullet} \\ \bar{a}_{j\bullet} \end{smallmatrix} \right)^T} \frac{\sum_{i=1}^N \left( y_i^{(j)} - \left| \bar{b}_{j\bullet} \quad \bar{a}_{j\bullet} \right| \begin{array}{c} Y_r(i-1) \\ \hline W_1(i) \\ \vdots \\ \eta_{r_1}(X_{i-r_1}) \end{array} \right)^2}{\sigma_j^2 + \bar{b}_{j\bullet}^{-{(0)}} D \bar{b}_{j\bullet}^{-{(0)T}} + \bar{a}_{j\bullet}^{-{(r_1-1)}} \bar{D}_{(r_1-1)} \bar{a}_{j\bullet}^{-{(r_1-1)T}}} \quad (3)$$

Пусть стационарная динамическая система с нулевыми начальными условиями описывается уравнениям (1) и выполняются условия 1° – 4°. Тогда оценка  $\left| \hat{b}_{j\bullet} \quad \hat{a}_{j\bullet} \right|$ , определяемая выражением (3) и является сильно состоятельной оценкой, т. е.

$$\left| \hat{b}_{j\bullet} \quad \hat{a}_{j\bullet} \right| \xrightarrow[N \rightarrow \infty]{П.Н.} \left| \bar{b}_{j\bullet}^{(0)} \quad \bar{a}_{j\bullet}^{(0)} \right|.$$

Оценка  $\left| \hat{b}_{j\bullet} \quad \hat{a}_{j\bullet} \right|$ , определяемая выражением (3) является сильно состоятельной оценкой при выполнении ограничивающих условия 1 – 4. Дальнейшей разработкой является разработка прикладного программного обеспечения и обобщение предложенного критерия (3) на случай автокоррелированных помех наблюдений во входных и выходных сигналах [2, 4], рекуррентной процедуры оценивания [3, 5], а также с учетом нецелого (дробного) порядка [6, 7] входных и выходных сигналах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Маркус М., Минк Х. Обзор по теории матриц и матричных неравенств. – М. : Наука, 1972. – 232 с.
- 2 Кацюба О. А., Козлов Е. В. Оценивание параметров многосвязной линейной динамической системы разного порядка при наличии автокоррелированных помех во входных и выходных сигналах // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – Т. 45. – № 3–1. – С. 151–154.
- 3 Сандлер И. Л. Рекуррентная идентификация параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем с помехами в выходных сигналах // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. № 2 (32). – С. 68– 74.
- 4 Сандлер И. Л. Рекуррентное оценивание параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем при наличии автокоррелированных помех во входных и выходных сигналах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2016. № 4 (40). – С. 14–27.
- 5 Кацюба О. А., Сандлер И. Л. Рекуррентное оценивание параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем с помехами во входных и выходных сигналах методом стохастической аппроксимации // Системы управления и информационные технологии. – 2012. – Т. 47. – № 1. – С. 31–34.
- 6 Иванов Д. В. Идентификация линейных динамических систем нецелого порядка с помехой в выходном сигнале // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18. – № 5–2. – С. 2534–2536.
- 7 Иванов Д. В., Кацюба О. А. О состоятельности оценок параметров агх– систем дробного порядка с помехой в выходном сигнале // Стохастическая оптимизация в информатике. – 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 21–32.

## СЕКЦИЯ 2

# Мехатроника и робототехника на транспорте

УДК 681. 2. 087

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ФИКСАЦИИ УСКОРЕНИЯ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ПУТИ

Н. А. Авсиевич, Н. А. Залесов

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Разработана информационная измерительная система, состоящая из измерительных устройств фиксации ускорения установленных на пятку правого и левого рельсов и компьютера с программным обеспечением для сбора, хранения и обработки полученных данных.

**Ключевые слова:** верхнее строение пути, ускорение рельс, информационно– измерительная система.

**Abstract.** An information measuring system has been developed, consisting of measuring devices for fixing acceleration installed on the heel of the right and left rails and a computer with software for collecting, storing and processing the received data.

**Keywords:** upper structure of the track, rail acceleration, information and measurement system.

Одной из важных задач в области железнодорожного транспорта является безопасность, которая зависит от множества факторов. Одним из факторов является в результате взаимодействия «колесо – рельс», то есть при движении подвижного состава оказывается сильное давление на верхнее строение пути, в результате чего оно разрушается со временем эксплуатации. И чем больше проходящие составы поездов по массе на участке пути, тем быстрее происходит деградация верхнего строения пути. Вследствие чего понижается безопасность движения, снижается скорость, могут возникать резонансные явления при движении подвижного состава [1], которые приводят к возникновению аварийных ситуаций.

С целью выявления деградации верхнего строения пути предлагается информационная измерительная система измерения ускорения рельсошпальной решётки в момент прохождения подвижного состава. Для чего разработано крепление датчика измерения ускорения на пятку рельса способом, представленным на рис. 1.

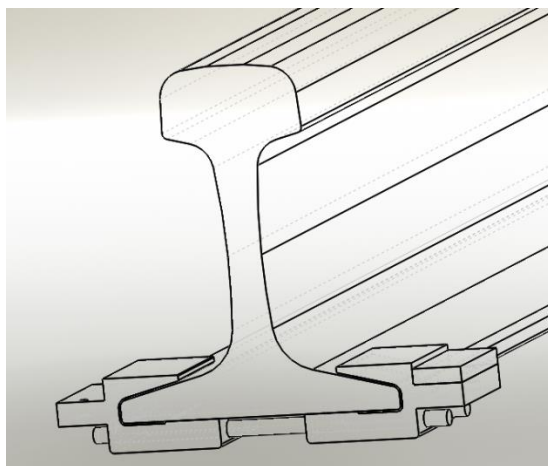


Рис. 1. Крепление датчика ускорения к пятке рельса

Крепление датчика состоит из двух одинаковых элементов крепления (рис. 2) скреплённых между собой двумя шпильками длиной 165 мм. На один из элементов крепления на площадку с отверстиями крепится датчик ускорения. Вторая площадка на втором элементе зарезервирована для дальнейшего расширения функций информационно– измерительной системы.

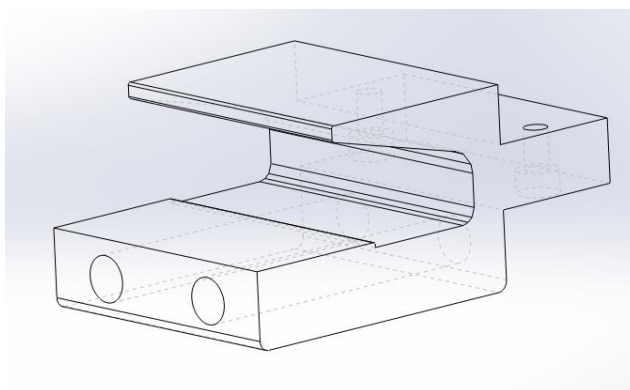


Рис. 2. Элемент крепления датчика ускорения к пятке рельса

После фиксации датчиков ускорения на рельсах, они экранированными проводами соединяются с устройством ввода/вывода ARDUINO UNO/NANO. Элементы крепления, корпус для ARDUINO (рис. 3), элементы крепления датчика ускорения (рис. 2) и корпус для датчика спроектированы в среде 3D проектирования SolidWorks и распечатаны на 3D – принтере на кафедре МАУТ.

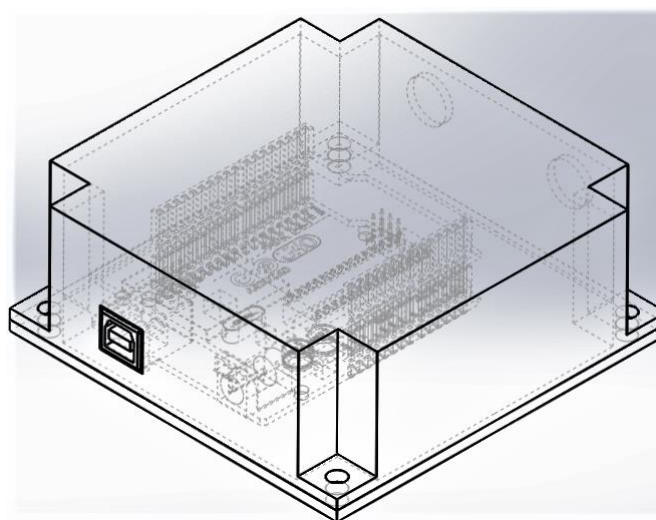


Рис. 3. Макет корпуса для размещения ARDUINO

Для сбора информации в среде Arduino IDE написан скетч снятия, первичной обработки данных и передачи в серийный порт, листинг скетча приведен ниже.

### Листинг программы на стороне Ардуино

```
void setup() {
  analogReference (DEFAULT);
  Serial. begin(9600);
}
void loop() {
  double X =analogRead(0)* 5 / 1024. 0;
  double Y =analogRead(1)* 5 / 1024. 0;
  double Z =analogRead(2)* 5 / 1024. 0;
  double X1 =analogRead(3)* 5 / 1024. 0;
  double Y1 =analogRead(4)* 5 / 1024. 0;
  double Z1 =analogRead(5)* 5 / 1024. 0;
  String prinL = "L: "+String(millis(), DEC)+" "+String(X, DEC)+" "+String(Y, DEC)+" "+String(Z, DEC)+" ";
  String prinR = "R: "+String(millis(), DEC)+" "+String(X1, DEC)+" "+String(Y1, DEC)+" "+String(Z1, DEC)+" ";
  Serial. print(prinL);
  Serial. print(prinR);
  delay(100);
}
```

Для принятия и обработки данных ускорений на стороне ЭВМ в приложении Java FX написан код приема данных, сохранения и вывода на экран. Отрывок программы приведен ниже.

### Листинг программы на стороне ЭВМ

```
Arduino arduino = new Arduino(COMPSrt, transmissionSpeedInt);
// GrathGetController grathGetController =new GrathGetController();
boolean connected = arduino. openConnection();
System. out. println("Подключение: " + connected);
try {
  Thread. sleep(2000);
} catch (InterruptedException e) {
  e. printStackTrace();
}
```

Результатом проделанной работы является готовый экспериментальный образец информационно – измерительной системы для получения данных ускорения левого и правого рельса приобретаемого в момент прохождения подвижного состава. Тем самым предлагаемый экспериментальный дает возможность проводить исследования со стороны верхнего строения пути при разных значениях его нагрузки со стороны подвижного состава.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Авсиевич А. В., Чертыковцева Н. В., Авсиевич В. В. О возможности возникновения резонансных явлений при движении подвижного состава // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 2 (68). – С. 56–61.
- 2 Стоянович Г. М., Прокудин И. В., Черников А. К. Расчет устойчивости и прочности железнодорожного земляного полотна при вибродинамическом воздействии подвижного состава. Метод. пособие. – Хабаровск, 1999. – 83 с.



**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ТОКОМ СТАТОРА И ОРИЕНТАЦИИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ ПО ВЕКТОРУ ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ РОТОРА**

**В. В. Антонова, А. В. Болгов, А. А. Рудаков**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе представлена имитационная модель асинхронного электродвигателя, разработанная по средствам пакета Matlab библиотеки Simulink. Модель позволяет получать переходные процессы в асинхронном электродвигателе при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора. Разработанная модель может применяться для демонстрации и изучения работы асинхронного электродвигателя, а также пакета Matlab библиотеки Simulink при подготовке специалистов по направлению 15. 03. 06 «Мехатроника и робототехника»

**Ключевые слова:** имитационная модель, асинхронный электродвигатель, моделирование, частотный привод, переходные характеристики, Matlab.

**Abstract.** The paper presents a simulation model of an asynchronous electric motor developed by means of the Matlab package of the Simulink library. The model allows to obtain transients in an asynchronous electric motor when controlling the stator current and orientation of the rotating coordinate system along the rotor flux coupling vector. The developed model can be used to demonstrate and study the operation of an asynchronous motor, as well as the Matlab package of the Simulink library in the training of specialists in the direction of 15. 03. 06 "mechatronics and robotics"

**Keywords:** simulation model, asynchronous electric motor, simulation, frequency drive, transient characteristics, Matlab.

В основе моделирования переходных процессов в асинхронном электродвигателе лежит система уравнений [1], которая описывает асинхронный электродвигатель при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора. На основе системы уравнений (1) получена структурная схема, представленная на рисунке 1. Основным уравнением механики  $p\omega = (M_d - M_c) / J$  ( $M_c$  – момент нагрузки;  $J$  – момент инерции) и равенством  $\omega_{0эл} = \omega_{рл} + \omega_p$ .

$$\begin{cases} i_{1\alpha} = \frac{1/R_1}{\sigma T_1 p} (u_{1\alpha} - R_1 i_{1\alpha} + \omega_{0эл} \sigma T_1 R_1 i_{1\beta} - k_2 p \psi_2) \\ i_{1\beta} = \frac{1/R_1}{\sigma T_1 p} (u_{1\beta} - R_1 i_{1\beta} + \omega_{0эл} \sigma T_1 R_1 i_{1\alpha} - k_2 \omega_{0эл} \psi_2) \\ \psi_2 = \frac{1}{T_2 p} (L_m i_{1\alpha} - \psi_2) \\ \omega_p = k_2 R_2 i_{1\beta} / \psi_2 \\ M_d = \frac{3}{2} p_{л} k_2 \psi_2 i_{1\beta} \end{cases} \quad (1)$$

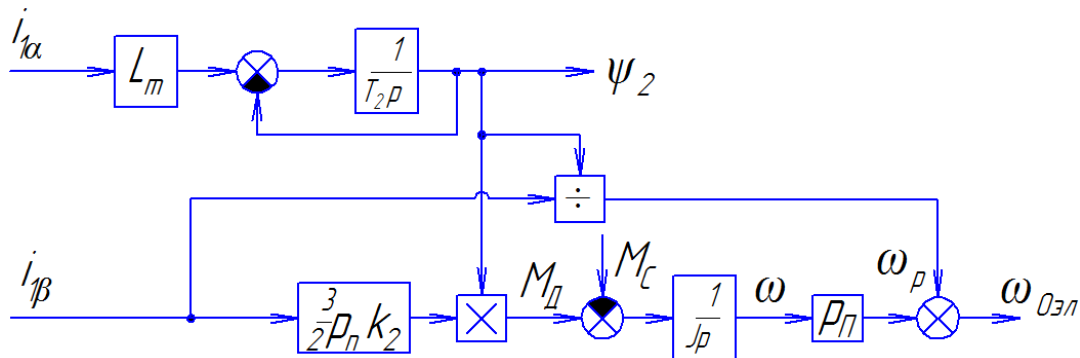


Рис. 1. Структурная схема асинхронного электродвигателя, построенная по системе уравнений (1)

Расшифровка блоков имитационной модели

№ Блока	Название	Описание
1, 2	Inport	Создает входной порт для подсистемы или модели верхнего уровня иерархии.
3, 5, 6, 14	Gain	Скалярный или векторный коэффициент передаточной функции.
4	Mux	Объединяет входные сигналы в вектор.
7, 9, 15	Sum	Блок является сумматором выполняющий операцию алгебраического сложения сигналов.
8, 13	Product	Блок выполняет вычисление произведения текущих значений сигналов.
10	Step	Генератор ступенчатого сигнала, задает начальное значение воздействия на систему.
11, 12	Transfer Fcn	Блок передаточной характеристики Transfer Fcn задает передаточную функцию в виде отношения полиномов.
16	Scope	Компонент, моделирующий функции осциллографа.

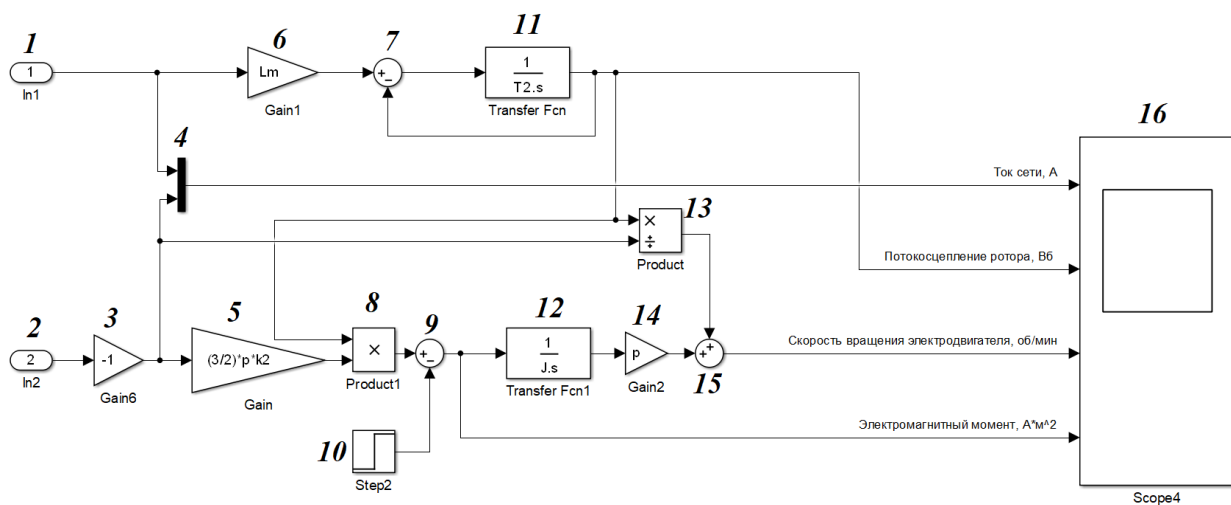


Рис. 2. Имитационная модель асинхронного электродвигателя при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора

На рисунке 3 представлены переходные характеристики в асинхронном электродвигателе при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора: формы токов статорной цепи двигателя, являющиеся исходными данными для имитационной модели; рассчитанные в ходе моделирования потокосцепление ротора, скорость вращения вала двигателя и электромагнитный момент.

Использование разработанной модели в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 15. 03. 06 «Мехатроника и робототехника» повысит эффективность изучения электроприводных систем в дисциплине «Электроприводы мехатронных и робототехнических устройств», а также изучение библиотек SIMULINK пакета MATLAB. Даная разработка может также являться основой для разработки методов и алгоритмов идентификации, используя работы для линейных динамических систем [2, 3], и нелинейных [4–6] параметров асинхронного электропривода.

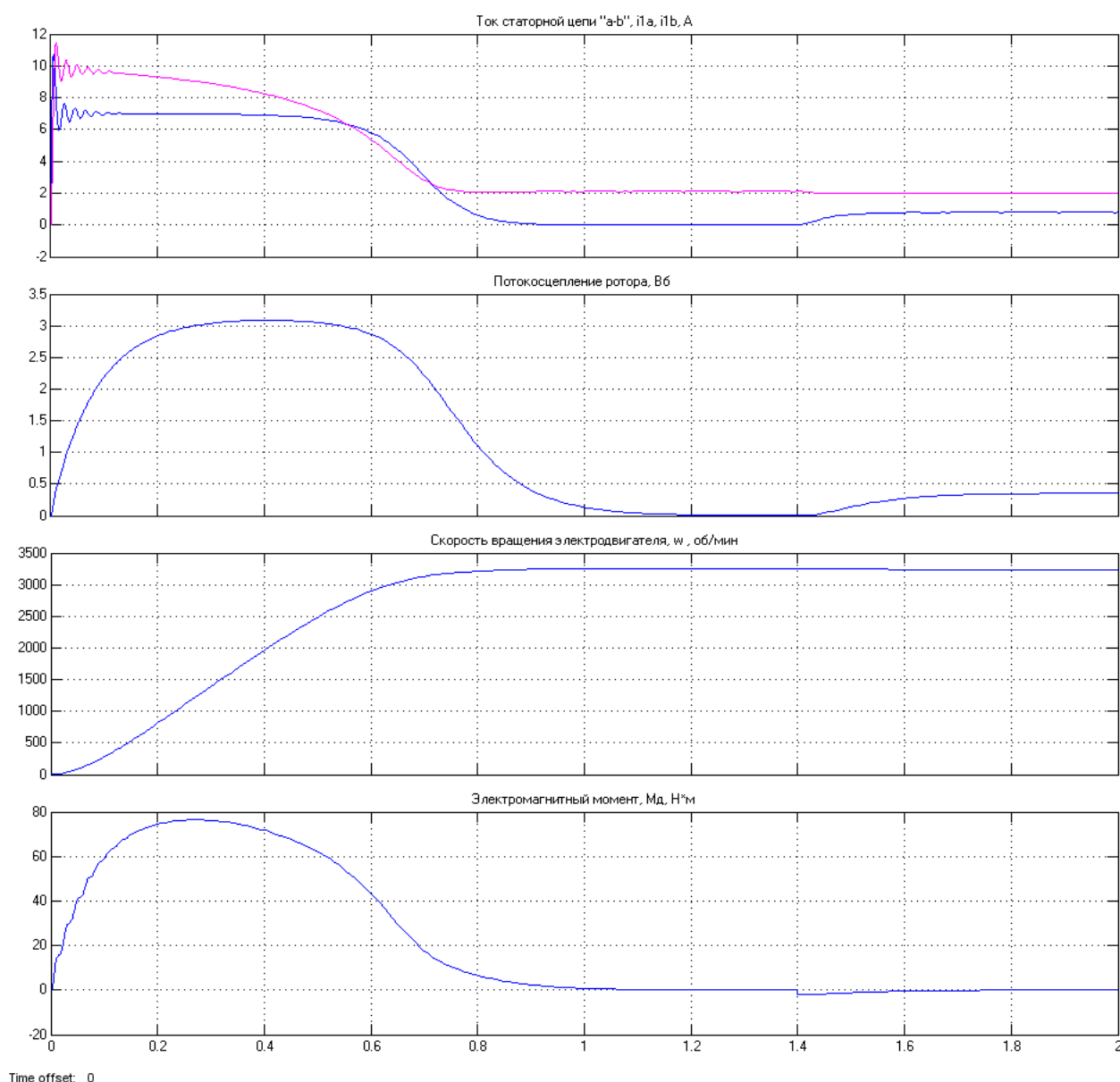


Рис. 3. Переходные характеристики в асинхронном электродвигателе при управлении током статора и ориентации вращающейся системы координат по вектору потокосцепления ротора

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М. : Академия, 2006. – 256 с.
- 2 Сандлер И. Л. Рекуррентное оценивание параметров многомерных по входу и выходу разного порядка линейных динамических систем при наличии автокоррелированных помех во входных и выходных сигналах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2016. – № 4 (40). – С. 14–27.
- 3 Сандлер И. Л. Тестирование рекуррентного алгоритма оценивания параметров многомерной линейной динамической системы с помехами // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 5–2 (16–2). – С. 117–121.
- 4 Иванов Д. В., Козлов Е. В. Рекуррентная параметрическая идентификация линейных динамических систем при наличии автокоррелированной помехи наблюдения в выходном сигнале // Вестник Самарского муниципального института управления. – 2010. – № 2. – С. 93–99.
- 5 Иванов Д. В., Усков О. В. Рекуррентное оценивание билинейных агх-систем с помехой наблюдения во входном сигнале // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2013. – № 4 – (25). – С. 43–50.
- 6 Иванов Д. В. Идентификация ARX систем Винера дробного порядка при наличии помехи во входном сигнале // Журнал Средне-волжского математического общества. – 2016. – Т. 18. – № 2. – С. 41–46.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Т. Н. Буштрук<sup>1</sup>, А. А. Буштрук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

<sup>2</sup>г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** В работе приведено моделирование распределения нагрузок по профилю изделия с применить аппарата, разработанного Буштруком А. Д. для квазистационарных временных рядов.

**Ключевые слова:** моделирование, прочностные свойства, композитные материалы, робототехника

**Abstract.** The paper presents the simulation of load distribution along the profile of the product to apply the apparatus developed by Bustruck A. D. for quasi-stationary time series.

**Keywords:** modeling, strength properties, composite materials, robotics

В робототехнике широко используют композитные материалы. Композитные материалы применяются в следующих основных видах: слоистый материал, как правило, в форме листа. Лист сочетает в себе дерево, пластик или металл, опираясь на внутренние свойства каждого с целью повышения жёсткости. Второй вид – материал с использованием стекловолокна и смолы. Наполнитель из металла, ткани или углерода добавляют к смоле, чтобы придать ему прочность. И третья форма выполнения материала с использованием углерода или графита (для прочности). Одним из самых многочисленных и разнообразных видов композитных материалов являются полимерные композитные материалы. В таких материалах матрицей служит полимерный материал [1, 2, 3]. От материала матрицы значительно зависят свойства композита: прочность, тепло и влагостойкость, стойкость к действию агрессивных сред, метод получения изделия. Моделирование прочностных свойств изделия (шарниры, схваты и др.) с целью определения их износостойкости имеет важное значение.

Полимеры в качестве матрицы используют либо в чистом виде (порошки, гранулы, листы, пленки), либо в виде связующих. Связующее представляет собой двух или многокомпонентную систему из синтетического полимера и отвердителей, инициаторов или катализаторов, ускорителей отверждения. В связующее с целью придания необходимых технологических и эксплуатационных свойств могут быть добавлены растворители, красители, пластификаторы, стабилизаторы и другие компоненты.

В качестве армирующих элементов используют множество различных материалов.

1. Стекланные волокна; предел прочности после вытягивания стекланных волокон составляет 2÷6 ГПа и определяется в основном составом стекломассы, условиями вытяжки и последующей обработки. При изготовлении композитных элементов конструкций стекланные волокна используются в виде первичных нитей, ровингов (т. е. прядей нескрученных нитей), кручёных нитей и тканей на их основе.

2. Углеродные волокна получают путем температурного и механического воздействия на исходные органические волокна, приводящего к их карбонизации, графитизации и совершенствованию структуры. В качестве армирующих элементов композитных материалов углеродные волокна применяются в виде жгутов, лент и тканей.

3. Борные волокна получают путем осаждения бора на нагреваемую вольфрамовую нить диаметром 12÷16 мкм. Борные волокна обладают высокой чувствительностью к концентраторам напряжений, чем объясняется их большая прочность при сжатии, нежели при растяжении. Борные волокна хорошо совмещаются как с полимерной, так и с металлической матрицей.

4. Органические волокна получают из концентрированного раствора полимера путем формования через фильеры, затем осуществляется ориентированная вытяжка для фиксации направления кристаллов по волокну. При достаточно высоком модуле упругости и большом предельном удлинении (до 2% ) органические волокна обладают высокой ударной вязкостью и малой чувствительностью к повреждениям. Последнее свойство позволяет сохранять до 90% прочности волокон при получении тканевых полуфабрикатов. Органические волокна хорошо воспринимают растягивающую нагрузку. При сжатии композиты на основе органических волокон значительно уступают стеклопластикам.

Определяющую роль играют прочностные характеристики материала и изделия. Прочность металлических конструкций проверяется по четвертой теории прочности – теории октаэдрических касательных напряжений (критерию фон Мизеса) [1, 2, 3]. Согласно данной теории прочности напряжен-

ное состояние детали в точке считается безопасным, если октаэдрическое касательное напряжение не превышает допустимого для данного материала значения, которое не зависит от типа напряженного состояния и может быть найдено из опыта [1, 2, 3], то есть:

$$\tau_{\text{окт}} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2},$$

где  $\tau_{\text{окт}}$  – касательное напряжение,  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – напряжения на главных площадках. При центральном растяжении  $\sigma_1 = \sigma, \sigma_2 = \sigma_3 = 0$ .

$$\tau = \frac{1}{3} \sqrt{\sigma^2 + \sigma^2} = \sigma \frac{\sqrt{2}}{3},$$

$$[\tau_{\text{окт}}] \leq [\tau].$$

Тогда условие прочности по четвертой теории предельных напряжений [2, 3] примет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \leq [\sigma].$$

Запас прочности будет находиться как:

$$\eta = \frac{[\sigma]}{\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}}.$$

Когда закрепления и нагрузки заданы, конструкция разбивается на конечные элементы. Эти элементы представляются в виде сетки (рисунки 1, 2). Расчет поверхностных прочностных характеристик проводится в специализированном программном обеспечении (ПО) Nastran.

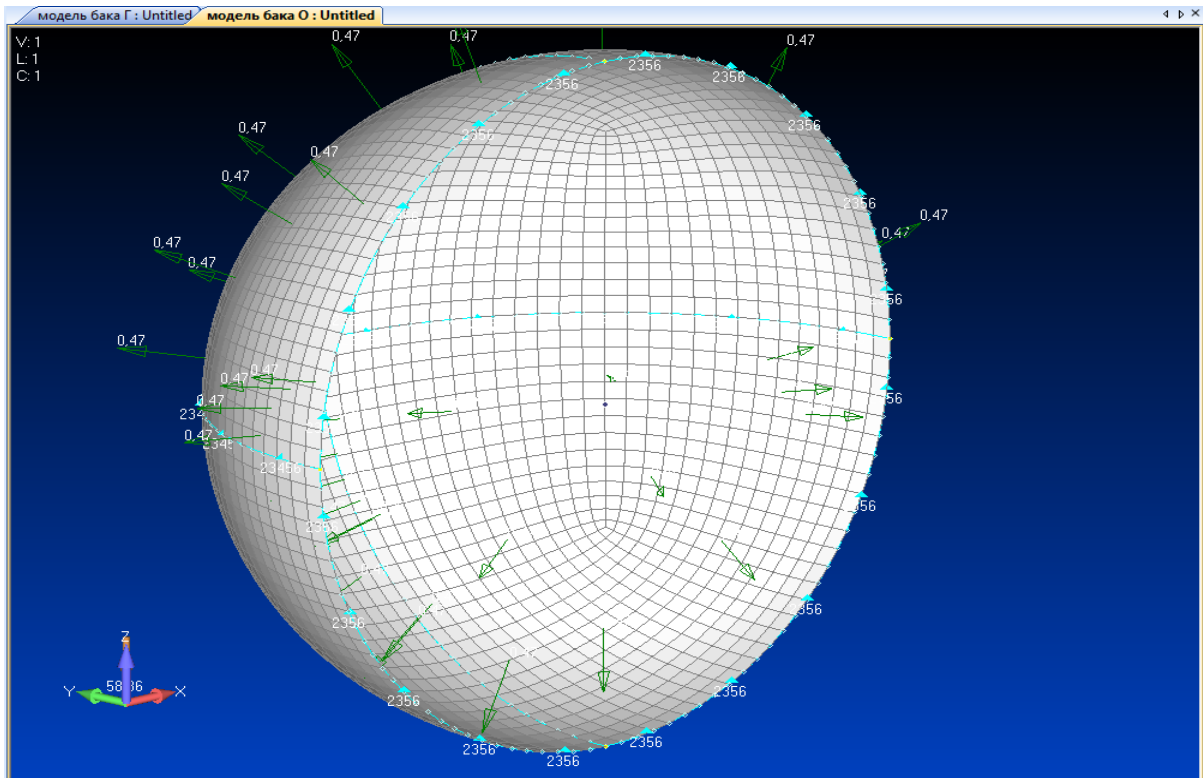


Рис. 1. Конечные элементы шарообразной модели изделия с заданными нагрузками и закреплениями в ПО Nastran

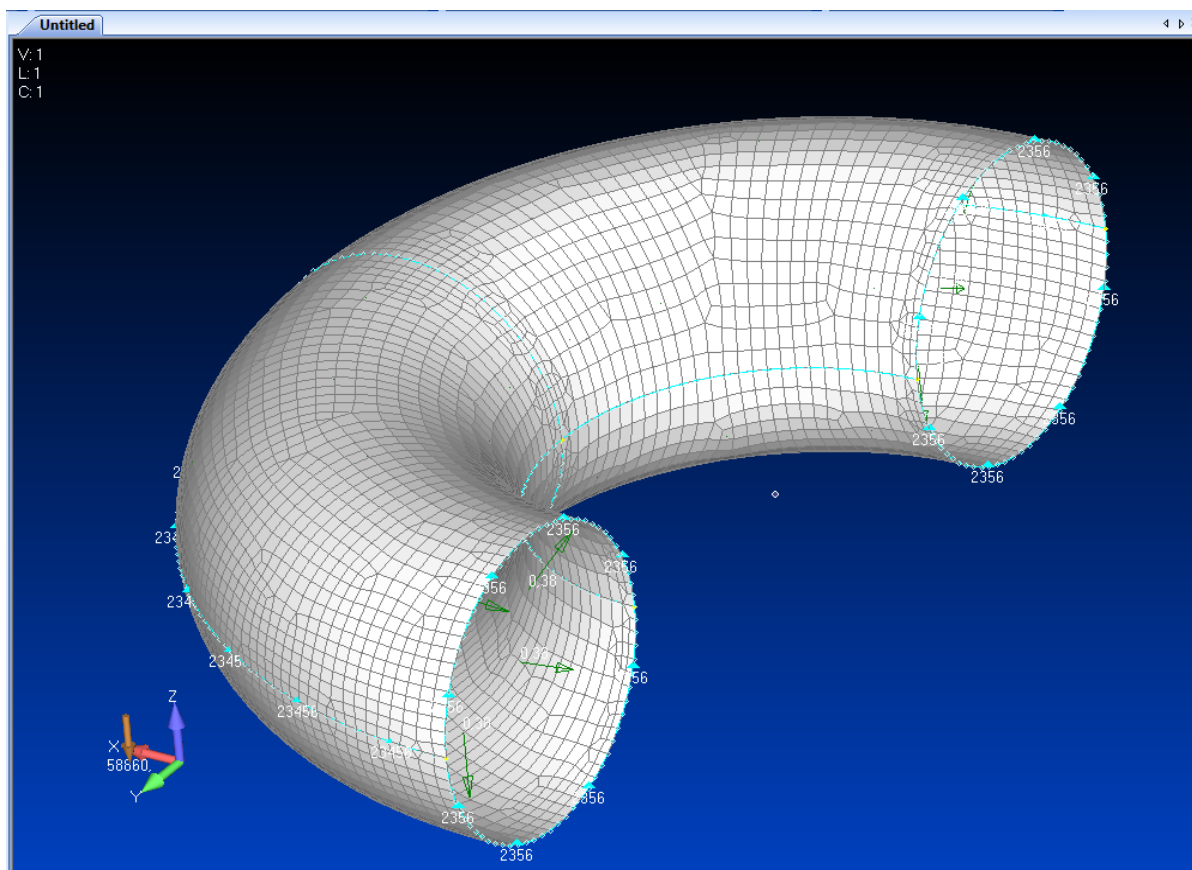


Рис. 2. Конечные элементы модели тороидального типа с заданными нагрузками и закреплениями в ПО Nastran

Прочность композитной конструкции проверяется по критерию Цая– Ву [2, 3]. Критерий имеет вид:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{33}\sigma_3^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 = 1,$$

где

$$F_1 = \frac{1}{\sigma_{1R}^+} + \frac{1}{\sigma_{1B}^-}, F_2 = \frac{1}{\sigma_{2R}^+} + \frac{1}{\sigma_{2B}^-}, F_{11} = \frac{1}{\sigma_{1R}^+ \sigma_{1B}^-}, F_{22} = \frac{1}{\sigma_{2R}^+ \sigma_{2B}^-}, F_{33} = \frac{1}{\sigma_{12B}^2}, F_{12} = -\frac{F_{11}}{2},$$

$F_{ij}$  – множители критерия Цая– Ву,  $\sigma_1, \sigma_2$ , – здесь, напряжения по направлению армирования и поперек армирования.

Для получения композитных деталей форм вращения используют намотку волокна. Сущность метода состоит в равномерной и послойной намотке пучка волокон, пропитанного связующим, на оправку, имеющую форму будущего изделия, с последующим отверждением связующего и извлечением оправки. Таким методом получают различные пустотелые изделия, имеющие форму тел вращения, трубы, шарниры, емкости и др. [1].

Варьируя состав матрицы и армирующего элемента можно достичь необходимых свойств материала. В связи с этим многие композитные материалы превосходят по своим механическим свойствам металлы и сплавы и, в то же время, они легче, поэтому использование полимерных композиционных материалов при производстве робототехнических изделий позволяет сэкономить от 5% до 30% веса. На рисунке 3 в цветовом формате показано распределение различных значений напряжений по двум выбранным для исследования поверхностям – шар и тороид.

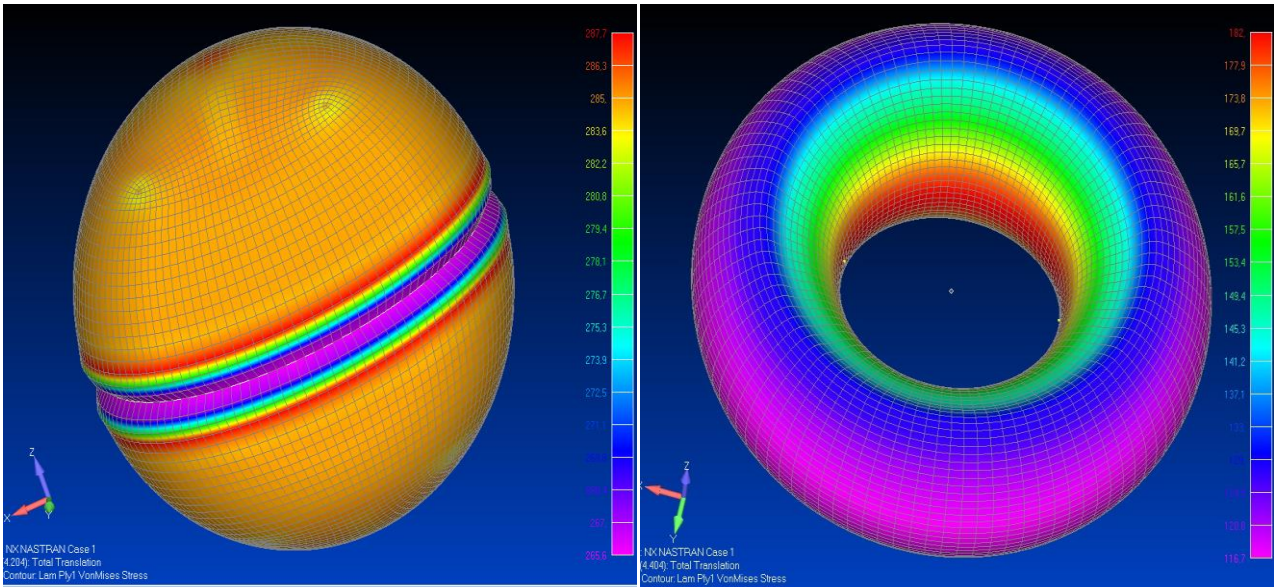


Рис. 3. Эквивалентные напряжения в лейнерах шаровой и тороидальной формы

Используются эти параметры и нагрузки из предыдущих расчётов для создания модели композитных формованных деталей с помощью ПО Nastran. Согласно данной теории прочностное состояние детали в точке считается безопасным, если октаэдрическое касательное напряжение не превышает допустимого для данного материала значения, которое не зависит от типа напряженного состояния и может быть найдено опытным путем. Формирование напряжений в виде последовательностей пригодно для моделирования распределения нагрузок по профилю изделия. Здесь целесообразно применить аппарат, разработанный Буштруком А. Д. для квазистационарных временных рядов [4 – 7]. Основные алгоритмы и процедуры метода приведены ниже.

Для получения уравнений идентификации используются следующие сигналы:

$$z_1(t) = \int_0^t h_{\delta_1}(\mu_1)x(t - \mu_1)d\mu_1, \quad z_1(t - \tau) = \int_0^{t-\tau} h_{\delta_1}(\mu_1)x(t - \tau - \mu_1)d\mu_1,$$

$$z_2(t) = \int_0^t h_{\delta_2}(\mu_2)x^2(t - \tau_2 - \mu_2)d\mu_2, \quad (1)$$

а также сигналы  $y(t)$ ,  $y(t - \tau_1)$  и  $y(t - \tau_2)$ .

Используя (1), и учитывая, что  $\int_0^\infty h_i(\theta)d\theta \neq \infty$ ,  $i \div 1, n$  и  $\int_0^\infty h_{\delta_i}(\mu)d\mu \neq \infty$ ,  $p \div 1, 2$ , а переход-

ные процессы в нелинейном объекте и в полосовых фильтрах конечны, получим выражение для взаимных корреляционных функций, измеренных между входным сигналом, пропущенным через линейный полосовой фильтр, и выходным (за модель предсказания берется функциональный оператор типа фильтр– Заде),

$$R_{z_1y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i-1} \int_0^{t-\tau_1} \int_0^t h_{2i-1}(\theta)h_{\delta_2}(\mu_1)m_{1,2i-1}(\tau_1 - \mu_1 + \theta)d\theta d\mu_1 + R_{z_1y}(\tau_1),$$

$$R_{z_1y}(-\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_1} \int_0^t h_{2i-1}(\theta)h_{\delta_2}(\mu_1)m_{1,2i-1}(-\tau_1 - \mu_1 + \theta)d\theta d\mu_1 + R_{z_1y}(-\tau_1), \quad (2)$$

$$R_{z_2y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_2} \int_0^t h_{2i}(\theta)h_{\delta_2}(\mu_2)m_{2,2i}(\tau_2 - \mu_2 + \theta)d\theta d\mu_2 + R_{z_2y}(\tau_2),$$

$$R_{z_2y}(-\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \int_0^{t-\tau_2} \int_0^t h_{2i}(\theta)h_{\delta_2}(\mu_2)m_{2,2i}(-\tau_2 - \mu_2 + \theta)d\theta d\mu_2 + R_{z_2y}(-\tau_2), \quad (3)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – число нечетных и четных членов в модели фильтра Заде,  $m_{1,2i-1}(\pm\tau)$  и  $m_{2,2i}(\pm\tau)$  – автокорреляционные моменты, образованные безынерционными элементами с характеристиками вида  $f_{2i-1} = x^{2i-1}$  и  $f_{2i} = x^{2i}$ . Уравнения (2) и (3) записаны с учетом квазистационарности входного и выходного сигналов нелинейного динамического объекта.

Для преобразования интегралов (2) и (3) используется теорема Бореля о свертке. Методика вычисления подобных интегралов приведена в [4, 5]. При преобразовании (2) и (3) учитывается, что: 1)  $h_{\delta i}(t)$  – импульсно- переходные характеристики полосовых фильтров на квазистационарных участках симметричные, т. е. для них выполняется соотношение  $h_{\delta i}(t) = (k_{\delta}/T_{\delta}) \exp\{-|t|/T_{\delta}\} \cos \omega_0^{(p)} t$ , где  $p \div 1, 2$ ,  $\omega_0^{(2)} = 2\omega_0^{(1)}$  при  $\omega_0^{(1)} = \omega_0$ ; 2) предел  $\lim h_{\delta i}(t) = \cos \omega_0 t$  при  $T_p \rightarrow \infty$  и  $k_p/T_p = 1$ .

Симметричность  $h_{\delta i}(t)$  ( $p \div 1, 2$ ) обеспечивает выполнение равенства  $F\{h_{\delta i}(t)\} = \frac{1}{2}\delta(f - f_0^{(p)}) + \frac{1}{2}\delta(f + f_0^{(p)})$ , где  $F$  – Фурье преобразование,  $-\infty \leq t \leq +\infty$ . Это равенство выполняется при соблюдении условий 1, 2. Используя фильтрующее свойство  $\delta$  – функции и свойство эрмитовой симметрии [4, 5, 7]  $K_i(\omega) = K_i(-\omega)$  и  $\Psi_i(\omega) = \Psi_i(-\omega)$ , ( $i \div 1, n$ ), для модулей комплексных коэффициентов передачи и фазовых характеристик линейных звеньев в структуре фильтра Заде [4 – 6], получим

$$R_{z_1y}(\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i-1} \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^i(\omega_0) K_{2i-1}(\omega_0) \cos(\omega_0 \tau_1 - \Psi_{2i-1}(\omega_0)) + R_{z_1y}(\tau_1), \quad (4)$$

$$R_{z_1y}(-\tau_1) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^i(\omega_0) K_{2i-1}(\omega_0) \cos(\omega_0 \tau_1 + \Psi_{2i-1}(\omega_0)) + R_{z_1y}(-\tau_1),$$

$$R_{z_2y}(\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^i(2\omega_0) \cos(2\omega_0 \tau_2 - \Psi_{2i}(2\omega_0)) + R_{z_2y}(\tau_2) \quad (5)$$

$$R_{z_2y}(-\tau_2) = \sum_{i=1}^{l_2} a_{2i} \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^i(2\omega_0) \cos(2\omega_0 \tau_2 + \Psi_{2i}(2\omega_0)) + R_{z_2y}(-\tau_2),$$

где  $S_{1,2i-1}(\omega;t) = \sigma_{xx}^{2i}(t) S_{1,2i-1}^i(\omega)$ ,  $S_{2,2i}(\omega;t) = \sigma_{xx}^{2i+2}(t) S_{2,2i}^i(\omega)$ ;  $S_{1,2i-1}^i(\omega)$  и  $S_{2,2i}^i(\omega)$  – нормированные относительно дисперсий спектральные плотности входного сигнала соответствующих размерностей. Корреляционные моменты и спектральные плотности входного сигнала связаны между собой следующими соотношениями

$$S_{1,2i-1}(\omega;t) = F\{m_{1,2i-1}(\tau,t)\}, \quad S_{2,2i}(\omega;t) = F\{m_{2,2i}(\tau,t)\}.$$

Подключая входной сигнал  $x(t)$  к элементам  $f_{2i-1}$  и  $f_{2i}$ , и используя уравнения идентификации (4) и (5), получаем оценки взаимных спектральных плотностей  $\hat{S}_{1,2i-1}(\omega,t)$  и  $\hat{S}_{2,2i}(\omega,t)$  при условии, что  $\alpha_i = 1$ ,  $K_i(\omega) \exp\{-j\Psi_i(\omega)\} = 1$  при ( $i \div 1, n$ ). Блок– схема системы для определения оценок  $\hat{S}_{1,2i-1}(\omega,t)$  и  $\hat{S}_{2,2i}(\omega,t)$  дана в [6].

После определения оценок спектральных плотностей соответствующей размерности входного сигнала  $x(t)$  можно получить из (4) и (5) частотно– временные коэффициенты или критерии, которые являются функциями частоты  $\omega$  и временного сдвига  $\tau$  (метод Буштрука А. Д.). Частотно– временные критерии – это логарифмические функции и их разности от информационных параметров  $b_i(\omega)$ , а также знакопеременные функции

$$\hat{L}_k^{(0)} = \hat{L}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \hat{L}_k^{(-\pi/2)} = \hat{L}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k); \hat{L}_k^{(\pi/2)} = L_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau), \text{sign} \hat{b}_k^{(0)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(0)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau_k),$$

$$\text{sign} \hat{b}_k^{(\pi/2)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(\pi/2)}(2\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \text{sign} \hat{b}_k^{(0)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(0)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k), \text{sign} \hat{b}_k^{(-\pi/2)} = \text{sign} \hat{b}_k^{(-\pi/2)}(\omega^{(m)}, \pm\tau_k)$$

где  $k \div 1, n$ ,  $\hat{L}_k^{(\cdot)} = 20 \lg |b_k^{(\cdot)}(d\omega^{(m)}, \tau)|$ ,  $d \div 1, 2$ .



При использовании метода и алгоритмов [6, 8, 9] могут быть получены модели временных рядов обнаруженных напряжений в изделиях для их дальнейшего использования в исследованиях. Передаточная функция формирующего фильтра [6, 7] дает будущие значения ряда, т. е. прогноз [9]. По полученным прогнозным значениям временного ряда исследуемого технологического образца можно определить изменение прочностных свойств. Эти процедуры приближают исследователя–проектировщика к реальным производственным условиям и позволяют получить практические навыки [10].

Адаптация вычислительной процедуры обеспечит достоверность полученной модели [11]. Полученные модели можно использовать при проведении исследований об изменении прочностных характеристик различных материалов и форм изделия в изменяющихся условиях эксплуатации.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бушуев Ю. Г. Углерод – углеродные композиционные материалы справочник – М. : Металлургия, 1994. – 138 с.
- 2 Зиновьев П. А. Пределные возможности многослойных композитных структур. Механика твердого тела. М., 1994.
- 3 Васильев В. В. Механика конструкций из композиционных материалов. Машиностроение, 1998. 272 с.
- 4 Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н. Структурная идентификация нелинейных динамических объектов в режиме пассивного эксперимента // А и Т. – 2001. – № 8. – С. 61–67.
- 5 Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н. Корреляционно-спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов // А и Т. 2005. – № 2. С. 46–54.
- 6 Буштрук Т. Н., Буштрук А. Д. Методы идентификации объектов и процессов. М-во тр-та РФ; Самарская гос. акад. путей сообщ. – Самара : СамГАПС. – 2005. – 150 с.
- 7 Буштрук А. Д., Буштрук Т. Н., Фазлыев И. И. Корреляционно– спектральный метод идентификации квазистационарных временных процессов с разрешением противоречия между точностью и быстродействием // А и Т. 2011. – № 7. – С. 147–158.
- 8 Буштрук Т. Н. Двухэтапная идентификация нелинейных объектов и процессов в адаптивных системах управления // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 1. – С. 72–79.
- 9 Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов // Прогноз и управление. – Вып. 1. / Пер. с англ. М. : Мир, 1974.
- 10 Буштрук Т. Н., Царыгин М. В., Кленюшин Д. С. Компьютерный обучающий комплекс для персонала предприятий вагонного хозяйства с модулем идентификации и прогнозирования временных рядов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2015. – № 4 – (224). – С. 105–113.
- 11 Буштрук Т. Н., Засов В. А. Перспективные направления моделирования и идентификации динамических систем: монография. – Самара : СамГУПС, 2019. – 158 с.

УДК 004.9

#### ПРИМЕНЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ В ИНДУСТРИИ

В. В. Козлов, В. Д. Кабанова

г. Самара, Самарский государственный технический университет

**Аннотация.** В работе рассмотрено применение промышленных роботов в производственной индустрии с их классификацией.

**Ключевые слова:** промышленный робот, робот, управления роботами.

**Abstract.** The paper considers the use of industrial robots in the production industry with their classification.

**Keywords:** industrial robot, robot, robot control.

В современном мире все чаще начинают использовать автоматические робототехнические устройства. Они занимают уже достаточно высокие места, благодаря чему дальнейшее наше существование, без их участия, кажется невозможным.

Если раньше, около 65 лет тому назад, роботы были чем-то непостижимым и тяжело доступным даже специалистам крупных научно-технических компаний, то теперь они встречаются повсеместно. В связи с этим, решения по автоматизации производства на базе промышленных роботов набирают популярность среди современного производства. Характерной чертой внедрения на предприятие ав-

томатизации труда является снижение стоимости робототехники. За прошедшие 10 лет закупочная стоимость роботов сократилась почти в 3 раза, на будущее десятилетие прогнозируется еще большее снижение стоимости, что составит еще около 20 %. Благодаря этому, робототехника набирает популярность в нарастающей автоматизации как на крупных предприятиях, так и уверенно продвигается в область малого и среднего бизнеса.

Исторически самый первый промышленный робот, изготовленный по патенту, был выпущен в 1961 году компанией Unimation Inc. От его появления прошло около полувека, но с каждым годом все еще появляется множество различных моделей. Они различны по функциональным возможностям, типу управления, степени мобильности, а также области применения.

Рассмотрим наиболее распространенную классификацию по двум основным классификационным признакам промышленных роботов, и сведем их в таблицу 1.

Таблица 1

Классификация промышленных роботов

Классификационный признак	Виды	Описание
Тип управления	Управляемые	Применяются в узких областях. Обязательно управление человеком
	Полуавтономные	Исполняют работу, следуя по пунктам существующего алгоритма. В большинстве случаев, они без сенсоров, а следовательно, не имеют возможности исправлять свою работу. При работе, требуют участие операторы.
	Автономные	Исполняют работу, следуя по пунктам существующего алгоритма, с возможностью корректировки своих действий. При работе, не требуют участия человека на большем участке ленты конвейера и работают без его присутствия.
Область применения и функциональные возможности.	Универсальные, машиностроительные, сборочные, малярные, режущие, сварочные, складские, комплектовочные и упаковочные.	Существует огромное множество видов и сфера их применения расширяется, поэтому данный список можно обновлять каждый раз.

Существенные положительные изменения от использования промышленных роботов на предприятии можно заметить с различных ракурсов. Во-первых, увеличивается значение одного из важных показателей, а именно – производительность труда. Процесс обработки стал более налаженным, уменьшается время затрат для перемещения и позиционирования, появляется возможность работы без различного рода остановок 24 часа в сутки. Во-вторых, повышается уровень качества продукта на выходе, т. к. высокая точность выполнения и регулярное повторение одного процесса способствуют устранению возможности брака, сводя к нулю вероятность возникновения рабочих ошибок, исключив человеческий фактор. А также, благодаря этому, уменьшается конечная стоимость затрат на предприятии. В-третьих, уровень условий труда для человека становится все выше, т. к. выполняемая работа, на производстве, использующего промышленных роботов, становится более безопасной. При запрете законодательством использования на данном предприятии ручного труда, единственно верным решением будет являться внедрение промышленных роботов. Также снижаются затраты на обслуживание, современные машины практически не нуждаются в ремонте благодаря асинхронным двигателям, качественным редукторам и деталям из нержавеющей стали, что повышает износостойкость и уменьшает восприимчивость.

Рассмотрим несколько основных видов роботов, сгруппированных по виду работ, с основной деятельностью.

**Промышленный робот сварщик.** Одним из наиболее востребованных направлений для внедрения промышленных роботов в предприятие является сварка. С самого начала роботизированная сварка стала применяться в автомобильном производстве. В современном мире все автомобильные производства оснащены конвейерами. В наше время в сварочных процессах участвует порядка 20 % промышленных роботов.

Невооруженным глазом можно заменить колоссальную разницу между результатом работы промышленного робота и ручной сварки. Человеческий труд сложно сравнить с трудом робота по качеству выполнения и по степени концентрации и контроля выполнения процесса.

**Промышленные роботы для автоматической загрузки/выгрузки изделий.** Автоматизированный процесс загрузки/выгрузки изделий имеет важное значение на любом производственном предприятии с высокой производительностью или большим весом и габаритами изделий.

Роботы дают возможность уменьшить суммы затрат на содержание персонала. Они позволяют освободить работников от тяжелого физического труда, уменьшая риски возникновения травм, делая работу на производстве безопаснее. Также уменьшают количество затраченного времени на выполнение одинаковых задач. Способны работать в более суровых условиях, выполнять больший объем работ, максимизировать количество рабочих часов, путем отсутствия перерывов.

**Промышленные роботы для сверления изделий.** Использование роботов для фрезерования, сверления и обработки кромок металлов, пластмасс, древесины и камня – новая, динамично развивающаяся технология.

Частоты вращения фрезеровочного инструмента набирают около 10 000 об/мин, а шлифовка швов перестает быть трудоемким процессом и занимает одно из базовых мест в плане действий.

К вспомогательной деятельности промышленных роботов можно отнести транспортировку грузов.

Перспективы применения промышленных роботов велики, т. к их возможно внедрить в большое количество отраслей в многочисленном количестве, с разными функциональными возможностями. Существуют масштабные отрасли, где возникновение даже несущественных ошибок может привести к необратимым последствиям, поэтому конечный результат автоматической работы настолько высок, что несравним с человеческим трудом даже высококвалифицированного специалиста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Промышленные роботы. Принцип работы (недоступная ссылка) // Сайт [www. robotatic. ru](http://www.robotatic.ru). Дата обращения 28 января 2020. <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/403323/>
- 2 Голубкин И. А., Антонов О. В. Исследование и моделирование процесса проведения дефектоскопии газопроводов мобильным колёсным роботом // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 1. – С. 18– 27.
- 3 Молчанов Д. А., Ворочаев А. В., Казарян К. Г. . Классификация мобильных роботов для перемещения по трубопроводу по принципу их движения // Молодёжь и XXI век – 2017: материалы VII Международной молодёжной научной конференции (Курск, 21–22 февраля 2017 г.): в 4 томах. – Курск: Университетская книга, 2017– С. 156–160.
- 4 Handbook of Industrial Robotics. 2nd ed / Ed. by S. Y. Nof. – New York: John Wiley & Sons, 1999. – 1378 p. <https://powercoup.by/novyie-tehnologii/promyishlennyye-robotyi>

УДК 621. 313. 13

#### ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СБОРА, ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ ОБ ИЗНОСЕ ПЛАСТИН КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

А. Л. Золкин

г. Нижний Новгород, Волжский государственный университет водного транспорта

**Аннотация.** В данной статье излагается новая концепция повышения надежности и долговечности элементов коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей локомотивов, которая базируется на применении метода автоматизации процесса измерений за счет применения датчиков, контролирующих всю поверхность коллектора, в целях осуществления контроля за износом пластин коллектора тягового электродвигателя локомотива.

**Ключевые слова:** коллектор, электродвигатель, контроль, автоматизация, способ измерений.

**Annotation.** This article presents a new concept for improving the reliability and durability of elements of the collector – brush Assembly of locomotive traction motors, which is based on the application of a method for automating the measurement process by using sensors that control the entire surface of the collector in order to monitor the wear of the collector plates of the locomotive traction motor.

**Keywords:** collector, electric motor, control, automation, measurement method.

Особую актуальность в научных исследованиях и практических испытаниях в сфере железнодорожного транспорта имеют проблемы увеличения показателей надежности деталей и узлов парка тягового подвижного состава, эксплуатируемого в настоящее время и являющихся наиболее слабым звеном и чаще других выходящих из строя.

Указанные обстоятельства послужили основанием для данного научного исследования и обусловили его актуальность для решения текущих проблем на железнодорожном транспорте. Особое внимание уделено научному обоснованию методики прогнозирования надежности и долговечности коллекторов в зависимости от пробега тяговых электродвигателей, которая должна основываться на анализе теоретических подходов на износ коллекторов тяговых электродвигателей в процессе их эксплуатации.

Основной объект исследования – коллектор тяговых электродвигателей постоянного тока типа ЭД-118А и ЭД-118Б тепловозов типа 2ТЭ10 (В, М, У). Диаметр коллектора 400 мм. Коллектор представляет собой конструкцию из медных пластин трапецеидального сечения, обособленных друг от друга миканитовой, либо слюдинитовой изоляцией. Пластины коллектора (их всего 216 шт.) сделаны из легированной кадмием, либо серебром твердотянутой профильной меди и штампованы как единое целое с петушками [1: 32].

Следует отметить явную недостаточность имеющихся современных методов контроля за параметрами износа коллекторов тяговых электродвигателей при их эксплуатации и ремонте, что позволяет судить об их ненадежности в настоящее время. К недостаткам традиционных способов контроля износа коллекторов тяговых электродвигателей, применяемых сегодня, можно отнести: применение наглядных способов регистрации данных измерительных приборов, что влечет за собой, в свою очередь, снижение качества (точности) показаний, в том числе нередко и к утере информации; применение субъективных методов при проведении ряда испытаний, таких как проверка коммутации, работы подшипников, ручных способов обработки и документальной фиксации результатов испытаний; отсутствие автоматизированного архива, позволяющего накапливать и анализировать данные статистики.

В производственном процессе используются разнообразные методы определения степени износа коллекторов. С этой целью применяются микрометрические скобы, индикаторные головки, лекальные линейки со щупами. Для получения точных данных измерений небольших величин износа используются профилографы.

В локомотивных депо, где степень износа зачастую определяется прямо на локомотиве, применяются лекальные линейки со щупами. Для этого линейки устанавливаются на нерабочие края пластин коллектора и при помощи щупов в нескольких местах по образующей цилиндрической поверхности на нескольких пластинах измеряют зазор между изношенной частью поверхности коллектора и линейкой. При этом величина износа равняется максимальной величине зазора.

Этот же принцип используется в процессе измерения износа с применением индикаторных головок часового типа.

Как правило, на ремонтных заводах величина износа определяется с помощью микрометрических скоб по диаметрам изношенной и неизношенной частей коллектора.

Использование для замеров штангенциркуля или микрометра является наиболее простым методом измерения износа деталей. Этот метод достаточно удобен и прост для измерения износа коллекторов во время текущего ремонта тепловозов, так как во время данного ремонта тяговые электродвигатели выкатываются из– под локомотива и разбираются.

Обобщая изложенное выше следует отметить особую актуальность в настоящее время применения информационных технологий в ремонтном производстве. Рекомендуется к использованию в процессе осуществления ремонта тяговых электродвигателей в локомотивных депо автоматизированная система, позволяющая качественно улучшить контроль за ремонтом данного узла.

Известна система [2: 1], которая включает в себя измерительные датчики, блоки преобразования, управления и обработки данных, соединенные с автоматизированными рабочими местами руководителя локомотивного депо и мастера ремонтного цеха.

Однако следует указать на недостатки указанной системы, а именно ее неоперативность и громоздкость, а также зависимость от человеческого фактора.

Максимально приближенным по технической сущности к предлагаемому способу является способ ремонта и технического обслуживания и применяемые в способе аппаратно– программный комплекс для диагностики и система для контроля качества ремонта и технического обслуживания [3: 1]. Данный способ включает классификацию и кодирование объектов, подлежащих ремонту, диагности-

ку объектов каждого вида с использованием измерительного оборудования, подключенного к локальному серверу, где формируется протокол измерений, результаты передаются в ЭВМ и они сравниваются с нормативными значениями параметров.

Применение значительного числа дорогостоящего сложного оборудования, а также необходимость выполнения сложных расчетов негативно влияет на оперативность системы, что в свою очередь является существенным недостатком данного способа.

Цель исследования сформулирована как повышение точности измерений, оперативности получения данных по износу пластин коллектора тягового электродвигателя локомотива.

Обозначенная цель достигается посредством одновременного контроля измерительными датчиками за всей поверхностью коллектора.

Суть предлагаемого метода контроля за износом пластин коллектора сводится к условному делению поверхности коллектора при визуальном осмотре, начиная от свободного конца, на четыре равных по длине пояса: I, II, III, IV размещают над поверхностью коллектора N датчиков измерения расстояния, размещенных на одном кронштейне с возможностью горизонтального перемещения по нему, при этом все датчики пронумерованы и расположены каждый над соответствующим поясом, приводят во вращение коллектор и за один оборот при помощи датчиков непрерывно фиксируют расстояние до поверхности пластин коллектора, потом перемещают датчики по кронштейну и снова вращают коллектор. Результат измерений поступает в анализатор, в котором накапливаются данные по каждому поясу, полученные фактические расстояния по поясам II, III, IV сравниваются с расстояниями по I базовому поясу и по разности величин определяют износ пластин коллектор. Итоговые данные поступают на дисплей компьютера через блок управления.

На рисунке 1 приведена схема применения метода контроля износа пластин коллектора тягового электродвигателя локомотива.

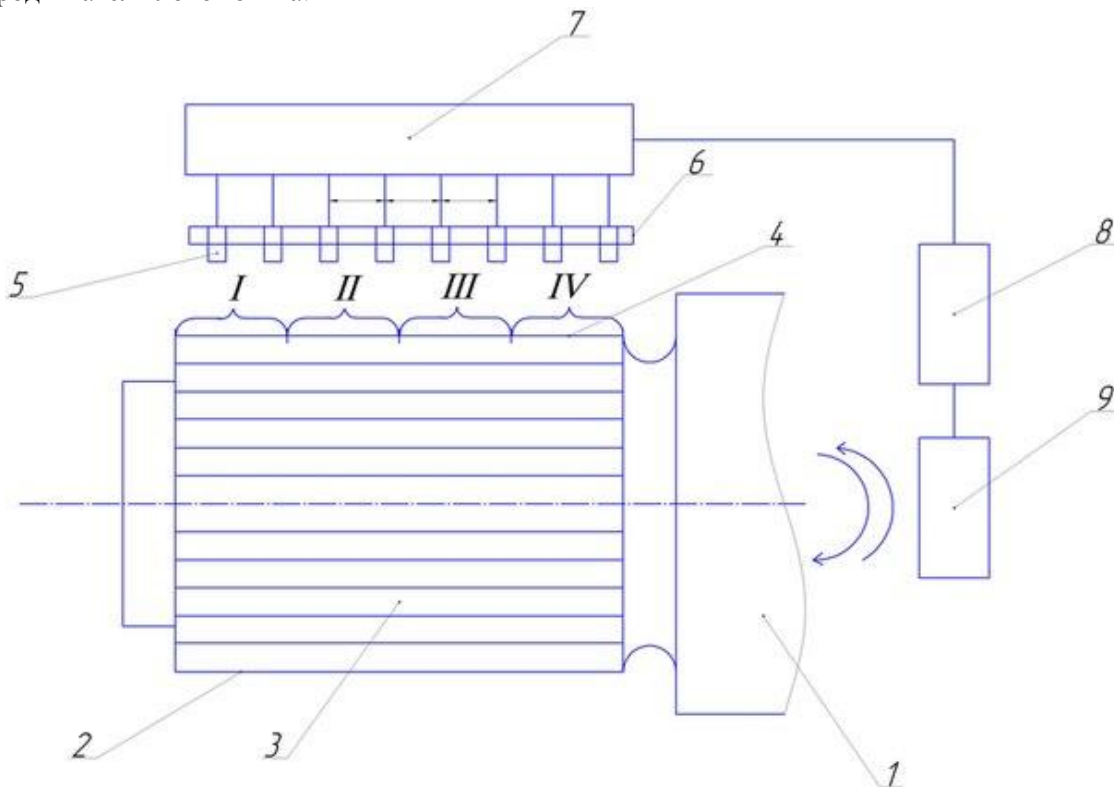


Рис. 1. Способ контроля износа пластин коллектора тягового электродвигателя локомотива:

- 1 – кронштейн для крепления датчиков, подвижный вдоль оси вращения коллектора; 2 – датчик измерения расстояния; 3 – коллекторные пластины; 4 – поверхность коллектора; 5 – анализатор; 6 – блок управления; 7 – дисплей компьютера

Схема включает в себя якорь 1 тягового электродвигателя, с коллектором 2 и коллекторными пластинами 3. Поверхность разделена на равные по длине пояса 4: I, II, III, IV. Над поверхностью коллектора имеются датчики измерения расстояния 5, они размещены на кронштейне 6, при этом датчики выходами соединены с анализатором 7, который соединен выходом с блоком управления 8. Данные измерений выводятся на дисплей компьютера 9.

Коллектор тягового электродвигателя локомотива является одним из наиболее ответственных в эксплуатации узлов [4: 57]. От качества его работы в целом зависит надежность и рентабельность эксплуатации железнодорожного транспорта. Определение износа пластин коллектора – довольно трудоемкая задача, решение которой связано с временными и финансовыми издержками. Поскольку замеры производят при помощи штангенциркуля либо микрометра вручную, имеют место быть довольно серьезные неточности измерений, довольно часто производится необоснованная обточка коллектора, что неизбежно укорачивает его ресурс [5: 151].

Предлагаемый метод контроля за износом пластин коллектора тягового электродвигателя локомотива позволяет автоматизировать процесс измерений посредством применения контролирующей всю поверхность коллектора датчиков. Предлагаемый метод контроля за износом пластин коллектора осуществляется следующим образом.

В результате разборки тягового электродвигателя якорь 1 устанавливается на специальный стенд, имеющий возможность вращаться вокруг собственной оси. Над коллектором устанавливают кронштейн 6 с набором датчиков измерения расстояния 5. Поверхность коллектора делят на равные по длине пояса 4: I, II, III, IV, причем пояс I считается базовым, поскольку износ пластин коллектора 3 в этой части минимальный, на границы участков, например, мелом, наносятся метки [6: 40].

В зависимости от типа тягового электродвигателя локомотива, а конкретно от длины коллектора 2 и пробега тягового электродвигателя, выбирается количество датчиков 5. Кронштейн 6, на котором укреплены датчики 5, устанавливается подвижно. Датчики 5 своими выходами подсоединены к анализатору 7, соединенному выходом со входом блока управления 8, выходом соединенным с дисплеем компьютера 9.

Все датчики 5 пронумерованы, над каждым поясом 4 расположено конкретное число датчиков в зависимости от состояния поверхности пластин коллектора, которые могут перемещаться в рамках поверхности одного пояса [7: 59].

По мере готовности оборудования к замерам ручным способом начинают поворачивать якорь 1. После каждого оборота якоря 1 по анализатору 7 данные замеров расстояний по каждому поясу подлежат фиксации.

Если над каждым поясом 4 размещено достаточное количество датчиков 5, то данные замеров отражают фактическую картину износа поверхности пластин коллектора [8: 105]. Если же установлено недостаточное количество датчиков над поверхностью поясов, то датчики перемещают по кронштейну 6 в пределах пояса 4 и вновь выполняют оборот якоря 1. Точность сведений о состоянии поверхности напрямую зависит от количества точек замера в рамках одного пояса.

Первичные результаты о состоянии поверхности пластин коллектора 3, получаемые в процессе сравнения результатов поясов II, III, IV с результатами базового пояса I, являются наглядными,

По мере окончания замеров сведения из анализатора 7 направляют в блок управления 8. В нем проводится сравнительная обработка информации при помощи специальных программ для получения точного результата о состоянии поверхности пластин коллектора либо в виде таблиц, либо в виде профилограмм [9: 124].

Подводя итоги исследованию, проведенному в настоящей статье, отметим, что предлагаемый метод дает возможность одновременно производить замеры величины износа пластин коллектора по всей его длине с использованием датчиков, что в свою очередь приводит к повышению точности измерений и оперативности получения информации по износу пластин коллектора.

Анализ данных, полученных с использованием описанного способа измерения износа, продемонстрировал способность коллектора изменять форму окружности в силу воздействия технологических и эксплуатационных факторов. Первые могут быть вызваны технологическими отклонениями при изготовлении коллектора, а именно неточной обработкой, балансировкой и другими факторами, что в итоге дает эксцентricность, овальность и местный бой [10: 111]. Иногда указанные недостатки коллектора могут произойти в условиях эксплуатации под воздействием динамических, электромагнитных, тепловых факторов, усадки изоляции, ослабления затяжки шпилек коллектора и пр. Таким образом, с точки зрения надежности интересен анализ геометрии коллектора, как наиболее важной характеристики.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Золкин А. Л., Клюканов А. В., Шмойлов А. Н. Автоматизация процесса измерений износа пластин коллектора тягового электродвигателя // Наука и образование транспорту. – 2017. – № 1. – С. 32–34.
- 2 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Автоматизированная система учета, контроля и прогнозирования износа коллекторов тяговых электродвигателей локомотивов: патент на полезную модель № 89248, МПКG01R

- 31/34, H01R 39/58; № 2008147230/22; Заявлено 02. 12. 2008; Опубл. 27. 11. 2009; Приоритет 02. 12. 2008 // Изобретения. Полезные модели. 2009. Бюл. № 33.
- 3 Молчанов В. В., Камнев М. И., Бочаров А. Г. Способ ремонта и технического обслуживания и применяемые в способе аппаратно-программный комплекс для диагностики и система для контроля качества ремонта и технического обслуживания // Заявка № 2007103326 от 2007. 01. 26 опубл. 2008. 08. 10.
  - 4 Золкин А. Л. Повышение качества обработки при ремонте коллекторов тяговых электродвигателей локомотивов // Дни студенческой науки: сборник научных трудов студентов и аспирантов. – Вып. 7. – Самара: СамГАПС, 2006. – С. 57–58.
  - 5 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Исследование влияния коммутационного искрения на надежность коллекторно-щеточного узла тяговых электродвигателей // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: материалы IV Всероссийской конференции. – Камышин : КТИ ВолГТУ, 2006. – С. 151–152.
  - 6 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Деформация коллектора электродвигателя в эксплуатации как случайный процесс // Устойчивость, управление и моделирование динамических систем: материалы междунар. научн. конф., посвященной 75-летию со дня рождения И. Я. Каца. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – № 54 (137). – С. 40–41.
  - 7 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Исследование профиля коллектора тягового электродвигателя // Новые материалы и технологии – НМТ– 2006: Матер. Всеросс. научн.-технич. конф. – М. : ИЦ МАТИ, 2006. – Т. 2. – С. 59–60.
  - 8 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Оценка влияния эксплуатационных режимов работы тяговых электродвигателей на их надежность // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта: материалы III Междунар. научн.-практ. конф. – Самара : СамГАПС, 2006. – С. 105–106.
  - 9 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. О механической обработке коллекторов тяговых электродвигателей локомотивов // Современные проблемы машиностроения: труды III Междунар. научн.-технич. конф. – Томск : ТПУ, 2006. – С. 224–226.
  - 10 Золкин А. Л., Просвиров Ю. Е. Исследование профиля коллектора электродвигателя в различных режимах // XIV Туполевские чтения: материалы Междунар. молодежной научной конференции. Том 3. – Казань : Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2006. – С. 111–112.

УДК 007. 52

## СИСТЕМА ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ КОМАНД-МАКРОСОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ

Д. С. Колтыгин, И. А. Седельников

г. Братск, Братский государственный университет

**Аннотация.** Рассмотрена задача создания эффективной системы программирования для робототехнических систем на основе G-кода. Представлены примеры алгоритмов и программ различного уровня. Показана эффективность такого метода развития программного обеспечения для роботов-манипуляторов и другого технологического оборудования гибких автоматизированных производств.

**Ключевые слова:** Система управления, робототехника, программирование, автоматизация.

**Abstract.** The problem of creating an effective programming system for robotic systems based on G– code is considered. Examples of algorithms and programs of various levels are presented. The effectiveness of this method of developing software for robotic manipulators and other technological equipment for flexible automated production is shown.

**Keywords:** Control system, robotics, programming, automation

**Введение.** Развитие средств автоматизации технологических процессов, гибких автоматизированных производств (ГАП) требует новых методов и подходов к применению роботов-манипуляторов, робототехнических комплексов (РТК), а так же аппаратных и программных составляющих этих процессов. Одним из важных аспектов является разработка программного обеспечения (ПО), которое наиболее эффективно позволит управлять технологическим процессом, использовать промышленную робототехнику. К таким факторам эффективности относятся экономические затраты и временные затраты. Экономические затраты включают в себя стоимость ПО, подготовку специалистов, стоимость разработки программ управления и др. Временные затраты включают такие важные составляющие как, модернизация и внедрение новых участков ГАП, разработка программ управления, сопряжения ПО. Простота и скорость разработки новых программ управления, унификация программ, а также малое время обучения и использование различных языков высокого уровня в про-

мышленной робототехнике, является актуальной задачей современных автоматизированных производств. В этом смысле перспективным является автоматизация самого процесса программирования роботов для технологических процессов.

**Постановка задачи.** В современном роботизированном производстве взаимодействует множество различных технологических объектов. ГАП должны оперативно перестраиваться, перепрограммироваться на меняющиеся задачи. Для этого необходимо, чтобы системы управления имели такие системы программирования, которые позволят в самый короткий срок перепрограммировать работу ГАП. В большинстве случаев стандартные системы управления роботами имеют систему программирования низкого уровня (роботоориентированный язык, или коды системы управления). Таким распространенным языком программирования в робототехнике является G-код.

Основные команды языка:

- Перемещение рабочих органов оборудования с заданной скоростью (линейное и круговое).
- Выполнение типовых последовательностей (таких, как обработка отверстий и резьба).
- Управление параметрами инструмента, системами координат, и рабочих плоскостей.

В таких системах требуется значительное время для создания программ и высокого уровня подготовки специалиста. Особенно важным является то, что в ГАП необходимо создавать сложные программы с использованием циклов, условий, переходов, подпрограмм. Также только языки высокого уровня позволяют оперативно создавать визуализацию работы, моделирование процессов, переносимость программ между вычислительными платформами. Использование интеллектуальных систем, автоматизированных систем программирования, поддержка языков высокого уровня, делает возможным повысить эффективность ГАП.

Предлагается один из подходов автоматизации программирования роботов-манипуляторов для управления ГАП, основанный на создании команд-макросов на языке высоко уровня для систем с низкоуровневым G-кодом.

**Методы решения задачи.** Создание алгоритмов и программная реализация команд G-кода в Microsoft Visual Basic (MVB) с помощью создания команд-макросов значительно расширяет возможности работы с ГАП. Алгоритмы работы цикла с предусловием и работы безусловного цикла, цикла с параметром и работы команды перехода по меткам, работы условного оператора представлены на рис. (1–3). Такие алгоритмы и программы позволят значительно упростить создание сложных программ-циклов ГАП. Пользователь, оператор может использовать библиотеку команд-макросов для создания новых программ, модернизации существующих, программист отвечает за создание команд-макросов.

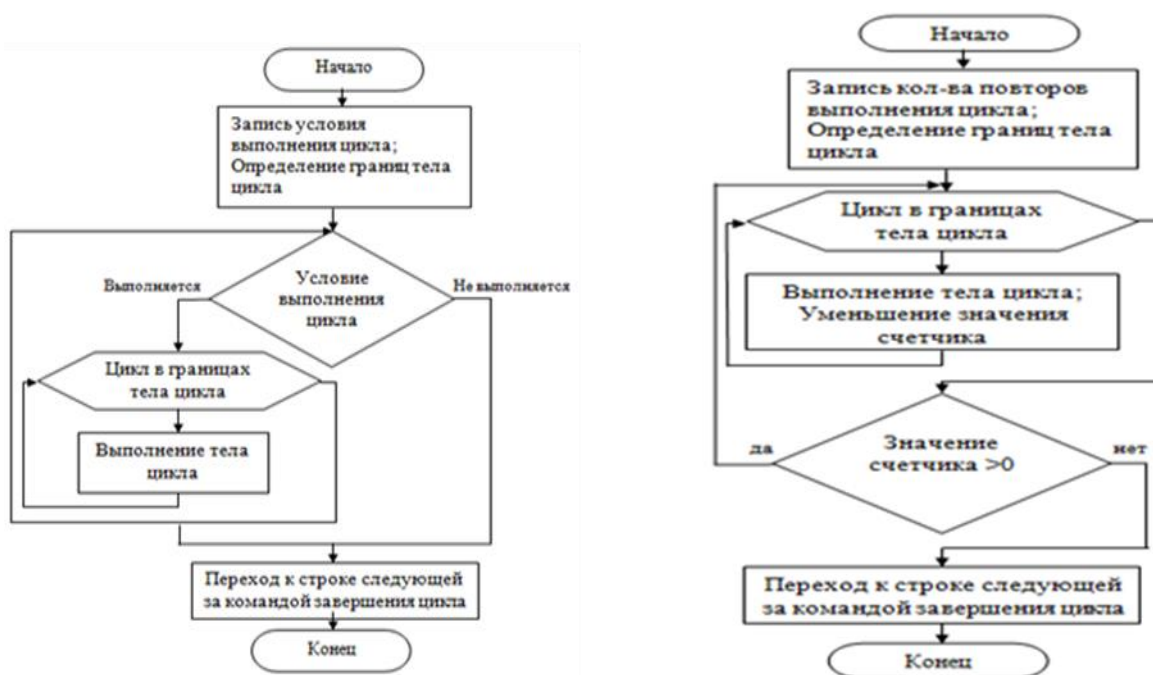


Рис. 1 Алгоритм работы цикла с предусловием и работы безусловного цикла.





Рис. 2. Алгоритм работы цикла с параметром и работы команды перехода по меткам.

Такие команды-макросы легко переписать на другие языки программирования и платформы. Ниже представлены примеры реализации разработанных команд-макросов при использовании G- кода пользователем.

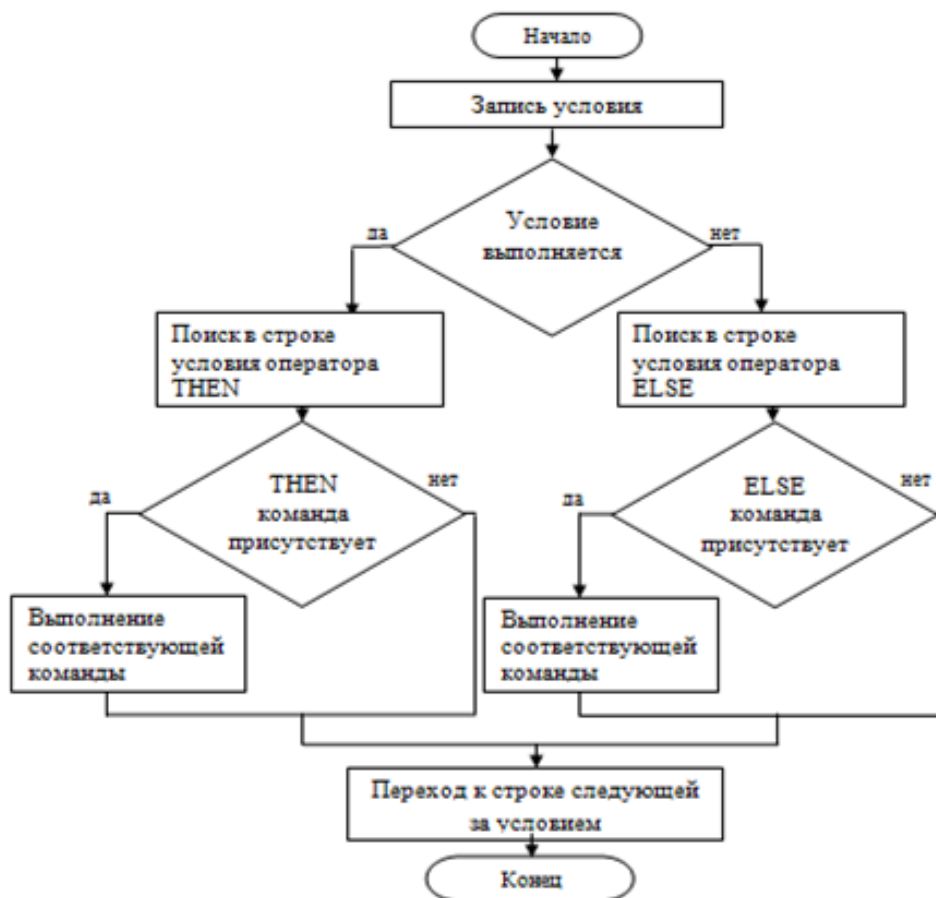


Рис. 3. Алгоритм работы условного оператора

```
BEGIN //начало программы
//указываем систему координат, в которой будут выполняться операции
РОБОТ
//безусловный цикл заполнения контейнера деталями выполняется 5 раз
@1: //метка перехода
LOOP 5
G01 X03900 Y01200 Z09450 F100
M11
G01 X01600 Y02200 Z09450 F100
M10
IF( f=1) // проверка наполненности контейнера
THEN // условие выполняется
BREAK //прерывание цикла наполнения
END_LOOP
//проверка наполненности контейнера
IF( f=1) // проверка условия «f– состояние датчика»
THEN // условие выполняется
WHILE(f=1)
G01 X03900 Y01200 Z09450 F100
M10
G01 X01600 Y02200 Z09450 F100
PAUSE: 12 //пауза 12 сек. на время сверления детали
G01 X03900 Y01200 Z09450 F100
M11
END_WHILE
ELSE //условие не выполняется
GO: @1 //переход на метку «@1»
END_IF
PR: C: /1. txt //запуск подпрограммы «1. txt» ( вставляет в текущее место код написанный в файле)
FINISH // конец программы
```

```
Содержимое «1. txt»
FOR(0;i<5; i+2)
RHOME
G01 X03900 Y01200 Z09450 F100
G01 X01600 Y02200 Z09450 F100
END_FOR
```

Примеры программной реализации некоторых команд в Microsoft. Visual Basic

```
BEGIN– определенное начала программы
b = RichTextBox2. GetLineFromCharIndex(RichTextBox2. Find("BEGIN"))
```

```
FINISH– определенное конца программы
k = RichTextBox2. GetLineFromCharIndex(RichTextBox2. Find("FINISH"))
```

```
BREAK
If (Microsoft. VisualBasic. Left(RichTextBox2. Lines(i), 5) = "BREAK") Then
GoTo Line2
End If
```

```
PAUSE: «время»
If (Microsoft. VisualBasic. Left(RichTextBox2. Lines(i), 6) = "PAUSE: ") Then
time = CInt(Microsoft. VisualBasic. Right(RichTextBox2. Lines(i), Len(RichTextBox2. Lines(i)) – 6))
SleepVB(time)
End If
Где time– время паузы в секундах
```

```
CONTINUE
If (Microsoft. VisualBasic. Left(RichTextBox2. Lines(i), 8) = "CONTINUE") Then
GoTo Line1
End If
```

```
GO: «метка»
If (Microsoft. VisualBasic. Left(RichTextBox2. Lines(i), 3) = "GO: ") Then
Then
GoTo g = Microsoft. VisualBasic. Right(RichTextBox2. Lines(i), Len(RichTextBox2. Lines(i)) – 3)
End If

DO
If (Microsoft. VisualBasic. Left(RichTextBox2. Lines(i), 2) = "DO") Then
Do While RichTextBox2. Lines(i + m) <> "END_DO"
m += 1
If RichTextBox2. Lines(i + m) <> "END_DO" Then
q = RichTextBox2. Lines(i + m)
SerialPort1. Write(q & vbCr)
SleepVB(20)
End If
Loop
End If
```

**Анализ полученных результатов.** Переход от низкоуровневых роботоориентированных языков к языкам высокого уровня, и более того, к использованию библиотек команд-макросов значительно повышает эффективность программирования ГАП. На основе полученных алгоритмов и программ упрощается работа оператора ГАП, появляются возможности создания собственных систем визуализации, моделирования процессов, подпрограмм, обработки различных условий для адаптивной работы в ГАП. Пользователь получил возможность разрабатывать эффективные алгоритмы управления ГАП, что более важно, чем создание кода программ.

**Практическое приложение результатов.** Разработанные алгоритмы и программы внедрены в учебный процесс при изучении дисциплин “Основы робототехники”, “Робототехнические системы и комплексы” Братского государственного университета.

Создана программа управления роботом-манипулятором DELTA с новыми возможностями по созданию сложных управляющих программ [6, 7].

На программу получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ [9].

**Выводы.** Выявлены требования к созданию современного ПО для ГАП с применением РТК.

Созданы алгоритмы и программы для команд-макросов, позволяющие значительно расширить возможности работы с ГАП.

Предложен подход к повышению эффективности программирования РТК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Красильникъянц Е. В., Варков А. А., Тютиков В. В. Программное обеспечение системы управления IntNCR манипуляционным роботом // Мехатроника. Автоматизация. Управление. – 2012. – №3. – С. 31–36.
- 2 Стандарт МЭК 6-1163/3. «Программируемые контроллеры. Часть 3: Языки программирования».
- 3 ГОСТ 24836– 81. Устройства программного управления промышленными роботами. Методы кодирования и программирования.
- 4 ГОСТ 27696– 88. Промышленные роботы. Интерфейсы. Технические требования.
- 5 Робот PASCAL DELTA 1-3X-USB+. Сферическая система координат. Учебное пособие. – Челябинск : ООО «Уральские станки», 2015 – 47 с.
- 6 Колтыгин Д. С. , Седельников И. А. Методика разработки программы управления роботом для робота-манипулятора Delta // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (70). – С. 103–116.
- 7 Колтыгин Д. С., Седельников И. А., Программа управления роботом-манипулятором DELTA V.1.0 // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. – 2017. – Т. 1. – С. 100–103.
- 8 Бройнль Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления. – М. : ИКИ, 2012. – 520 с.
- 9 ROBOT DELTA V. 1. 0 Седельников И. А., Колтыгин Д. С. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019614518, 05. 04. 2019. Заявка № 2019612975 от 19. 03. 2019.
- 10 Тютиков В. В., Красильникъянц Е. В., Варков А. А. Компоненты программного обеспечения манипуляционного робота // Вестник ИГЭУ. – Вып. 4. – 2011. – С. 40–43.

## ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ПОДАЧИ ГАЗА В ЦИЛИНДРЫ ГАЗОДИЗЕЛЯ

П. В. Летягин, В. В. Асабин

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе рассмотрена электронная система подачи газа в цилиндры автономных локомотивов, которая позволяет устанавливать оптимальные по расходу топлива углы начала подачи газа для каждой позиции контроллера машиниста. При использовании обратной связи с объектом управления имеется возможность корректировки параметров рабочего процесса при работе дизеля.

**Ключевые слова:** газодизель, газ, подача газа, электронная система, газодизельная установка, газотепловоз, процесс горения .

**Abstract.** The paper considers an electronic system for supplying gas to the cylinders of Autonomous locomotives, which allows you to set the optimal fuel consumption angles for starting the gas supply for each position of the driver's controller. When using feedback from the control object, it is possible to adjust the parameters of the workflow when the diesel engine is running.

**Keywords:** gas diesel, gas, gas supply, electronic system, gas diesel installation, gas heat carrier, Gorenje process.

В настоящее время накоплен большой научно–технический задел по переводу тепловозов на природный газ. Ведущими научными институтами и предприятиями проработаны схемы маневровых и магистральных газотепловозов для использования как сжатого, так и сжиженного природного газа [1, 2].

Внедрение газотепловозов сдерживается главным образом, следующими факторами:

- нерешенный вопрос устойчивого газоснабжения по причине больших капиталовложений в инфраструктуру путевого хозяйства;
- нерешенный вопрос размещения на борту тепловоза запаса газа, достаточного для 7...8 дней работы без дозаправки.

Перевод тепловозов для работы на природный газ осуществляется по газодизельному рабочему процессу исходя из преимуществ газодизельного цикла, простоты переоборудования и обеспечения эксплуатационной надежности (конвертируемость работы дизеля осуществляется переключением тумблера). Запальная порция дизельного топлива составляет 15 % общего расхода (газ+дизельное топливо), что обусловлено требованием к устойчивой, без пропусков подачи, работе топливной аппаратуры [3–5].

Впрыск запального жидкого топлива регулируется электронной системой (рис. 1).



В состав системы входят: шесть электромагнитных клапанов в соответствии с числом цилиндров дизеля; управляющий электронный блок на базе микроконтроллера; датчики вращения коленчатого и

распределительного валов дизеля; датчики давления газа и масла; датчики температуры отработавших газов, надувочного воздуха и воды контура охлаждения.

В гидромеханическом режиме управления осуществляется основной впрыск дизтоплива. Если двигатель работает на газе, то продолжительность и момент впрыска запального жидкого топлива в цилиндры обеспечивает индивидуально управляемый электромагнитный клапан. Данный механизм впрыска является наиболее оптимальным и обеспечивает минимальный уровень образования оксида азота (составляющая углеродистых выбросов), а также гарантирует стабильность источника воспламенения обеднённой смеси газ– воздух в камере сгорания.

Переход двигателя с дизтоплива на газ, осуществляется автоматически при нагрузках менее 80 % от полной нагрузки. Автоматический режим переключения осуществляется после команды оператора без изменения нагрузки. Длительность переключения не превышает 60 секунд. В течение этого периода дизтопливо замещается сжиженным газом. Во время работы двигателя на газе, дизтопливо используется для охлаждения сопла, при этом расход жидкого топлива не превышает 1 % от потребления при полной нагрузке. Такая эксплуатационная гибкость наглядно отражает достоинство 2-х топливной системы тепловоза.

При любых условиях эксплуатации важно добиться оптимального соотношения воздух – топливо, поскольку данное значение напрямую влияет на показатель производительности двигателя и минимизацию выбросов. Большую роль в оптимизации выбросов выполняет клапан выхлопных газов.

Незначительный объем отработанных газов через выпускной клапан направляется в обход турбокомпрессора. Выпускной клапан обеспечивает необходимое соотношение смеси воздух – топливо во всех режимах эксплуатации.

Процессом горения в каждом цилиндре можно управлять в индивидуальном порядке. Поступление газа в цилиндры осуществляется перед воздушным впускным клапаном. Сам клапан управляется электронной системой дистанционно. Данная схема управления позволяет выделять в каждый цилиндр необходимое количество газа. Продуть цилиндр можно без подачи газа сразу в выхлопную систему, поскольку время для каждого клапана можно определить заранее, независимо от других.

Индивидуально-регулируемый впуск газа обеспечивает оптимальную эксплуатацию двигателя (показатель КПД) и выбросов за счет правильного соотношения воздух – топливо. Подобная схема работы минимизирует риски ложного зажигания, остановки и детонации. Впускные клапаны подвергаются существенной нагрузке, поэтому сделаны из прочных материалов и имеют короткий ход. В результате внедрения предложенных технических решений обеспечивается низкий уровень износа двигателя и увеличенные интервалы до подачи заявки на проведение очередного технического обслуживания.

Насос для дизтоплива оснащен приводом от ДВС. Механизм работы насоса, следующий: от блока управления двигателем, поступает сигнал с конкретным значением исходящего давления. Насос поддерживает заданное давление на указанном уровне, при этом обеспечивает передачу в систему управления двигателем данных о преобладающем давлении.

На рис. 2 представлена схема системы управления топливоподачей. При движении поршня в верхнем направлении топливо попадает в специальную близлежащую полость, имеющую отдельный клапан. В крайнем левом положении клапана полость сообщается с линией пониженного давления топливного насоса высокого давления (в сокращении – ТНВД). Клапан соединен с якорем электромагнита и управляется в электронном режиме. Сигнал от электронного блока управления двигателем подается на электромагнит, после чего срабатывает якорь. В этот момент клапан сдвигается вправо и кромкой разобщает полость с линией низкого давления топливного насоса. Затем, под действием высокого давления топливо вытесняется в штуцер ТНВД.

Предложенный механизм управления позволяет оперативно манипулировать углом опережения впрыска топлива с учетом разных режимов нагрузки и скоростей. Данная схема топливного насоса высокого давления успешно внедрена на дизелях типа Д50 (6ЧН 31, 8/33), изготовленного на ОАО «Пензадизельмаш». Дизель Д50 предназначен для использования в качестве дизель-генераторной установки магистральных, маневровых и промышленных тепловозов на железной дороге, а также водного транспорта, имеет мощность  $N_e=730 \dots 880$  кВт (1000–1200 л. с.) [6, 7].

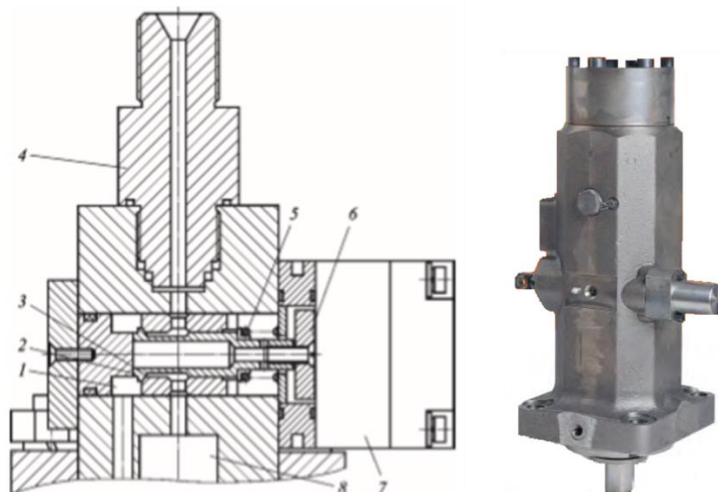


Рис. 2. Электроуправляемый топливный насос высокого давления  
 1 – линия низкого давления ТНВД; 2 – клапан; 3 – кромка клапана;  
 4 – штуцер ТНВД; 5 – возвратная пружина; 6 – якорь; 7 – электромагнит;  
 8 – надплунжерная полость

Через трубопровод системы подачи топлива топливо под высоким давлением подается в каждую двухигльную форсунку. Данный принцип действует как резервуар со сжатым воздухом и глушитель пульсовых колебаний давления в системе. Топливная система имеет двухслойную конструкцию и сигнальную систему против утечек.

Все функции двигателя находятся под контролем системы управления двигателем (рис. 3).

Разные модули электронной системы ориентированы на выполнение ряда функций. Их взаимодействие происходит через шину данных CAN. Преимущества электронной системы управления двигателем:

- надежность и простота в обслуживании достигается за счет разводки кабельных жил стык-в-стык, прочному монтажу электроники и использованию кабелей высокого качества;
- взаимодействие с другими системами через шину данных;
- минимум кабелей, подведенных к двигателю;
- простота настройки и хорошая гибкость;
- отсутствие влияния электромагнитных помех на оцифрованные сигналы управляющей системы;
- поиск неисправностей с помощью встроенных средств диагностики.

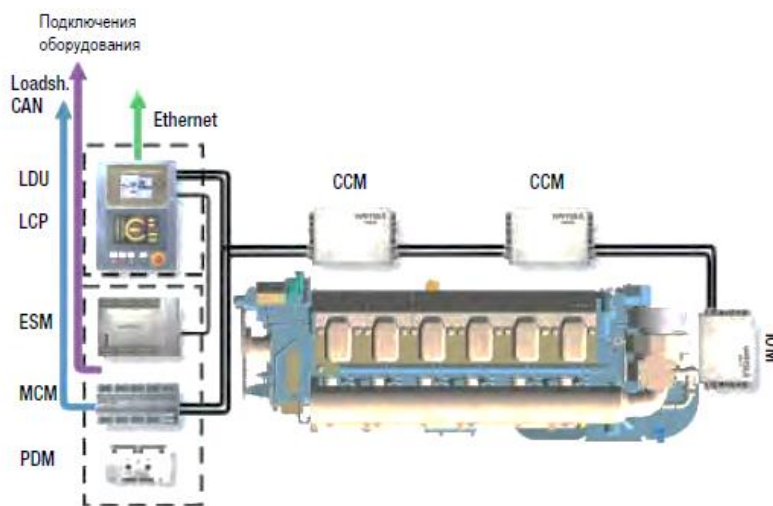


Рис. 3. Микропроцессорная распределенная система управления:  
 ИОМ – ориентированный модульный интерфейс (блок ввод– вывод); ССМ – обычный командный режим; PDM– система управления данными; MCM– микропроцессорный контроллер; ESM– электронная система мониторинга; LCP– протокол управления соединением; LDU– блок данных логической связи;  
 CAN– сеть контроллеров

Электронная система регулирования, как главный модуль управления работой двигателем обеспечивает эксплуатацию силовой установки в любых режимах нагрузки в условиях изменения температуры внешней среды и качества потребляемого газа. Модуль управления не просто получает информацию от других модулей, но и анализирует и корректирует данные для оптимальной работы двигателя. Иными словами, электронный модуль управляет нагрузкой и регулирует скорость двигателя посредством использования входной информации с формированием номинальных значений для впуска основного газа, выявления оптимального соотношения воздух – топливо и длительности подачи дизтоплива. Система безопасности, циклы запуска/остановки двигателя управляются автоматически.

Модуль управления цилиндрами регулирует работу трех цилиндров. Управляющая функция заключается в определении правильного соотношения воздух – топливо посредством индивидуального регулирования впуска газа для каждого цилиндра. Управляющий модуль оценивает общую картину неконтролируемого горения в цилиндре, т. е. интенсивность детонации, поскольку данная информация необходима для расчета правильного соотношения воздух – топливо и времени впрыска.

Детонация бывает двух типов – легкая и большая. В первой ситуации регулирование времени впрыска дизтоплива и расчет соотношения воздух – топливо происходит автоматически. Вторая ситуация чревата отключением газа или сокращением нагрузки. Мониторинг ситуации обеспечивают специальные модули, расположенные вблизи группы датчиков, что позволяет избавиться от лишних сигнальных кабелей. Командно-информационные сигналы попадают в главный модуль управления, где используются для централизованного контроля работы двигателя и системы безопасности. Контрольные показатели постоянно направляются во внешнюю систему управления на интерфейс оператора.

Электронная система подачи газа в цилиндры автономных локомотивов позволит устанавливать углы начала подачи газа, оптимальные по расходу топлива для каждой позиции контроллера машиниста. При использовании обратной связи с объектом управления имеется возможность корректировки параметров рабочего процесса при работе дизеля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Курманова Л. С. Повышение эффективности работы тепловозов путем применения газомоторного топлива // Известия Транссиба. – 2017. – № 3 (31). – С. 22–31.
- 2 Носырев Д. Я., Булыгин Ю. И., Курманова Л. С. Улучшение энергоэкономических показателей дизелей тепловозов путем применения смеси дизельного топлива и природного газа // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 1 (73). – С. 110–117.
- 3 Носырев Д. Я., Булыгин Ю. И., Курманова Л. С. Расчетно-экспериментальная оценка эффективности использования смеси дизельного топлива и природного газа в тепловозных дизелях // Вестник транспорта Поволжья. – 2019. – № 1 (73). – С. 118–125.
- 4 Курманова Л. С., Петухов С. А. Проблемы и перспективы применения газомоторного топлива в транспортных энергетических установках // Вклад молодых ученых в аграрную науку: материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 321–323.
- 5 Курманова Л. С., Способы организации рабочего цикла в тепловых двигателях для работы на смеси дизельного топлива и природного газа // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 6 (72). – С. 111–120.
- 6 Григорович Д. Н. Микропроцессорная система управления газодизельным процессом маневрового локомотива // Вестник ВНИИЖТ. – 2008. – № 3. – С. 29–34.
- 7 Игин В. Н., Марков В. А., Фурман В. В. Эксплуатационные испытания тепловоза с электронной системой управления топливopодачей // Известия высших учебных заведений. – 2014. – № 4. – С. 25–37.

УДК 681.31, 519.254

#### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОЙ НУЛЕВОЙ СХЕМЫ ВЫПРЯМЛЕНИЯ НА НАГРУЗКУ ТИПА ДПТ НВ

М. М. Моисеев, А. А. Рудаков, В. В. Антонова, И. Л. Сандлер

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе представлена имитационная модель трехфазной нулевой схемы выпрямителя на нагрузку типа ДПТ НВ, разработанная по средствам пакета Matlab библиотеки Simulink и SimScare. Модель позволяет получать временные диаграммы напряжений и токов на нагрузке (ДПТ НВ), системе импульсно-фазового управления и трехфазном источнике питания.

**Ключевые слова:** трехфазный нулевой управляемый выпрямитель, ДПТ НВ, нагрузка, трехфазный источник напряжения.

**Abstract:** the paper presents a simulation model of a three-phase zero circuit rectifier to load type DPT NV, developed by means of the Matlab package library Simulink and SimScape. The model allows to obtain time diagrams of voltages and currents on the load (DPT NV), pulse-phase control system and three-phase power supply.

**Keywords:** three-phase zero controlled rectifier, DPT NV, load, three-phase voltage source.

В работе представлена имитационная модель, разработанная по средствам пакета Matlab библиотеки Simulink и SimScape [1, 2] (рисунок 1), трехфазной нулевой схемы выпрямления на нагрузку типа двигатель постоянного тока независимого возбуждения, используемая в силовой схеме комплектного электропривода «Кемток» [3, 4]. Силовая часть выполнена по реверсивной трехпульсной противопараллельной схеме выпрямления с уравнительными дросселями, в свою очередь, каждый комплект тиристорных групп строится по трехфазной нулевой схеме выпрямления.




Имитационная модель условно разделена на 3 части: силовая схема (2, 4, 5, 6, 7, 12, 15, 16), СИФУ(3, 7, 8, 9, 10, 11, 15) и блоки измерений (12, 14, 17). Описание блоков имитационной модели представлены в таблице.

Таблица

Расшифровка имитационной модели

№ блока в модели	Название блока	Пиктограмма блока	Назначение в модели
1	Powergui Графический интерфейс пользователя		Блок является инструментом графического интерфейса пользователя
2	AC Voltage Source Идеальный источник переменного напряжения		Вырабатывает синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой. Моделирует вторичную обмотку трансформатора
4	Current Measurement Измеритель тока		Выполняет измерение мгновенного значения тока, протекающего через соединительную линию (провод)
14	Goto		Выполняет функцию беспроводной передачи данных
15	Voltage Measurement Измеритель напряжения		Выполняет измерение мгновенного значения напряжения между двумя узлами схемы
8	Constant Источник постоянного сигнала		Задаёт постоянный по уровню сигнал равный углу регулирования
5	Thyristor Тиристор		Моделирует упрощенный тиристор
3	Three-Phase Transformer (Two Windings) Трёхфазный трансформатор		Реализация трехфазного трансформатора с настраиваемыми соединениями обмоток
7	Step		Формирует ступенчатый сигнал
13	From		Получает передаваемое значение с блока Goto
12	Scope Осциллограф		Строит графики исследуемых сигналов в функции времени. Позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования
9	Terminator Концевой приемник		Блок используется для подачи сигнала с неиспользуемого выхода другого блока
16	BusSelector Блок шинного селектора		Выделяет из шины требуемые сигналы
18	Demux Демультимплексор		Разделяет входной векторный сигнал на отдельные составляющие
17	Mux мультиплексор		Объединяет несколько сигналов в вектор



10	PLL (3ph)		Определяет частоту и фундаментальную составляющую фазового угла трехфазного сигнала
11	Pulse Generator (Thyristor, 6- Pulse)		Источник импульсного сигнала, формирующий прямоугольные импульсы
6	DC Machine (ДПТ)		Моделирует ДПТ с независимым возбуждением

На рисунке 2 представлены графики переходных процессов в двигателе постоянного тока независимого возбуждения: скорости вращения вала  $\omega, \text{rad}/\text{c}$ ; якорного тока  $I_a, \text{A}$ ; электромагнитного момента  $M_d, \text{Hm}$ . При подаче управляющего воздействия  $t = 0.025\text{c}$  на двигателе постоянного тока НВ формируется напряжение питания, при помощи тиристорного моста. После чего происходит разгон двигателя на холостом ходу, что соответствует интервалу времени  $0,025\text{c} < t < 0,15\text{c}$ . При достижении номинальной скорости вращения ступенчато моделируется момент нагрузки на вал двигателя, что соответствует интервалу  $0,15\text{c} < t < 0,35\text{c}$ .

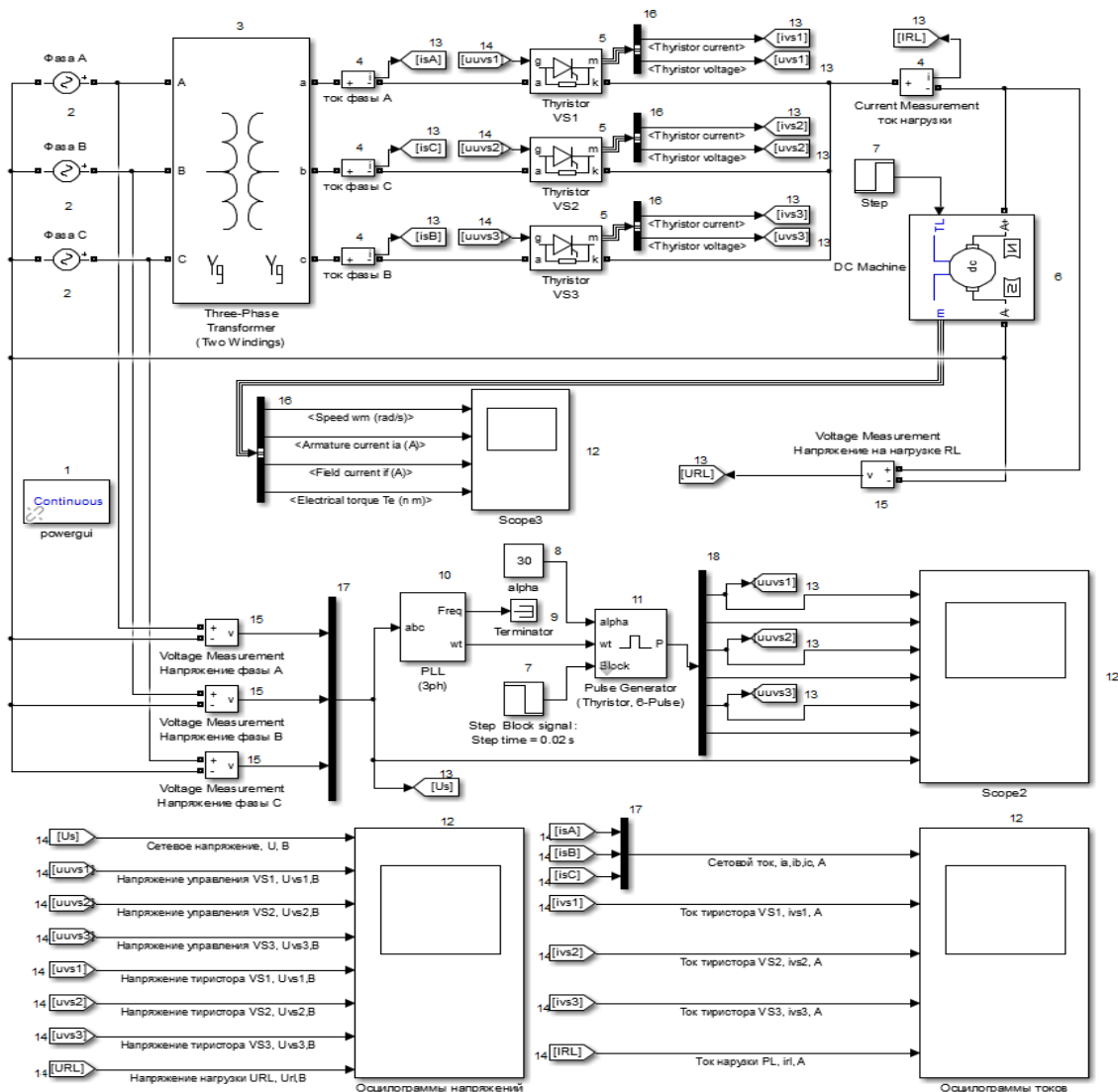


Рис. 1. Имитационная модель трехфазной нулевой схемы выпрямителя на нагрузку типа ДПТ НВ

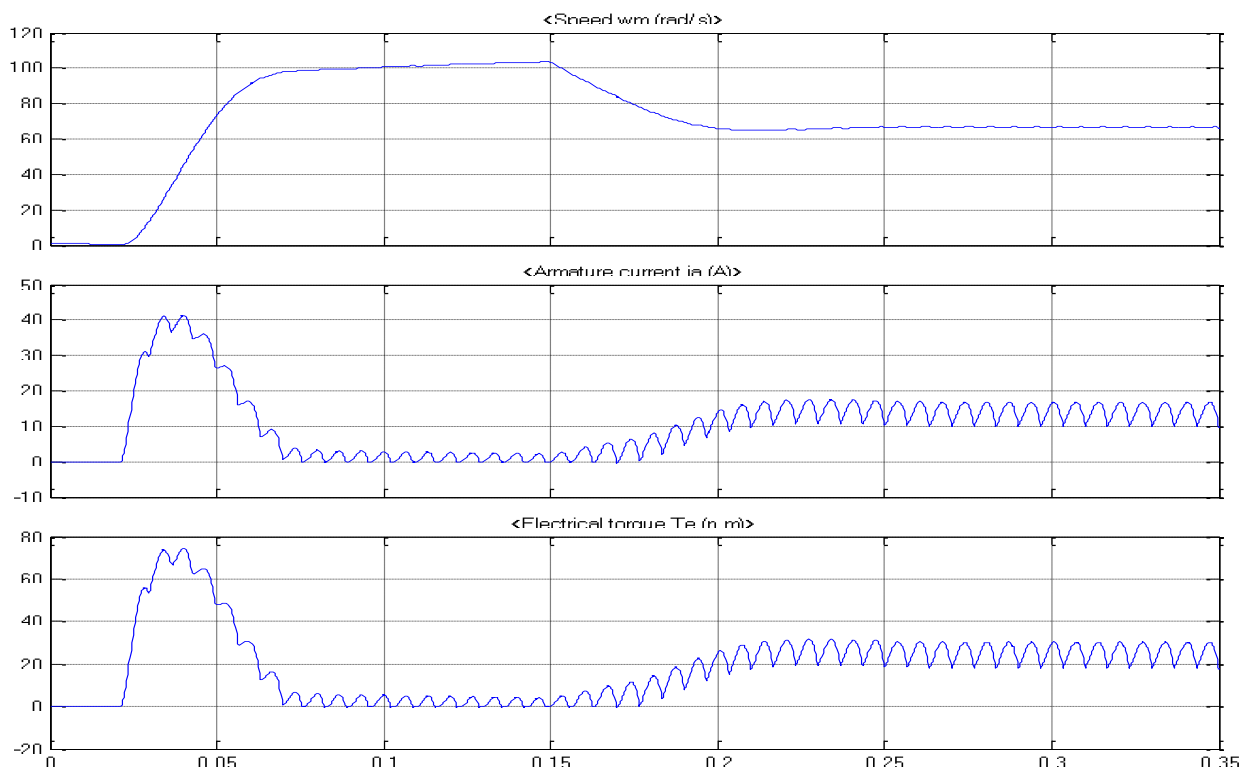
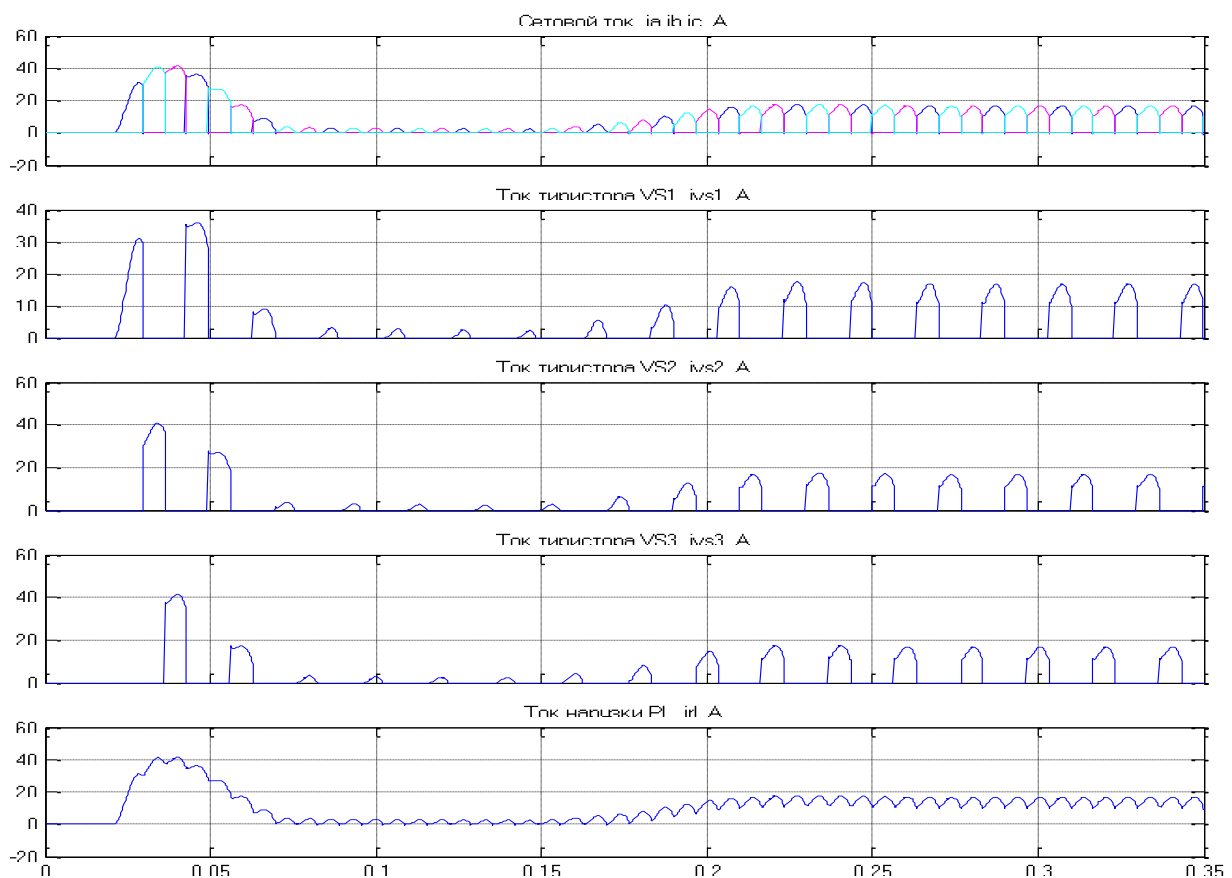


Рис. 2. Графики переходных процессов ДПТ НВ

На рисунке 3 представлены графики переходных процессов мгновенных значений напряжений и токов тиристорного моста ( $VS1, VS2, VS3$ ), источника питания и нагрузки.



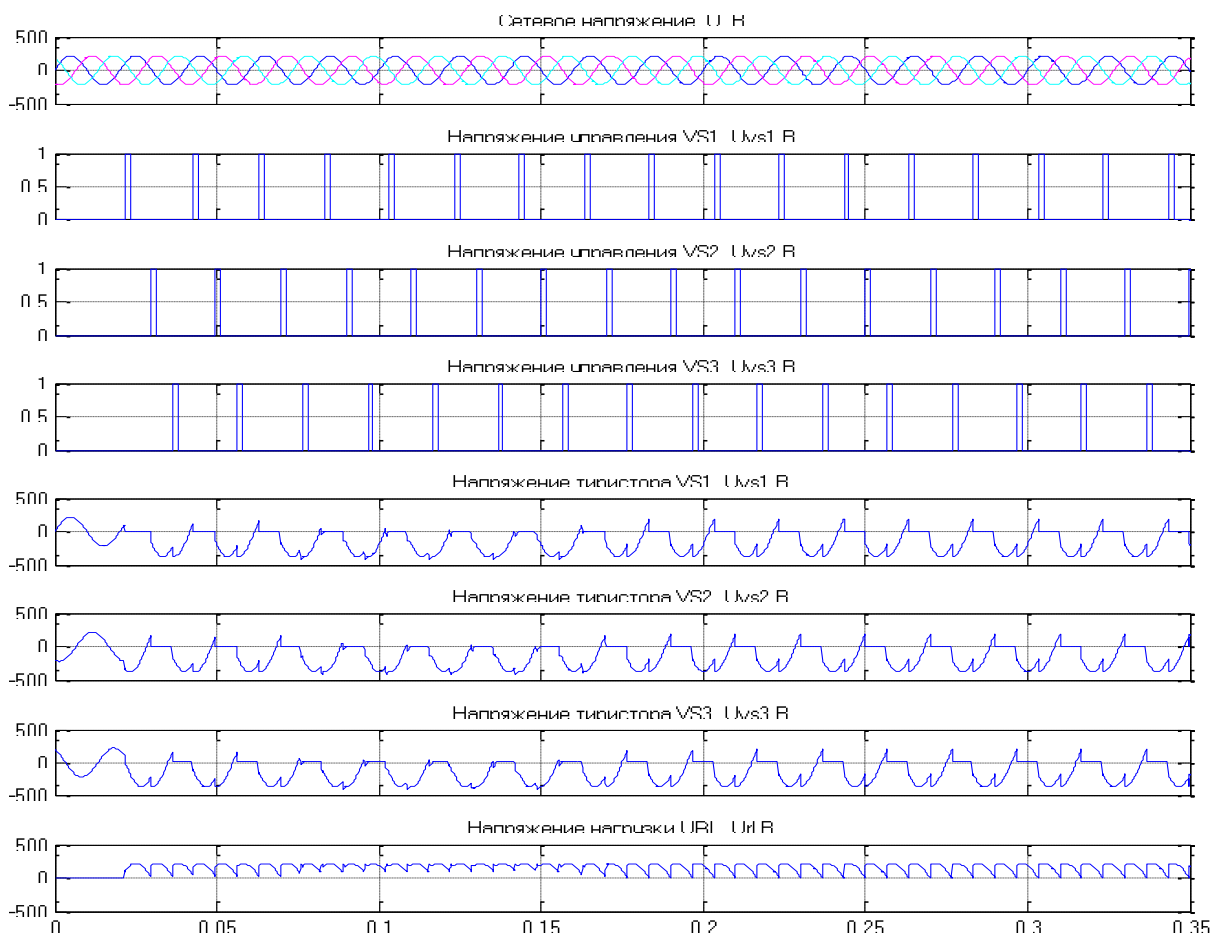


Рис. 3. Временные диаграммы работы имитационной модели трехфазного нулевого выпрямителя на нагрузку типа ДПТ НВ

Разработанная имитационная модель трехфазной нулевой схемы выпрямителя на нагрузку типа ДПТ НВ (рисунок 1) может использоваться для проведения исследования систем энергоснабжения, требующих наличия выпрямительных устройств, для подготовки специалистов при проведении практических и лабораторных работ. Представляет интерес для научных сотрудников различных учебных учреждений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дьяконов В. П. MATLAB 6. 5 SP1/7+Simulink5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.
- 2 Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника. Лабораторные работы на ПК. М. : Учитель и ученик, КОРОНА принт, 2002. – 304 с.
- 3 Ничков А. Г. Фрезерные станки. – М. : Издательство «Машиностроение», 1977.
- 4 Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. – Горький : Волго-Вятское книжное издательство, 1989.

УДК 004. 942

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО МОСТОВОГО УПРАВЛЯЕМОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НА RL-НАГРУЗКУ С ПРОТИВО-ЭДС

А. А. Рудаков, В. В. Антонова, И. Л. Сандлер

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе представлена имитационная модель трехфазного мостового управляемого выпрямителя на RL-нагрузку с противо-ЭДС, разработанная по средствам пакета Matlab библиотек Simulink и SimScape.

Модель позволяет получать временные диаграммы напряжений и токов на RL-нагрузке, тиристорном мосту, системе импульсно-фазового управления и трехфазном источнике питания, а также их изменения во времени при различных условиях работы управляемого выпрямителя.

**Ключевые слова:** трехфазный мостовой управляемый выпрямитель, трехфазный источник напряжения, СИФУ, RL-нагрузка.

**Abstract:** the paper presents a simulation model of a three-phase bridge controlled rectifier for RL-load with counter-EMF, developed by means of the Matlab package of the Simulink and SimScape libraries. The model allows to obtain time diagrams of voltages and currents on an RL load, a thyristor bridge, a pulse-phase control system and a three-phase power supply, as well as their changes in time under various operating conditions of a controlled rectifier.

**Keywords:** three-phase bridge controlled rectifier, three-phase voltage source, SIFU, RL-load.






В станках с числовым программным управлением, например, фрезерный станок 6P13Ф3 [1], для управления двигателем постоянного тока независимого возбуждения используются различные комплектные электроприводы, представленные в [2], в которых силовая часть электропривода, например, «Кемек» строится по трехфазной реверсивной мостовой схеме выпрямления. Для изучения и исследования работы комплектного электропривода, его силовой схемы при различных условиях (нормальном и аварийных режимах работы) необходимо разработать имитационную модель в среде Matlab библиотек Simulink и SimScape [3, 4].

Имитационная модель, представленная на рисунке 1, условно разделена на 3 части: силовая схема (блоки 1, 4, 5, 13), СИФУ (блоки 6, 8, 9, 10, 11, 14, 16) и блоки измерений (2, 3, 14, 17). Описание используемых блоков имитационной модели представлено в таблице 1.

Таблица 1

Расшифровка используемых блоков имитационной модели

№ блока в модели	Название блока	Пиктограмма блока	Назначение в модели
1	AC Voltage Source Идеальный источник переменного напряжения		Вырабатывает синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой. Моделирует вторичную обмотку трансформатора
2	Goto		Выполняет функцию беспроводной передачи данных
3	Scope Осциллограф		Строит графики исследуемых сигналов в функции времени. Позволяет наблюдать за изменениями сигналов в процессе моделирования
4	Current Measurement Измеритель тока		Выполняет измерение мгновенного значения тока, протекающего через соединительную линию (провод)
5	Thyristor Тиристор		Моделирует упрощенный тиристор
6	Voltage Measurement Измеритель напряжения		Выполняет измерение мгновенного значения напряжения между двумя узлами схемы
7	From		Получает передаваемое значение с блока Goto
8	Constant Источник постоянного сигнала		Задаёт постоянный по уровню сигнал равный углу регулирования
9	PLL (3ph)		Определить частоту и фундаментальную составляющую фазового угла трехфазного сигнала
10	Pulse Generator (Thyristor, 6– Pulse)		Источник импульсного сигнала, формирующий прямоугольные импульсы
11	Terminator Концевой приемник		Блок используется для подачи сигнала с неиспользуемого выхода другого блока.
12	Powergui Графический интерфейс пользователя		Блок является инструментом графического интерфейса пользователя

13	Series RLC Branch Последовательная RLC-цепь		Моделирует последовательное включение резистора, индуктивности и конденсатора. Моделирует нагрузку
14	Mux мультиплексор		Объединяет несколько сигналов в вектор
15	BusSelector Блок шинного селектора		Выделяет из шины требуемые сигналы
16	Demux Демультимплексор		Разделяет входной векторный сигнал на отдельные составляющие.
17	Gain		Коэффициент усиления

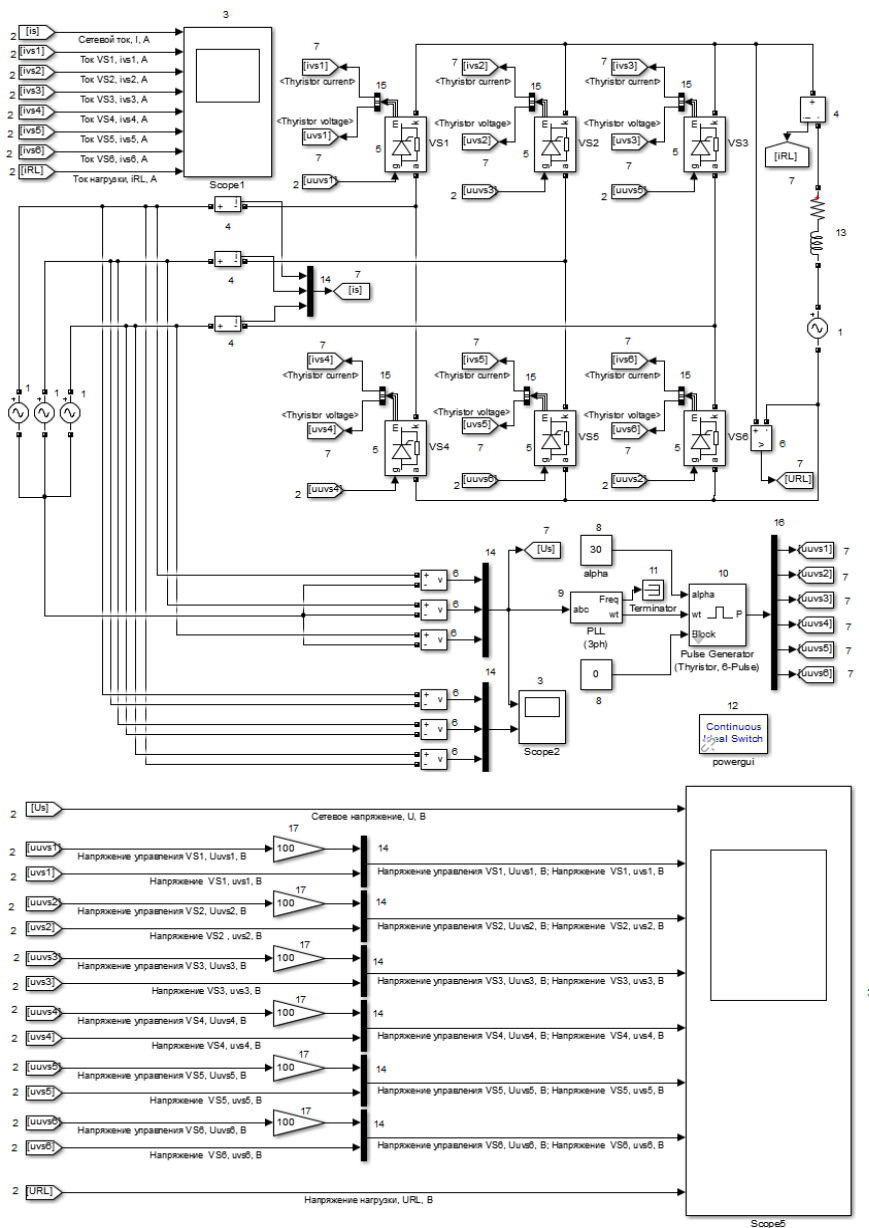


Рис. 1. Имитационная модель трехфазного мостового управляемого выпрямителя на RL-нагрузку с противо-ЭДС (электрическая часть)

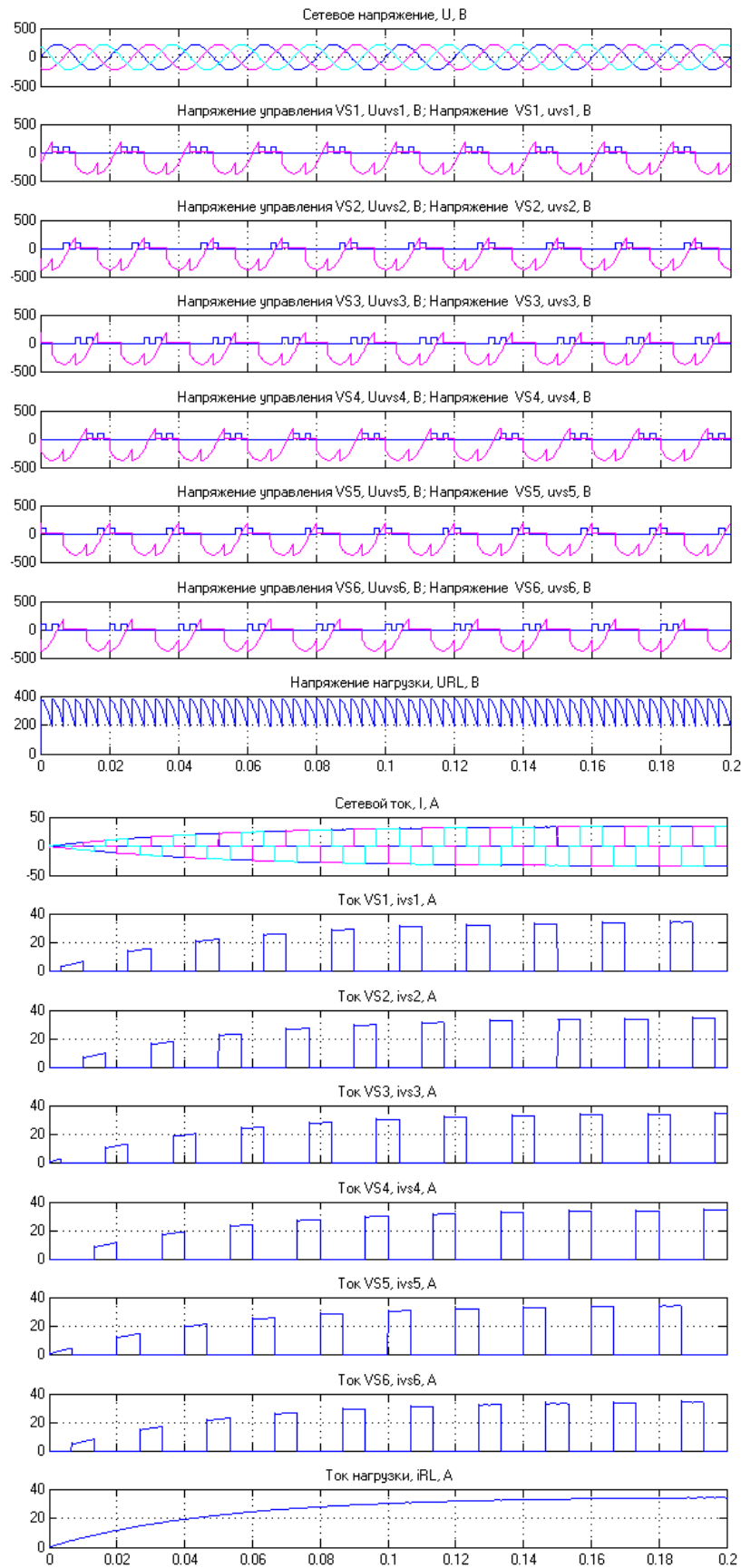


Рис. 2. Временные диаграммы работы имитационной модели трехфазного мостового управляемого выпрямителя на RL-нагрузку с противо-ЭДС при угле регулирования  $\alpha = 30^\circ$

На рисунке 2 представлены временные диаграммы, совмещенные по углу регулирования  $\alpha=30^\circ$  мгновенных значений напряжений: источника питания  $U, B$  отпирающее напряжение управления тиристора  $VS1, U_{ivs1}, B$ , напряжения на тиристоре  $VS1, ivs1, B$ , отпирающее напряжение управления тиристора  $VS2, U_{ivs2}, B$ , напряжения на тиристоре  $VS2, ivs2, B$ , отпирающее напряжение управления тиристора  $VS3, U_{ivs3}, B$ , напряжения  $VS3, ivs3$ , отпирающее напряжение управления тиристора  $VS4, U_{ivs4}, B$ , напряжения на тиристоре  $VS4, ivs4, B$ , отпирающее напряжение управления тиристора  $VS5, U_{ivs5}, B$ , напряжения на тиристоре  $VS5, ivs5, B$ , отпирающее напряжение управления тиристора  $VS6, U_{ivs6}, B$ , напряжения на тиристоре  $VS6, ivs6, B$ , на нагрузке  $URL, B$ , а так же мгновенных значений токов: источника питания  $I, A$ , тока на тиристоре  $VS1, ivs1, A$ , тока на тиристоре  $VS2, ivs2, A$ , тока на тиристоре  $VS3, ivs3, A$ , тока на тиристоре  $VS4, ivs4, A$ , тока на тиристоре  $VS5, ivs5, A$ , тока на тиристоре  $VS6, ivs6, A$  и тока на нагрузке  $iRL, A$ .

Разработанная имитационная модель трехфазного мостового управляемого выпрямителя (рисунок 1) может использоваться для проведения исследования систем энергоснабжения, требующих наличия выпрямительных устройств, для подготовки специалистов при проведении практических и лабораторных работ. Представляет интерес для научных сотрудников различных учебных учреждений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ничков А. Г. Фрезерные станки. – М : Издательство «Машиностроение», 1977.
- 2 Чернов Е. А., Кузьмин В. П. Комплектные электроприводы станков с ЧПУ. – Горький : Волго-Вятское книжное издательство, 1989.
- 3 Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7+Simulink5/6. Основы применения. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. 800 с:
- 4 Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника. Лабораторные работы на ПК. – М. : Учитель и ученик, КОРОНА принт, 2002. – 304 с.
- 5 Горбачев Г. Н., Чаплыгин Е. Е. Промышленная электроника : учебник для вузов / Под ред. В. А. Лабунцова. – М. : Энергоатом-издат, 1988. – 320 с.

УДК 681. 51

## ПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС РОБОТИЗИРОВАННОЙ ОКРАСКИ ИЗДЕЛИЙ

Д. Б. Жмуров

г. Самара, Самарский национальный исследовательский университет

**Аннотация.** Рассмотрены практические вопросы использования промышленных роботов для окраски изделий. Описаны проблемы позиционирования и идентификации изделий в рабочей зоне робота. Предложены способы решения указанных проблем на примере промышленного комплекса роботизированной окраски изделий.

**Ключевые слова:** окрасочный робот, окраска, конвейер, программа, позиционирование изделий

**Abstract.** Practical issues of using industrial robots for painting products are considered. The problems of positioning and identification of products in the working area of the robot are described. Methods for solving these problems are proposed using the example of an industrial complex for robotic painting of products.

**Keywords:** painting robot, painting, conveyor, program, product positioning

**Введение.** Внедрение окрасочных роботов в промышленное производство является хоть и затратной, но перспективной задачей [1: 385]. Это обусловлено многими факторами, среди которых: снижение воздействия вредных условий окрасочного производства на человека, повышение производительности на производства продукции, обеспечение качества и разнообразия производимой продукции. Опыт развития производства передовых стран показывает устойчивую тенденцию к снижению доли участия человека в технологическом процессе и повышению степени автоматизации производства.

Однако, при внедрении промышленных роботов в производственный процесс возникает ряд научно-технических задач, требующих нестандартных подходов и решений. В данной работе будет

рассмотрен и обобщен опыт практической реализации проектов комплексной разработки и запуска в эксплуатацию автоматизированных окрасочных линий с роботизированной окраской изделий.

**Постановка задачи.** Ключевым моментом при интеграции промышленного робота в производственный процесс является разработка управляющей программы робота (УПР), по которой он выполняет перемещение рабочего органа и управление технологическим оборудованием. В случае окрасочного робота речь идет о перемещении в пространстве контрольной точки манипулятора, определении положения его механических звеньев, а также об управлении электромагнитными клапанами для подачи сжатого воздуха и лакокрасочных материалов [2: 183]. Поскольку номенклатура окрашиваемых изделий достаточно широка, в памяти робота должны быть записаны УПР для каждой модели изделия.

Следует выделить следующие особенности УПР:

– жесткая привязка к пространственному расположению как самого робота, так и окрашиваемого изделия;

– применимость только для одного вида изделия, для окраски которого она разрабатывалась.

Таким образом, для обеспечения высокого качества окраски следует решить две основные задачи:

1. Обеспечение подачи окрашиваемого изделия в рабочую зону робота таким образом, чтобы его фактическое пространственное расположение совпадало с алгоритмической моделью в УПР.

2. Запуск именно той УПР, которая соответствует модели окрашиваемого изделия в рабочей зоне.

**Методы решения поставленных задач.** Решение задачи правильного позиционирования окрашиваемого изделия в рабочей зоне робота принципиально может идти по двум направлениям:

1. Применение различных способов для механической коррекции положения изделия в рабочей зоне.

2. определение и ввод корректирующих параметров в УПР для адаптации алгоритмической модели.

Задача выбора и запуска УПР, которая соответствует модели изделия, сводится к выбору способа идентификации модели изделия вспомогательными техническими средствами. Наиболее просты в реализации следующие способы:

1. сканирование штрих–кода изделия с последующей загрузкой соответствующей УПР;

2. ввод идентификатора УПР вручную оператором окрасочного комплекса.

Далее рассмотрим результаты практической работы по внедрению перечисленных способов в технологический процесс.

**Практическая реализация.** Промышленный комплекс роботизированной окраски состоит из следующих компонентов:

1. горизонтальный тележечный конвейер с цепным приводом;

2. лазерный указатель мест установки оснастки;

3. окрасочный робот;

4. сенсорная панель оператора;

5. шкаф автоматики на основе промышленного ПЛК.

Задача правильного позиционирования изделия в рабочей зоне решается обеспечением точного позиционирования тележки относительно робота и изделия на поверхности тележки. Поскольку окрашиваемым изделием является стул, то достаточно задать четыре точки (характеристические координаты), на которых должны стоять его ножки.

В процессе выполнения пуско-наладочных работ в память ПЛК записываются характеристические координаты всех моделей производимых на предприятии стульев с привязкой к номеру программы. Для этого разработан специальный экран панели оператора, вид которого показан на рисунке 1. Отображение точек выполняет лазерный указатель, который указывает координаты с помощью перпендикулярных световых полос. Позиционирование лазеров выполняется с помощью шаговых двигателей, что обеспечивает высокую точность. На пересечении световых полос устанавливаются конусообразные магниты, как это показано на рисунке 2. После установки всех четырех магнитов на них устанавливается стул, подлежащий окраске.



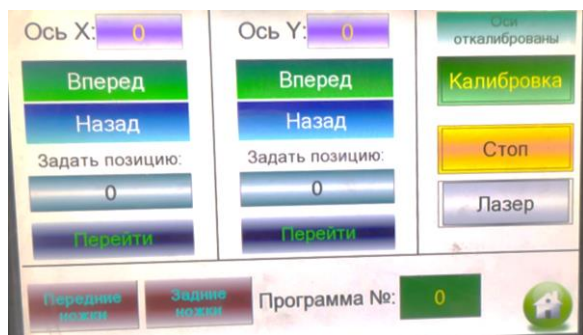


Рис. 1. Экран настройки характеристических координат ступень

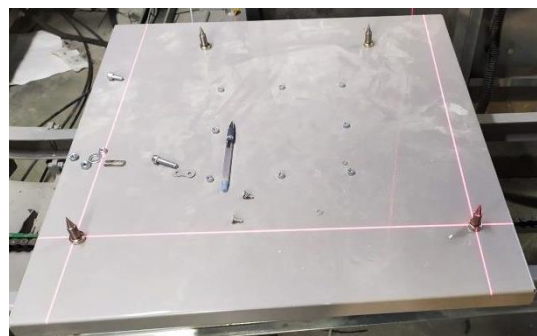


Рис. 2 Указание характеристических координат на поверхности тележки

Таким образом, найдено простое и надежное решение задачи правильного позиционирования изделия в рабочей зоне робота.

Для решения задачи выбора УПР применен способ ручного ввода номера программы на операторской панели. Этот способ обоснован серийностью окрашиваемых изделий – достаточно один раз ввести номер программы при поступлении партии изделий на окрасочный участок. Вместе с этим, допускается одновременное присутствие на конвейере изделий различных моделей.

**Заключение.** В работе представлено простое и надежное решение актуальных задач, возникающих при интеграции окрасочного робота. Для его реализации используется серийное общепромышленное оборудование, что обеспечивает надёжность эксплуатации, помехоустойчивость и ремонтпригодность.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Козырев Ю. Г. Применение промышленных роботов. М. : Кнорус, 2020. – 488 с.
- 2 Давлетшин Р. Р., Дробина Е. А. Системный анализ роботизированного комплекса покраски // Молодой ученый. – 2019. – № 39. – С. 183–186.

---

---

## СЕКЦИЯ 3

# Моделирование транспортных процессов

УДК 656/658. 7/. 8

### ЛЕГКОРЕЛЬСОВЫЙ ТРАНСПОРТ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ В САМАРЕ

Е. С. Алгайкина, Е. А. Коршун, О. А. Зюрина, М. В. Кизимиров

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе рассмотрена задача повышения мобильности населения г. о. Самара за счет увеличения количества маршрутов легкорельсового транспорта и сокращение времени его оборачиваемости на маршруте за счет оптимизации светофорного регулирования.

**Ключевые слова:** легкорельсовый транспорт, трамвай, высокоскоростной трамвай, городской транспорт, пассажиропоток.

**Abstract.** The paper considers the problem of increasing the mobility of the population of the city of Samara by increasing the number of light rail routes and reducing the time of its turnover on the route by optimizing traffic light regulation.

**Keywords:** light rail, tram, high-speed tram, urban transport, passenger traffic.

Легкорельсовый транспорт (ЛРТ) является видом скоростного городского пассажирского транспорта, то есть это наземный транспорт, обеспечивающий движение поездов с маршрутной скоростью 36 км/ч и осуществляющий движение по выделенным путям, выполняющий регулярные перевозки пассажиров по установленным и фиксированным на длительный период маршрутам. ЛРТ – это современные быстрые, бесшумные экологически безопасные составы.

Актуальность такого вида транспорта обусловлена необходимостью реализации Стратегии комплексного развития города Самары в период до 2024 года, обеспечения доступного проезда до быстроразвивающихся жилых районов, таких как поселок «Мехзавод», ЖК «Новая Самара», микрорайон «Крутые Ключи», а также высокой загруженностью исторической части города, загрязнения атмосферы выхлопными газами.

По загруженности дорог город Самара занимает второе место в стране, такие результаты приводят эксперты. Есть труднодоступные районы города для владельцев личного автотранспорта из-за затруднений парковки автомобиля или отсутствием парковочных зон, например, историческая часть города. В «час пик» проезд по этим районам очень затруднен. Введение в эксплуатацию легкорельсового транспорта и построение маршрутов в данных районах решит вопрос с загруженностью дорожного полотна и доступностью этих районов.

ЛРТ в большинстве случаев применяется для обозначения скоростных электрифицированных железнодорожных систем сообщения, обособленных от других транспортных потоков на протяжении большей части своей сети, однако допускающих в рамках системы так же и одноуровневые пересечения, и даже открытое уличное движение. Принципиальным отличием систем легкорельсового транспорта является допустимость одноуровневых пересечений с неинтенсивными транспортными потоками, при условии приоритета ЛРТ. На практике такой принцип достигается за счёт таких методов, как, например, управление фазами светофоров в зависимости от режима работы ЛРТ.

Главной отличительной особенностью легкорельсового транспорта является меньшая допустимая нагрузка на ось, в отличие от метрополитена (15 тонн). К преимуществам ЛРТ можно отнести следующее:

1. Скорость сообщения для легкорельсового транспорта составляет 36 км/час при провозной способности порядка 20 000 пассажиров в час. Минимальным экономически-обоснованным пассажиропотоком является поток в 1,5 тысячи пассажиров в час.

2. За счёт меньшей изоляции сети и меньших требований к нагрузке на ось (а значит и к строению пути), стоимость строительства для ЛРТ в 5–10 раз меньше, чем для метрополитена.

3. ЛРТ является наиболее экологичным видом транспорта, так как не загрязняет воздух продуктами сгорания, поскольку для своей работы он использует исключительно электричество, получаемое через воздушную контактную сеть с помощью токоприемников, существуют также трамваи с питанием от аккумулятора. Уровень вибрации при движении средний, выделение пыли (металлической, резиновой) при движении среднее, выше показателей эксплуатации метро.

4. Обычный трамвай в среднем достигает скорости 12–15 км/ч. При данной скорости пропускная способность достигает 7000 пассажиров в час.

Стабильное движение сегодня обеспечивает только транспорт, который не следует в общем потоке, прежде всего рельсовый: электропоезда, метро, трамвай. Легкорельсовый транспорт осуществляет движение по обособленной линии. По мнению эксперта А. Булова, выделенные полосы для скоростного трамвая необходимо организовать, в первую очередь, по улицам Полевая, Галактионовская, Фрунзе (историческая часть города) и проспекту Кирова. Для этого необходимо отремонтировать рельсовое полотно и отделить его от проезжей части металлическими столбами с соответствующей светоотражающей окраской. При качественно отремонтированном рельсовом полотне скорость легкорельсового транспорта может достигнуть 45 км/ч. Составление удобных графиков движения для скоростных трамваев, возможность соединять по 2–3 вагона, особенно в местах сосредоточения рабочих мест делает данный вид городского транспорта более привлекательным.

Также возможен отказ от строительства станции метро «Театральная» – выход на перекрестке улиц Самарской и Красноармейской – в пользу эксплуатации скоростного трамвая по уже имеющемуся рельсовому полотну. В этом случае необходимы инвестиции в качественный ремонт полотна и строительство ограждений для выделения линии из общего потока. Наконец, возможно применение успешного опыта эксплуатации «Метротрама» в г. Волгограде. «Метротрам» – это скоростной трамвай, передвигающийся как по наземному, так и подземному рельсовому полотну. Такое решение обеспечит сохранность архитектурных памятников, исторического наследия города и реализацию стратегии комплексного развития города Самара на период до 2024 года.

В 2018 году обсуждался вопрос о необходимости продления трамвайной ветки от стадиона «Самара Арена» до ЖК «Новая Самара» и до микрорайона «Крутые Ключи». В настоящее время транспортное сообщение с этими районами осуществляется только муниципальными автобусами и коммерческим видом транспорта – маршрутными такси. Такая ситуация не удовлетворяет потребности жителей этих районов в поездках. Построенная специально к Чемпионату мира по футболу трамвайная линия до стадиона на данный момент используется редко, только в дни матчей. При этом началось строительство правого поворота для трамваев со стороны ул. Ташкентской на пересечении с Московским шоссе, что делает возможным беспересадочное сообщение до стадиона и далее. такая ситуация. Фактически существует и оптимизируется рельсовая линия, которую возможно использовать для эксплуатации легкорельсового транспорта. Провозная способность трамваев по ул. Ташкентской должна быть увеличена, так как в этом районе располагается Областная клиническая больница им. Сердавина, куда поток пассажиров с каждым годом увеличивается. Строящийся поворот и запуск ЛРТ по выделенной трамвайной ветке до стадиона «Самара Арена» при продолжении линии до микрорайона «Крутые ключи» обеспечит удобный проезд пассажиров до места жительства и крупного торгово-развлекательного центра «МЕГА». В летнее время это решение снизит напряжённость на дорогах, так как основное количество дачников-пенсионеров переседают на скоростной трамвай, и количество маршрутных такси и снизится из-за отсутствия наполняемости, возможно и снижение количества легковых автомобилей в этом направлении.

Эффективность транспорта измеряется числом перевезённых пассажиров. Трамвай требует больше места, но и его провозная способность (перевозка числа человек в единицу времени) самая высокая из всех видов наземного городского транспорта – от 9 до 25 тыс. пассажиров в час за счёт возможности сцепляться в поезда по 2–3 вагона. У автобуса или троллейбуса она всего 4–5 тыс. в час, а у полосы с автомобилями около тысячи в час.

Трамвай перевозит в 25 раз больше пассажиров, а в сочетании с высокой скоростью современный скоростной трамвай более востребован и выгоден для пассажиров, чем легковой автомобиль. Надо понимать, что пассажиры трамвая никуда не исчезнут, им все равно придется передвигаться по улицам города. Они переседают в автобусы, троллейбусы и маршрутные такси, а возможно и в соб-

ственные автомобили. Новые автобусы с машинами займут на дороге больше места, чем занял бы трамвай. В итоге дорожные заторы не только не уменьшатся, а значительно вырастут.

По мнению экспертов и результатам периодически проводимых опросов пассажиров, развитие трамвайного движения в городе (оптимизация маршрутов и расписания движения, увеличение вагонов в маршруте в «час пик», закупка современных бесшумных вагонов, качественный ремонт и своевременное обслуживание рельсовых путей) увеличит количество пассажиров трамваев на 30 %, а следовательно, повысит доходность городского транспорта.

В пользу использования легкорельсового транспорта говорит и срок эксплуатации – 25–30 лет (у автобуса – 10 лет).

В результате опроса пассажиров, проводимого весной 2018 года, выявилась необходимость с точки зрения жителей восстановления трамвайных рельсов на проспекте Победы от Площади Кирова до метро «Безымянка» с поворотом на улицу Ново-Вокзальная до железнодорожной станции «Безымянка» с созданием новых трамвайных маршрутов, соединяющих остановки «завод Metallург» – «ТЦ «На птичке» (движение по улицам Алма-Атинская, Олимпийская, Победа ) и остановки «15 микрорайон» – «ТЦ «На птичке» (движение по улицам Ташкентская, Советская, Победа). По этим маршрутам возможен пуск уже современного скоростного трамвая. Данный проект сделает доступным метрополитен для жителей районов пл. Кирова, Metallург и 15 с 15а микрорайонов.

Таким образом, бесперебойное движение скоростных трамваев способно решить проблемы с заторами на дорогах, сократить время на передвижение пассажиров, повысить провозную способность городского рельсового транспорта, привлечь пассажиропотоки на городской транспорт, тем самым увеличить приток доходов местный бюджет. Такое решение согласовывается со Стратегией комплексного развития города Самара, являясь частью развития транспортного комплекса города.

*УДК 004. 89, 007. 52, 656. 05*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТКОМ НА БАЗЕ СИМБИОЗА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ И ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

**А. О. Грязнов, В. С. Тарасян**

г. Екатеринбург, Уральский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В работе показан метод настройки нечеткого регулятора с помощью генетического алгоритма. Упрощенная модель регулируемого перекрестка использовалась в качестве объекта регулирования. Для оптимизации нечеткого регулятора была выполнена серия экспериментов с заданными значениями интенсивности движения. Проведено сравнение результатов эффективности управления для случаев с фиксированной длительностью фаз, с адаптивным управлением при помощи нечетких регуляторов с базой правил, составленных экспертным методом, и оптимизированной эволюционным алгоритмом. Для оптимизированного регулятора средняя длина пробки стремилась к минимальному значению 11,4 автомобиля, что существенно меньше, чем при управлении экспертной системой

**Ключевые слова:** генетический алгоритм, нечеткое регулирование, интеллектуальное управление, движением на перекрестке, простой перекресток.

**Annotation.** Method for optimizing a fuzzy regulator using a genetic algorithm was demonstrated. A simplified model of an adjustable intersection was used as an object of regulation. Series of experiments was performed to optimize the fuzzy controller for given values of the traffic intensity. The results of control efficiency with a fixed phase duration are compared using fuzzy controllers with a rule base compiled by an expert method and optimized by an evolutionary algorithm. Shown that the average traffic jam length for an optimized regulator tended to a minimum value of 11.4 cars, which is almost half as much as when controlling an expert system.

**Keywords:** genetic algorithm, fuzzy regulation, intellectually control, intersection traffic, simple intersection.

**Введение.** Во многих отраслях науки и техники имеются задачи управления многопараметрическими системами. Это актуально как при проектировании сложных конструкций, так и при составлении эффективного расписания движения поездов, которое будет оптимально для своего применения. Связка генетических алгоритмов с нечеткой логикой является хорошим инструментом для решения таких задач [1–3]. В связи с этим, цель нашей работы показать применимость генетических алгоритмов для оптимизации нечеткого регулятора для управления многопараметрической системой.

**Программный комплекс.** Программный комплекс состоит из трех основных частей. Моделью перекрестка управляет нечеткий регулятор, который вносит изменения в длительности фаз на основании информации о количестве автомобилей ожидающих проезда. Настройка нечеткого регулятора осуществляется с помощью генетического алгоритма.

**Модель перекрестка.** В качестве объекта регулирования было выбрано простое пересечение двух дорог с двусторонним движением. В модели для каждого направления имеется переменная увеличение, которой на единицу означает подъезд к перекрестку очередного автомобиля, а уменьшение его проезд. Перекресток регулируется с помощью светофора за две фазы. Было принято, что движение является бесконфликтным, и автомобили пересекают перекресток за одинаковое время [4]. В модели рассчитывается параметр эффективности управления перекрестком. Перед каждой фазой фиксируется количество автомобилей находящихся перед перекрестком. На основании этого рассчитывается средняя длина пробки в течение моделирования.

**Нечеткий регулятор.** В результате рассмотрения методов регулирования на базе нечетких алгоритмов [5, 6] был выбран комбинированный метод управления [7, 8]. Метод заключается в расчете длительности фазы непосредственно перед ее началом. В качестве первой входной переменной в таком регуляторе используется количество автомобилей, которые начнут движение в предстоящую фазу. Вторая переменная это количество транспортных средств, пропуск которых будет осуществлен в последующей фазе и так далее.

Предлагаемый метод обеспечивает оперативное влияние на дорожную ситуацию. При этом учитываются текущие интенсивности движения на всех потоках. Нечеткий регулятор для данной модели имеет две входные переменных – количества автомобилей по направлению Север– Юг и Запад– Восток. Каждая переменная включает три термина: «много», «средне» и «мало». Пределы переменных и расположение термов подобранный экспериментально. Выходная переменная определяет продление или сокращение фазы регулирования. Она также имеет три термина «увеличить», «не изменять» и «уменьшить». На первом этапе настройки была составлена база из семи нечетких правил, построенных экспертным методом.

На рис. 1 представлена схема нечеткого регулятора и структура входных и выходных переменных.

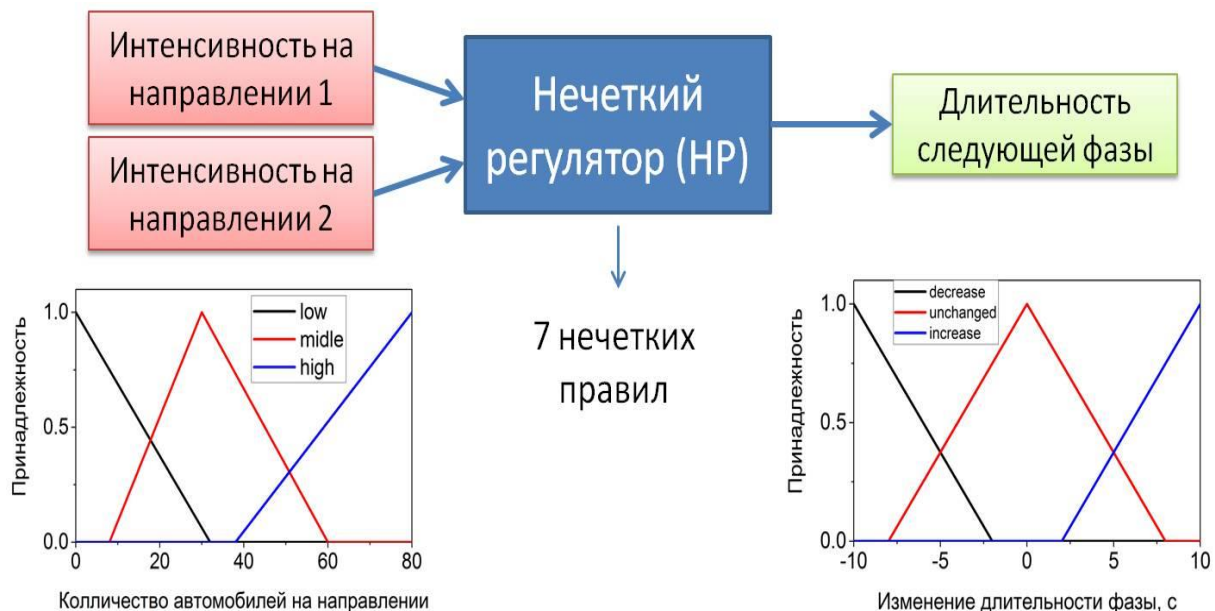


Рис. 1. Схема нечеткого регулятора и структура входных и выходных переменных

**Генетический алгоритм.** Для подбора оптимальной базы правил для разработанного нечеткого регулятора использовался генетический алгоритм [9, 10]. На первом этапе формируется «исходная популяция» случайно сгенерированных наборов правил. Для каждой «особи» популяции выполняется расчет модели перекрестка с фиксированным временем моделирования. Затем по полученным значениям эффективности работы перекрестка происходит отбор лучших «особей». Отобранные наборы правил скрещиваются между собой с помощью 2–1 рекомбинации. Подбор партнеров и доминатность генов определя-

лась случайным образом. После этого формируется новая популяция, состоящая из ранее отобранных особей, результатов селекции и дополнительных случайно сгенерированных наборов. Для новой популяции вновь выполняется расчет параметра эффективности управления. Если целевая эффективность не была достигнута, то скрещивание и формирование новой популяции выполняется вновь [11].

**Результаты моделирования.** В проводимых экспериментах задавалось неравномерное распределение интенсивностей движения по направлениям. Так, вероятность появления автомобиля перед перекрестком для направления с Севера на Юг равнялось 0.3, Юг – Север 0.35, Запад – Восток 0.55, Восток – Запад 0.6. Таким образом, в случае установки равной длительности фаз по направлению Восток-Запад формировалась пробка. Продолжительность каждой фазы по умолчанию 10 с. Количество циклов регулирования светофора 20. Начальное количество автомобилей перед стоп линией – случайное число в диапазоне от 0 до 5.

Для каждого набора правил (особей) выполнялось по 20 прогонов работы перекрестка. На рис. 3 представлен пример расчета до второй популяции. Каждая точка соответствует среднему значению эффективности индивида, а размах соответствует СКО получаемых значений. Первоначально случайным (С) образом генерировалось 200 особей, которые составили нулевую популяцию. Из этой популяции отбиралось 7 элитных (Э) особей с наилучшей эффективностью управления. Из них, с помощью методики описанной выше, формировалось 93 потомственные особи (П). Затем в популяцию № 1 добавлялось дополнительно 100 случайно сгенерированных особей. Затем операции отбора (Э) и дальнейшего расчета повторялись вновь.

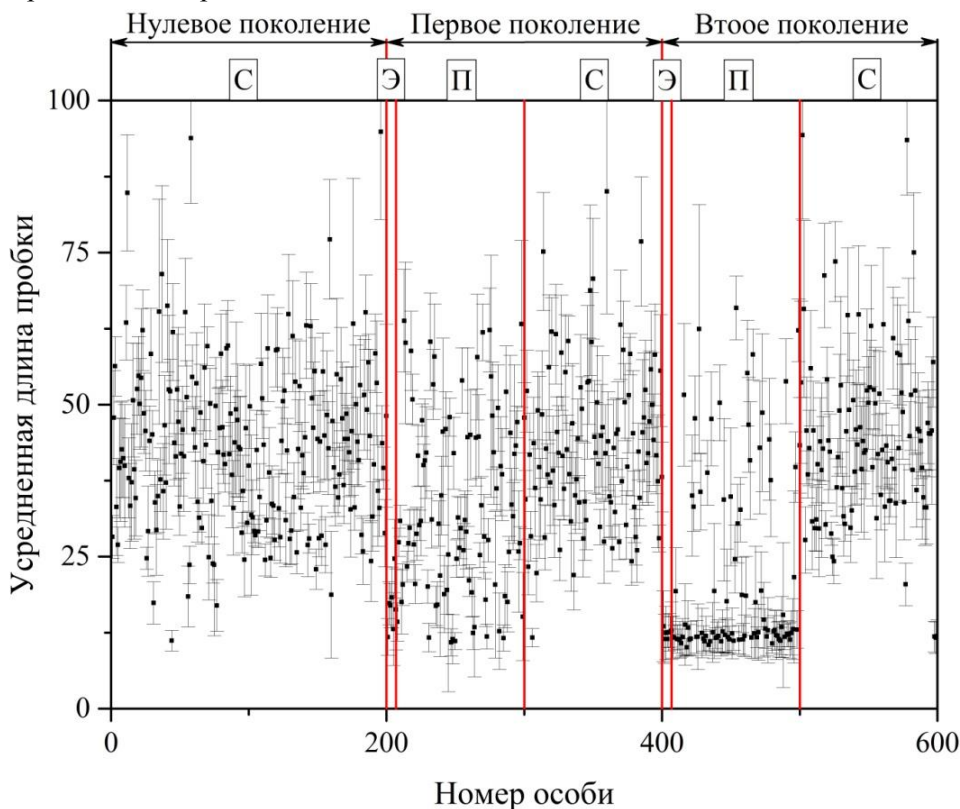


Рис. 2. Расчет нулевой популяции

При анализе результатов (рис. 3) было выявлено, что среднее значение эффективности управления наборами правил, сформированных случайным образом, стремится к значению эффективности управления с фиксированной длительности цикла (43,8). Соответственно, среднее значение эффективности лучшей особи оставило (11, 4), что существенно меньше, чем набор правил, составленных экспертным методом (21,5).

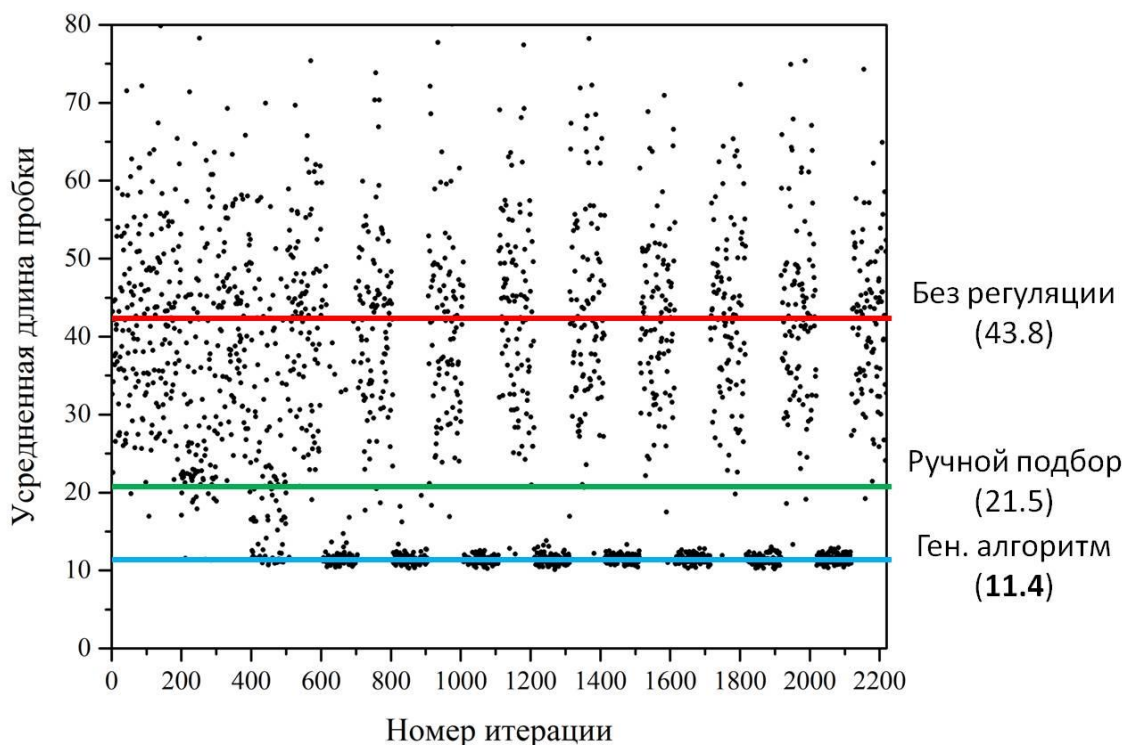


Рис. 3. Результаты расчетов.

**Заключение.** В работе продемонстрирована применимость генетических алгоритмов для оптимизации нечетких регуляторов при управлении многопараметрическими системами. Эксперименты проводились на модели перекрестка с фиксированными интенсивностями движения автотранспорта. В исходной модели без регулирования с равными по длительности фазами регулирования средняя длина пробки 43,8 автомобиля. Эффективность регулирования с помощью нечеткого регулятора, база правил которого составлена экспертным методом, составила 21,5. С помощью генетических алгоритмов была выполнена настройка базы правил регулятора. Было рассчитано 10 популяций, каждая из которых состояла из 7 родительских особей, 93 потомственных и 100 случайно сгенерированных. В результате на этапе расчета четвертого поколения в популяции родительских и потомственных особей средняя длина пробки стремилась к минимальному значению 11,4 автомобиля, что почти вдвое улучшает эффективность управления экспертной системой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тарасян В. С., Куликова И. В., Мезенцев И. С. Построение системы нечеткого управления в мехатронных системах при помощи генетических алгоритмов // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №. 6. – С. 223–223.
- 2 Odeh S. Metal. A hybrid fuzzy genetic algorithm for an adaptive traffic signal system // Advances in Fuzzy Systems. – 2015. – Т. 2015. – С. 11.
- 3 Yusupbekov N. R. et al. An adaptive fuzzy– logic traffic control system in conditions of saturated transport stream // The Scientific World Journal. – 2016. – Т. 2016.
- 4 Мезенцев И. С., Охохонин Г. К., Тарасян В. С. Применение методов искусственного интеллекта в управлении дорожными светофорными объектами // Вестник науки Костанайского социально-технического университета имени академика Зулхарнай Алдамжар. – 2013. – №. 3. – С. 81.
- 5 Zachariah B., Ayuba P., Damuut L. P. Optimization of traffic light control system of an intersection using fuzzy inference system // Science World Journal. – 2017. – Т. 12. – №. 4. – С. 27–33.
- 6 Ge Y. A two– stage fuzzy logic control method of traffic signal based on traffic urgency degree // Modelling and Simulation in Engineering. – 2014. – Т. 2014. – С. 41.
- 7 Грязнов А. О., Тарасян В. С. Методы построения нечетких регуляторов для управления движением на регулируемом перекрестке // Инновационный транспорт. – 2018. – №. 4 – С. 28–31.
- 8 Acharya S., Dash K. K., Chaini R. Fuzzy Logic: An Advanced Approach to Traffic Control // International Conference on Application of Robotics in Industry using Advanced Mechanisms. – Springer, Cham, 2019. – С. 176–186.

- 9 Jin J., Ma X., Kosonen I. An intelligent control system for traffic lights with simulation– based evaluation //control engineering practice. – 2017. – Т. 58. – С. 24–33.
- 10 Бураков М. В., Коновалов А. С., Яковец О. Б. Эволюционный синтез нечетких регуляторов // Информационно– управляющие системы. – 2015. – №. 6 (79).
- 11 Malhotra R., Singh N., Singh Y. Genetic algorithms: Concepts, design for optimization of process controllers // Computer and Information Science. – 2011. – Т. 4. – №. 2. – С. 39

УДК 519. 254

## **ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КОЛЬЦЕВОГО УДС С ЕГО ДАЛЬНЕЙШЕЙ ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ ANYLOGIC**

**А. А. Куршева, О. А. Емелина**

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** В данном проекте был рассмотрен перекресток на пересечении улиц Авроры и Московскому шоссе. Имитационная модель позволило сократить расчетное среднее время проезда транспортных средств по исследуемому УДС сократилось на 2 секунды, а их количество возросло с 598 до 878.

**Ключевые слова:** перекресток, интенсивность движения, автотранспорт, пешеход, оптимизация движения

**Abstract.** In this project, the intersection at the intersection of Aurora and Moscow highway was considered. The simulation model allowed to reduce the estimated average travel time of vehicles in the studied UDS by 2 seconds, and their number increased from 598 to 878.

**Keywords:** intersection, traffic intensity, vehicles, pedestrian, traffic optimization

Самара – город с миллионным населением, в котором интенсивность транспортных средств на дорогах чрезвычайно высока, вследствие чего люди испытывают множество сложностей, вызванными пробками. Водители вынуждены часами простаивать в заторах по пути на работу или домой. [1] Самые сложные пробки образуются в городе в так называемые часы пик, что может сильно усложнять работу скорой медицинской помощи или полиции.

Одной из основных причин скопления автомобилей на отдельных участках дорожной сети – нерациональное распределение времени на фазах светофоров. Следовательно, способом решения этой проблемы является оптимизация их работы на перекрестках и кольцах таким образом, чтобы максимизировать их пропускную способность [2].

Для выполнения поставленной задачи необходимо создать систему, моделирующую движение на кольцевом участке движения и его регулировку посредством светофоров. Исходными данными для программы станут: интенсивность потока транспортных средств (их количество), прибывающих в прямом и обратном направлениях; время горения сигнала светофора (– ов) в заданных направлениях.

Эти данные будут получены эвристическим методом – путём собственных наблюдений и вычислений. В качестве примера будет рассмотрена информационная система, которая будет самостоятельно моделировать движение потоков машин на кольцевом участке движения на пересечении Московского шоссе и улицы Авроры.

На рисунке 1 представлен паспорт выбранного участка дорожной сети с нанесением дорожных знаков, указателей, полос движения и ограждений.



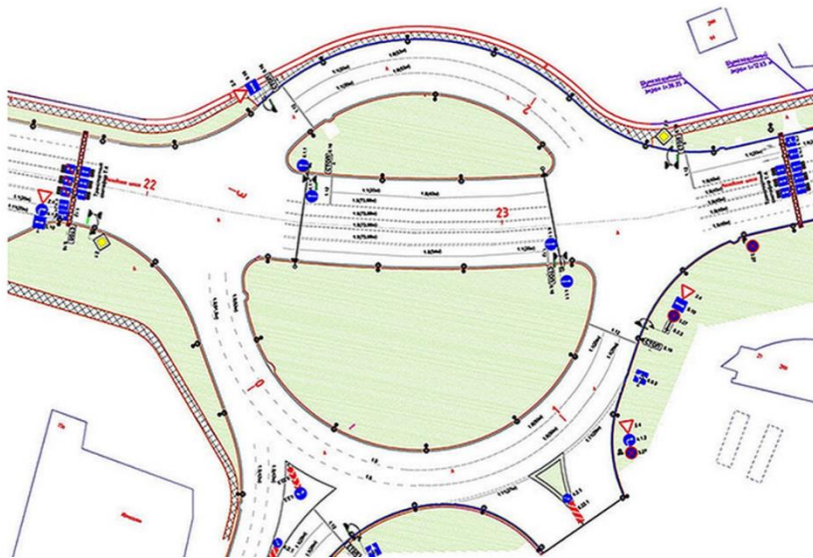


Рис. 1. Схематическое изображение исследуемого УДС

Разработанная в программе AnyLogic имитационная модель реального дорожного участка с расположением на ней двух наземных пешеходных переходов по улице Авроры и Московскому шоссе; 3 основных светофора, регулирующих движение транспортных средств на кольце, а также направление движения по каждой полосе представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Имитационная модель из программы AnyLogic

На практике существуют и применяются различные способы и методы сбора информации об интенсивности транспортных и пешеходных потоков, такие как:

- 1) ручной способ;
- 2) полуавтоматический;
- 3) автоматический.

Информация об интенсивности движения транспортных и пешеходных потоков на перекрестках и кольцах с различными направлениями движения является основой проектов организации дорожного движения и реконструкции УДС, в том числе с использованием различных технических средств регулирования.

Путём ручного способа сбора данных (натурный сбор данных) собрана информация о количестве всех различных транспортных средств, проехавших по разным полосам в прямом и обратном направлении по участку кольцевого движения на пересечении Московского шоссе и улицы Авроры в течение 15, 30, 45 и 60 минут с 12:00 до 13:00 (таблицы 1, 2, 3).

Таблица 1

Бланк учёта транспортных средств по Московскому шоссе в прямом направлении

Время наблюдения, мин	Количество транспортных средств по типу, ед						Приведенная интенсивность движения, ед.
	Мотоциклы	Легковые	Грузовые <6т	Грузовые >6т	Автобусы	Троллейбус	
15	1	423	0	1	12	5	483
30	2	865	2	1	25	13	999
45	2	1167	3	2	40	17	1366
60	4	1721	5	2	61	21	2003

Таблица 2

Бланк учёта транспортных средств по Московскому шоссе в обратном направлении

Время наблюдения, мин	Количество транспортных средств по типу, ед						Приведенная интенсивность движения, ед
	Мотоциклы	Легковые	Грузовые <6т	Грузовые >6т	Автобусы	Троллейбус	
15	0	345	4	2	18	9	447
30	1	602	5	2	37	14	783
45	1	855	5	3	49	18	1091
60	3	1109	7	3	60	21	1394

Таблица 3

Бланк учёта транспортных средств по улице Авроры

Время наблюдения, мин	Количество транспортных средств по типу, ед						Приведенная интенсивность движения, ед
	Мотоциклы	Легковые	Грузовые <6т	Грузовые >6т	Автобусы	Троллейбус	
15	0	298	1	0	15	0	345
30	1	500	3	1	29	0	595
45	1	790	4	2	55	0	968
60	2	987	5	2	71	0	1215

Приведённая интенсивность движения,  $N_{IP}(t)$ , ед/ч, определяется по формуле:

$$N_{IP}(t) = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_i,$$

где  $N_i$  – интенсивность движения соответствующего типа ТС за рассматриваемый промежуток времени, ед/ч;  $K_i$  – коэффициент приведения соответствующего типа ТС к легковому автомобилю (таблица 4).

Таблица 4

Коэффициент приведения интенсивности

Тип транспортного средства	Коэффициент приведения, $K_i$
Мотоциклы	0,5
Легковые	1
Грузовые (менее 6т)	1,5
Грузовые (более 6т)	3
Автобусы	3
Троллейбусы	4

Данные, полученные натурным способом, имеют погрешность от 5 до 20 %, что может проявляться в значении интенсивности транспортных средств в **пиковый период**, под которым подразумевают время, в течение которого интенсивность, измеренная по малым отрезкам времени (например, по 15-минутным наблюдениям), превышает среднюю интенсивность периода наиболее оживленного движения.

Для дальнейшего обследования УДС необходимо рассчитать **пропускную способность (ед/ч)**, то есть максимально возможное число автомобилей, которое может пройти через сечение дороги за единицу времени. Пропускная способность дороги является одним из важных критериев, характеризующих функционирование путей сообщения. На пропускную способность влияет состояние системы водитель–автомобиль–дорога–среда, число полос. Для каждой из трех выбранных дорог в пределах исследуемого участка будет рассчитана теоретическая пропускная способность для одной полосы и для многополосной проезжей части по формулам (1) и (2) соответственно.

$$P_T = \frac{360 \vartheta}{t_p \vartheta + \frac{\vartheta^2}{2g} \left( \frac{1}{f_k + \frac{Q_T}{Q} \varphi \pm i} - \frac{1}{f_{k+\varphi \pm i}} \right) + l_0 + l_a}, \quad (1)$$

где  $g$ – ускорение свободного падения, 9,8 м/с<sup>2</sup>;  $f_k$  – коэффициент сопротивления качению, определяется в зависимости от типа дорожного покрытия и механических свойств рабочей поверхности колеса,  $\varphi$  – коэффициент сцепления, зависит от состояния дорожного покрытия, типа покрытия, состояния поверхности колес (принимается по таблице 6);  $Q_T/Q$ – отношение сцепного веса автомобиля к полному, равное 0,6;  $i$  – продольный уклон, выраженный десятичной дробью и принимаемый со знаком (+) при движении на подъем и со знаком (–) при движении на спуск;  $v$ – скорость движения потока, м/с;  $l_0$ – длина автомобиля (принимается 5 м);  $l_a$  – расстояние безопасности между остановившимися транспортными средствами (принимается равным 2 м).

Пропускная способность многополосной проезжей части вычисляется по выражению

$$P_M = P_T \cdot \gamma \cdot \alpha, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – коэффициент многополосности, принимаемый в зависимости от числа полос движения в одном направлении ( $n$ ). При  $n = 3$ ,  $\gamma = 2, 7$ ;  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности за счет светофорного регулирования (принимается равным 0,41 при длине перегона около 380 метров и равным 1 при длине перегона более 1 км)

Уровень загрузки – степень использования пропускной способности улицы (дороги), которая характеризуется отношением приведенной интенсивности потока (НИП) к пропускной способности проезжей части (РМ) (Таблица 5).

Таблица 5

Пропускная способность УДС и её загруженность

УДС	Скорость потока	Пропускная способность одной полосы движения	Число полос в одном направлении	Пропускная способность многополосной проезжей части	Уровень загрузки дороги
Московское шоссе (прямое направление)	14, 72 м/с	1720	3	4644	0, 43
Московское шоссе (обратное направление)	14, 72 м/с	1720	3	4644	0, 31
Съезд с улицы Авроры на кольцо	13, 33 м/с	1716	3	1899	0, 64

Значение коэффициента уровня загрузки меньше 0,45 показывает, что на дороге наблюдается наиболее устойчивое по характеристикам движения состояние потока. Смена полос движения практически не ограничена, пробки возникают только тогда, когда интенсивность превышает среднее значение, например, в пиковые периоды.

Значение уровня загрузки 0,64 означает, что в пределах исследуемого участка дорожной сети наблюдается насыщение потока, а его движение неустойчивое, временами образуются заторы, смена полос бывает очень затруднительна, средняя скорость падает до 10–12 км/ч, а транспортные расходы возрастают. Эксплуатация улиц при таком уровне загрузки требует оптимизации и преобразований.

В программе AnyLogic был проведен ряд опытов оптимизации исследуемого УДС, заключающийся в том, чтобы найти оптимальные значения для каждой из фаз трех основных светофоров. На

основе проанализированных результатов можно сделать вывод, что к оптимизации принадлежит только светофор «съезд» (из рисунка 2). Исходные значения 45 секунд для зеленого сигнала и 98 секунд для красного следует заменить на 30 и 65 секунд соответственно. Светофор «мшоссе» должен сохранить свои значения: 85 секунд для зеленого света и 50 секунд для красного, точно так же, как и светофор «аврора»: 37 секунд – зеленый и 97 секунд – красный.

Проведены измерения среднего и максимального времени проезда транспортных средств по выделенному участку дорожной сети до оптимизации и после. Изначально, автомобили проезжали со средним временем 9,82 с. и максимальным – 54,75 с. После того, как время фаз светофора «съезд» были изменены, среднее время проезда машин составило 7,75 с., а максимальное время сократилось до 53,47 с.

времяПроезда			
Кол-во	598		
Среднее	9.822		
Мин	0.52		
Макс	54.748		
Среднеквадр. отклонение	10.525		
Доверит. интервал для среднего	0.844		
Сумма	5,873.487		
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
0.5	6.9	316	316
6.9	13.3	111	427
13.3	19.7	80	507
19.7	26.1	47	554
26.1	32.5	18	572
32.5	38.9	9	581
38.9	45.3	7	588
45.3	51.7	5	593
51.7	58.1	5	598

Рис. 3. Время до оптимизации

времяПроезда			
Кол-во	878		
Среднее	7.753		
Мин	0.519		
Макс	53.473		
Среднеквадр. отклонение	9.194		
Доверит. интервал для среднего	0.608		
Сумма	6,807.123		
От	До	Плотность вероятности	Функция распределения
0.5	6.9	541	541
6.9	13.3	174	715
13.3	19.7	56	771
19.7	26.1	73	844
26.1	32.5	15	859
32.5	38.9	4	863
38.9	45.3	3	866
45.3	51.7	7	873
51.7	58.1	5	878

Рис. 4. Время после оптимизации

Таким образом, среднее время проезда транспортных средств по исследуемому УДС сократилось на 2 секунды, а их количество возросло с 598 до 878. Оптимизация одного светофора привела к увеличению пропускной способности проезжей части.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пробки в Самаре // Городской портал Самары // Самара, 2018. – URL: <http://cod63.ru/probki> (Дата обращения 14. 07. 2019)
- 2 Шелейховский Г. В. Композиция городского плана как проблема транспорта. – М. : ГИПРОГОР, Москва, 1946.
- 3 Булавина Л. В. Расчет пропускной способности магистралей и узлов. М. : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, Екатеринбург 2009.
- 4 Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. М. : Логос, 2013.
- 5 Балабашина Ю. В., Козлов В. В., Авсиевич В. В. Интеллектуальное моделирование Т-образного перекрестка // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 6–8.
- 6 Козлов В. В., Авсиевич В. В., Баротов А. Ж. Имитационная модель перекрестка с возможностью регулирования движения // Наука и образование транспорту. – 2016. – № 2. – С. 44–48.

УДК 681. 518. 5

## АНАЛИЗ И ДИАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНЫХ МНОГООПЕРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

С. А. Никищенков, В. В. Асабин, М. А. Семенкина

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Приводятся сведения об использовании моделей параллельных вычислений (параллельных граф-схем алгоритмов, ярусно-параллельных форм, асинхронных схем программ, билогических графов, информативных схем) в задачах анализа и диагностики транспортных процессов. Рассмотрены вопросы создания диагностического обеспечения на основе моделей параллельных вычислений, включающего перечни формализованных дефектов в процессах и методы их обнаружения.

**Ключевые слова:** Транспортный процесс, анализ, диагностика, параллельные модели, операторные схемы, дефекты.

**Abstract.** The article provides information on the use of parallel computing models (parallel graph-schemes of algorithms, tiered-parallel forms, asynchronous program schemes, biological graphs, information schemes) in the problems of analysis and diagnostics of transport processes. Issues of creating diagnostic support based on parallel computing models, including lists of formalized defects in processes and methods for their detection, are considered.

**Keywords:** Transport process, analysis, diagnostics, parallel models, operator circuits, defects

Процессный подход к повышению эффективности основных видов деятельности в ОАО «РЖД» продолжает развиваться и предопределяет актуальность внедрения методов анализа и диагностики процессов [1, 2].

Контроль и диагностика многооперационных транспортных процессов в общем случае включают в себя следующие проверки: процесс соответствует технологии? начало и завершение своевременны? соответствуют заданным требованиям ресурсы и их характеристики в начале и в конце процесса? выполнялись технологические операции вовремя и в нужном порядке? имелась ответственность персонала на этапах технологии? остались сведения о процессе в памяти системы управления? и другие.

Параллелизм транспортных процессов является естественным, поскольку фактически имеется множественный характер грузов, перевозок, транспортных средств, объектов инфраструктуры. На железнодорожном транспорте широко используются различные стандартизированные описания множественных и одновременных процессов, в т. ч. графики исполненного движения поездов, графики работы станций, сетевые графики ремонтных работ и другие.

Актуальной остается проблема разработки и использования адекватных формальных функциональных описаний процессов и их диагностических моделей.

С научной точки зрения анализ граф-схемных описаний транспортного процесса дает существенный эффект при исследовании его структуры (операции, связи, порядок), характеристик (исходные данные, их преобразование и результат; время выполнения и производительность) и особенностей (изменчивость, реконфигурации, конвейерность).

Модели параллельных вычислений дают следующие возможности: исследование внутреннего параллелизма и возможных конфигураций; сокращение времени выполнения и повышение производительности транспортной системы; оценка возможности конвейерной реализации технологий; анализ ресурсного базиса и конкуренций между операциями и процессами [3–5].

Известные модели параллельных вычислительных процессов, применяемые для повышения производительности систем, могут продуктивно использоваться для контроля и диагностики транспортных процессов, с соответствующей интерпретацией и развитием методов в части получения новых формальных выражений дефектов и алгоритмы диагностики [1]. Это обусловлено тем, что распараллеливание программ связано с детальным исследованием информационного базиса (совокупности данных в программе), а анализ и диагностика транспортных процессов имеет конечной целью контроль правильности процессов и предотвращение потерь материальных и других ресурсов при возникновении дефектов.

Анализ и диагностирование транспортных процессов целесообразно осуществлять на уровне операций, поскольку на нем определен состав, упорядоченность, логическая обусловленность и конфигурация процесса. При этом обеспечивается высокая эффективность диагностирования (оперативность и полнота обнаружения дефектов с минимальными потерями ресурсов и затратами на диагностику).

В перечень моделей параллельных вычислений, применяемых для анализа и диагностики транспортных процессов [2], входят схемы статического параллелизма – параллельные граф-схемы алгоритмов (ПГСА), параллельно-последовательные схемы, ярусно-параллельные схемы (ЯПФ), и схемы динамического параллелизма – А-схемы Котова – Нариньяни, спусковые функции, биологические графы и информационно-логические схемы (ИЛС). Все они относятся к классу операторных схем процессов (ОСП), которые представляют собой формализованное описание процесса как множества логически обусловленных реализаций заданной технологии с использованием графических обозначений операций и связей между ними, аналогично схемам теоретического программирования. Примеры ОСП представлены на рис. 1.

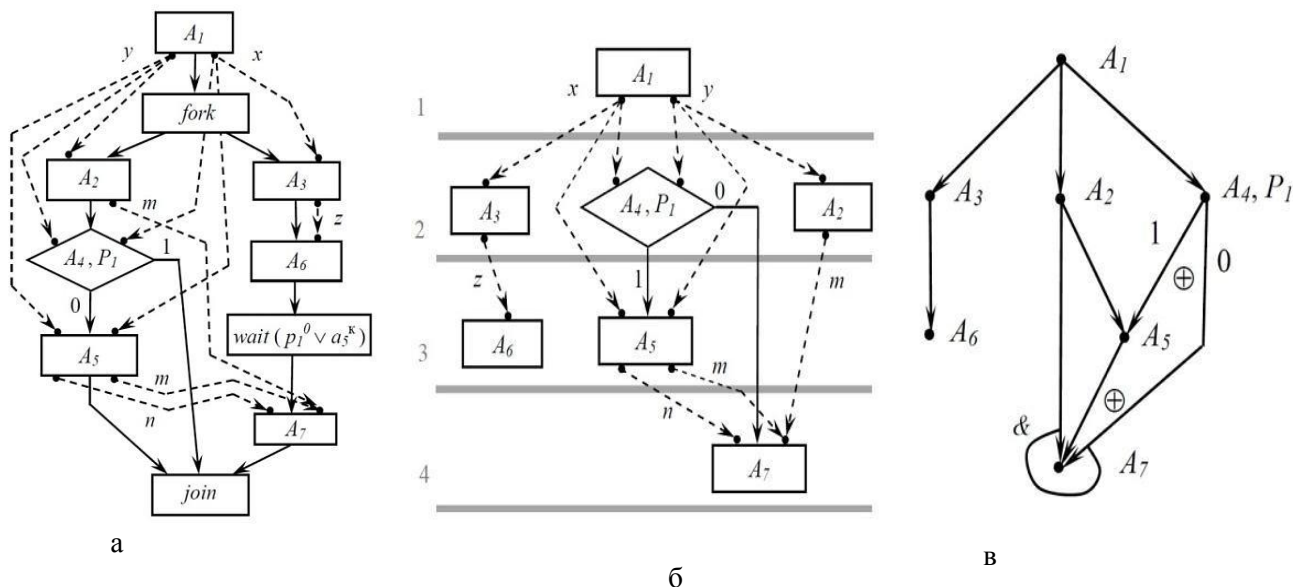


Рис. 1. Примеры ОСП (а – ПГСА, б – ЯПФ, в – ИЛС)

ПГСА содержит специальные операторы распараллеливания последовательных ветвей процесса *fork*, ожидания события *wait* и объединения ветвей *join*. На рис. 1, б показана асинхронная схемы процесса с разбивкой на ярусы. ИЛС имеет символы И и Исключающее ИЛИ, характерные для биологических графов. При этом все схемы интерпретируют один фрагмент технологии.

Классический подход к разработке диагностического обеспечения заключается в том, что диагностическая модель процесса представляется как совокупность его схемы и множества дефектов ее элементов [6]. При этом дефект элемента есть несоответствие фактического элемента требуемому, т. е. один из вариантов замены (на пустой элемент; на другой элемент того же множества модели; на элемент, не принадлежащий этому множеству); дефекты множества включают дефекты его элементов и дефекты наличия лишних элементов [7].

Пример диагностической модели в виде дерева дефектов на основе асинхронных схем процессов представлен на рис. 2.

В [1, 7] представлен другой способ формирования диагностической модели, основанный на контроле агрегированных признаков событий в критических точках схемы процесса.

Для диагностирования транспортного процесса в ходе его фактического выполнения необходимо иметь цифровую систему обнаружения дефектов, состоящую из средства диагностики (программные модули или сторожевой процессор) и диагностического обеспечения (диагностическая модель, способы и алгоритмы обнаружения дефектов). Алгоритмы обнаружения могут быть основаны на сравнении меток (тегов) операций и ресурсных переменных операторной схемы, для чего предварительно осуществляется их разметка.

К практическим проблемам анализа и диагностики транспортных процессов на основе параллельных операторных схем относятся: обеспечение информационного доступа к диагностируемой транспортной системе; наличие сведений по дефектам с учетом их рейтинга; размерность операторных схем процессов; сложность задач первичного построения и импорта схем процессов; организация внедрения разработках в условиях инновационных регламентов на железнодорожном транспорте; эмулирование правильных и дефектных процессов; ограничения подхода при ориентации на предиктивную диагностику.

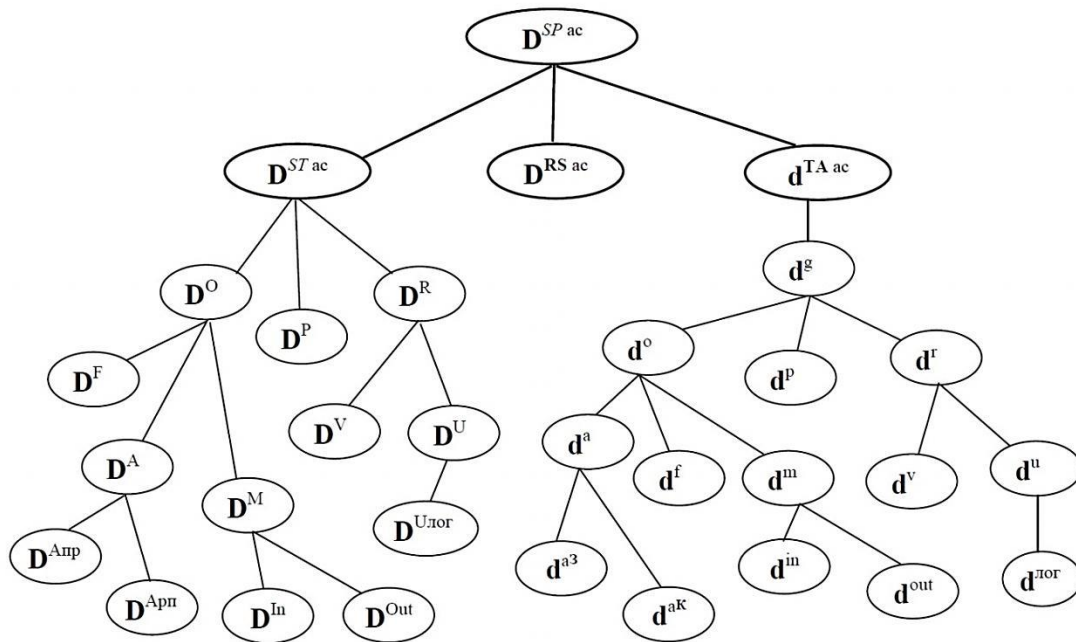


Рис. 2. Дерево дефектов для асинхронных схем процессов

Следует отметить, что не только основные положения теории параллельных вычислений, но и характеристики типовых архитектур параллельных ЭВМ могут быть использованы в качестве аналогов при построении высокопроизводительных транспортных систем и средств их диагностики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Распоряжение ОАО «Российские железные дороги» от 23 августа 2017 г. № 1712р «О программе мероприятий по расширению применения процессного подхода в управлении холдингом «РЖД». – М. : ОАО «РЖД», 2017. – 4 с.
- 2 Никищенко С. А. Диагностика железнодорожных процессов на основе операторных схем. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing. 2015. – 349 с.
- 3 Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. – СПб. : БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
- 4 Фундаментальные и прикладные исследования в области параллельных вычислений [Электронный ресурс]. – URL: <https://parallel.ru/research> (Дата обращения: 21. 02. 2020)
- 5 Касьянов В. Н., Евстигнеев В. А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
- 6 Основы технической диагностики: модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / Под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.
- 7 Andronchev I. K., Nikishchenkov S. A., Romanova P. B. Theoretical and multiple model of transport multi– operational reconfigurable processes // Advances in Intelligent Systems and Computing. VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019, 2020. Volume 1116 (2), pp. 1054–1063.

УДК 338. 46

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДХОДОВ К УПРАВЛЕНИЮ ЗАПАСАМИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК

В. А. Хайтбаев

г. Самара, Самарский государственный университет путей сообщения

**Аннотация.** Проведен анализ возможностей оптимизации логистических процессов в сфере управления запасами предприятий. Для совершенствования политики управления запасами проведен краткий анализ неко-

торых моделей управления запасами, определены их ограничения при использовании в цепях поставок компаний. Приведено обоснование выбора рационального решения для поддержки технологий управления запасами. На базе предложенных моделей управления запасами сформирована методика, позволяющая совершенствовать подходы к управлению запасами в цепях поставок.

**Ключевые слова.** Управление запасами, модель, подход, политика управления запасами, цепь поставок, методика управления запасами, капиталовложения, эффективность.

**Annotation.** The analysis of the possibilities of optimizing logistics processes in the field of enterprise inventory management is carried out. To improve the inventory management policy, a brief analysis of some models of inventory management was carried out, their limitations were determined when used in the supply chains of companies. The rationale for choosing a rational solution to support inventory management technologies is given. Based on the proposed inventory management models, a methodology has been formed that allows improving approaches to inventory management in the supply chain.

**Keywords.** Inventory management, model, approach, inventory management policy, supply chain, inventory management methodology, investment, efficiency.

Проблемы высоких капиталовложений и затрат на содержание запасов остаются до сих пор достаточно острыми и дискуссионными, несмотря на повсеместную приверженность концепциям нулевых уровней запасов, которые теоретически обеспечивают минимальные капиталовложения и затраты, с одной стороны. С другой, практика бизнеса показывает, что предприниматели всегда стоят перед выбором: «нулевой запас – минимальные затраты – риск не выполнить заказ в виду отсутствия запаса на складе» или «завышенные уровни запасов – большие расходы на содержание запасов – гарантированное выполнение заказа». Очевидно, необходимо подсчитать издержки и выгоды возможных подходов к управлению запасами на предприятии.

Отношение к запасам еще более усложняется, в виду возрастания неопределенности связанной с необходимостью выбора стратегии управления запасами в цепях поставок, которые имеет большую протяженность и большое количество посредников.

В данном случае возникает необходимость в координации и интеграции подходов к управлению запасами между предприятиями в цепях поставок для удовлетворения требований конечного заказчика по месту, времени, объему, номенклатуре, качеству и цене. Что же является объектом интеграции в цепях поставок? Очевидно потоки материалов, по параметрам которых предприятия в цепях поставок вступают в договорные отношения, фиксируя при этом объемы, номенклатуру, спецификации, время, интенсивность, цену и т. п.

Кроме того, анализ содержания договора, показывает, что основным интегрирующим фактором цепи поставок, которая ориентирована на максимальное приближение товара к покупателю и предоставление качественных логистических услуг и качественного товара является требования к **качеству процессов доведения товаров** до потребителя т. е. выполнение требований по месту, времени, интенсивности, периодичности и т. п. поставок, с учётом таких же требований на предыдущих участках цепей поставок. Поэтапное (пошаговое), от одного звена цепи к другому, выполнение данных требований обеспечивает необходимое взаимодействие и интеграцию субъектов цепи поставок, которое позволяет ближайшему к потребителю звену цепи поставок обеспечить реализация концепций совместного управления ресурсами, качеством и доставить товар в нужное время и в нужное место.

Более детальный анализ доказывает, что требования к качеству процесса доведения товара по цепочке поставок начинают передаваться в предыдущие звенья: от конечного потребителя к сбытовому, от него к производителю и доле поставщиком ресурсов. Взаимодействие указанных процессов, как известно и обеспечивает возможность усиления конкурентных преимуществ при реализации конечной продукции.

Необходимость делать запасы возникает каждый раз, когда невозможно строго синхронизировать производство и потребление. Однако решение вопроса по установлению наивыгоднейших объемов запасов и моментов заказов на их восполнение представляет собой далеко не легкую задачу. Попытки математического обоснования этой проблемы относятся лишь к началу нашего столетия, при этом до 50-х годов XX-века математическому исследованию подвергались преимущественно задачи по определению наиболее экономичного размера партии закупаемых товаров или запускаемых в производство изделий.

Дальнейшая потребность практики по регулированию запасов в сложных условиях современного производства потребовала приложения математических теорий к более разнообразным задачам такого рода. При этом оказалось, что в подавляющем большинстве случаев исходные условия имеют ве-



роятностную природу. Это привело к расширению круга применяемых математических средств за счет привлечения аппарата теории вероятностей и математической статистики.

На самом деле основной вопрос управления запасами на первый взгляд достаточно прост: какова должна быть величина товарного запаса на складе, чтобы минимизировать издержки по управлению запасами и обеспечить необходимый уровень обслуживания клиента. Это вопрос делится на две части [1: 57].

Первая часть, как сделать издержки управления запасами минимальными при заданном (постоянном или не постоянном, но известном) спросе?

Вторая часть, как оценить риск возникновения дефицита на складе с учетом случайных колебаний спроса? Сколько нужно платить за содержание страхового запаса, чтобы снизить риск возникновения дефицита до приемлемого уровня и обеспечить необходимый уровень обслуживания клиентов?

Первая часть вопроса относится к принятию решений в условиях определенности и предусматривает несложные модели управления запасами, в первую очередь классическую модель экономического размера заказа (EOQ). Вторая предусматривает подробный анализ характеристик случайного спроса и использование стохастических моделей [2: 67].

На самом деле если говорить о предприятиях в цепях поставок (производственные, поставщики ресурсов, сбытовики, оптовые и розничные посредники), то условия их функционирования можно описать следующими состоянием: в рассматриваемой системе некоторые величины вполне определены, другие зависят от случая, т. е. принимают случайные значения, но так, что известен закон распределения вероятностей каждого из этих значений. Между вполне определенными и случайными величинами могут быть соотношения любого рода. Очень часто наблюдаются явления, имеющие стохастический характер. Это означает, что вероятности состояний изменяются во времени. При такой ситуации стараются делать предсказания, опираясь на статистические сведения о наблюдаемых и измеряемых величинах.

Вместе с тем, анализ особенностей и характера производственной деятельности промышленных предприятий, предприятий торговли, предприятий транспорта показывает, что не всегда возможно, в целях экономии, а иногда и экономически и технологически неоправданно стремиться к нулевому уровню данного актива. Это, например, справедливо для предприятий металлургической промышленности, сельского хозяйства, оптовой и розничной торговли.

Безусловно, такие достаточно эффективные логистические системы и концепции, как KANBAN, «Just-in-time», MRP, «Lean production» и другие во многом способны решать обозначенные проблемы при создании необходимых организационно-правовых, технико-технологических и социально-экономических условий.

Однако, особенности планирования, управления и организации, технологии производства, грузопереработки, упаковки и распределения товаров не всегда можно «встроить» в какую-либо логистическую концепцию.

Так, например, задача получить экономический эффект от применения методов логистики, в части использования теории управления запасами на таких производственных предприятиях, предприятиях поставщиков, терминальных комплексах и т. п. сталкивается с возникающими при этом противоречиями. Использование классического инструментария теории управления запасами обеспечивает более низкий объем капиталовложений в запасы, ускоряет оборачиваемость капитала, снижает затраты на содержание и высвобождает складские емкости.

С другой стороны, возникает проблема с содержанием и обслуживанием высвобождающихся складских площадей по причине оптимизации уровня складских запасов в сторону их уменьшения. Конечно, их можно сдать в аренду, но не всегда удастся найти груз, который бы по времени и стоимости компенсировал бы возникающие траты на обслуживание пустующего объекта.

Еще одна проблема, о которой сказано в начале статьи, это необходимость интеграции подходов к управлению запасами предприятий в цепях поставок. Как правило, рациональный способ управления запасами на одном предприятии может привести к отрицательному эффекту на другом.

Поэтому, классический аппарат теории управления запасами для всей цепи поставок, применить с гарантированным экономическим эффектом не получится и возникает необходимость в разработке адаптированной методики управления запасами для таких ситуаций.

Анализ применимости различных, наиболее известных моделей управления запасами показывает ограниченные возможности по их использованию на предприятиях в цепях поставок.

В частности, модель Уилсона (Economic Order Quantity) (1):

$$q^* = \sqrt{\frac{2D \times c_0}{ic}} = EOQ, \quad (1)$$

где  $q^* = EOQ$  – экономичный размер заказа;  $D$  – спрос;  $c_0$  – затраты на выполнение одного заказа;  $c$  – цена единицы продукции, хранимой на складе, денежная ед;  $i$  – доля от цены, приходящаяся на затраты по поддержанию запасов.

Использование данной модели имеет существенные ограничения, не позволяющие ее использование на большом участке цепи поставок. Главный недостаток – это однономенклатурность модели и отсутствие динамических параметров, а с учетом того, что предприятия работают с поставщиками и заказчиками по сотням номенклатур она применима с серьезными оговорками. Кроме того, эта модель не допускает возможности управления случайными величинами в процессах товародвижением, а возможности интеграции взаимодействий ограничены непосредственным поставщиком. То есть данная модель не «видит» всю цепочку.

Модель производственного размера заказа (Production Order quantity – POQ) (2):

$$q_p^* = \sqrt{\frac{2D \times c_0}{c \times i}} \times \sqrt{\frac{p}{p - \lambda}}, \quad (2)$$

где  $p$  – интенсивность производства (объем выпуска продукции в единицу времени);  $\lambda$  – интенсивность спроса.

Преимуществом этой модели является возможность учета времени пополнения запаса от момента начала поставки, в течение которого поставляется (производится) определенный объем продукции. Вместе с тем ей присущи те же недостатки, что и предыдущей модели, поэтому ее использование не рационально.

Модель управления запасами с учетом времени транспортировки [3: 127]:

$$C'_\Sigma = c_0 \times \frac{D}{q} + c \times i \times \frac{q}{2} + c_t \times \frac{\tau_n}{\tau_{cs}} \times q, \quad (3)$$

где  $C'_\Sigma$  – суммарные годовые затраты управления запасами;  $q$  – размер заказа;  $c_t$  – затраты, связанные с запасом в пути;  $\tau_n$  – время в пути;  $\tau_{cs}$  – оптимальное время между двумя смежными заказами.

Может быть использована в тех случаях, когда время транспортировки заказа на склад занимает большую часть времени его выполнения и сопоставимо с циклом пополнения запаса где, необходимо учитывать затраты, связанные с запасом в пути (Inventory in transit costs). Однако эта модель так же, как и предыдущие, имеет вышеуказанные недостатки и мало чувствительна к случайным изменениям спроса, срывам поставок и является однономенклатурной. Поэтому её использование малоэффективно.

Разновидности модели Уилсона, связанные с оптовыми закупками и планируемым дефицитом, решая задачи уменьшения стоимости модели за счет крупных поставок и преднамеренного планирования дефицита, соответственно, также не лишены недостатков присущих ранее перечисленным моделям.

Более значительный интерес может представлять модель ABC-XYZ анализ. Во-первых, это модель позволяет управлять запасами большой номенклатуры, которая, например, для предприятий соответствует фактическому номенклатурному списку, во-вторых, модель обеспечивает возможность деления номенклатуры по критерию доли дохода в общем объеме номенклатуры и применения адекватной политики управления запасами к каждой из групп – А, В и С, и наконец, в-третьих, XYZ анализ учитывает свойство неопределенности для всей номенклатуры, разделив их соответственно на группы X, Y и Z в зависимости от вариативности спроса по каждому товару.

Однако, при всех преимуществах перед предыдущими моделями, она не нацелена на минимизацию уровня запасов, ускорению оборачиваемости, уменьшению капиталоемкости запасов и управлению запасами на участке цепи поставок. Но, данная модель может быть вполне пригодна как часть общей методики управления запасами на протяженном участке цепи поставок.

Следующая модель, которая может быть использована – многономенклатурная:

$$C_{\Sigma n}^* = \sqrt{2 \sum_{i=0}^n C_i \sum_{i=1}^n A_i C_{Xi}}, \quad (4)$$

где  $C_{\Sigma n}^*$  – минимальные суммарные затраты;  $i$  – номер номенклатуры,  $n$  – позиция номенклатуры;  $C_i$  – переменная, зависящая от объема выполняемых на складе операций при формировании заказа;  $A_i$  – потребность в  $i$  – номенклатуре;  $C_{Xi}$  – затраты на хранение  $i$  – номенклатуры запасов.

Эта модель применяется при наличии на складе поставщика широкой номенклатуры товаров и встает вопрос о возможной организации одновременной поставки потребителю  $n$  номенклатур.

Учитывая работу предприятий с широкой номенклатурой товаров, это модель может использоваться, но в условиях некоторых ограничений. Первое ограничение касается малой чувствительности к колебаниям спроса, второе, многономенклатурная поставка предполагается от одного поставщика, что

не всегда соответствует возможностям одного поставщика предоставить хотя бы 25–30 % номенклатуры. Более того, эта модель также мало пригодна к использованию в интегрированной цепи поставок.

Следует также упомянуть достаточно большую группу моделей, которые обеспечивают минимизацию затрат на управление запасами в условиях неопределенности. Эти модели не заменимы в рыночных условиях, где многие переменные являются прогнозируемыми и поэтому являются случайными величинами, например, объем и интенсивность потребления, количество номенклатур, время транспортировки и т. п.

Но, поскольку, предприятия в цепях поставок работают с поставщиками и заказчиками по годовому плану, в котором рассчитаны в соответствии с годовой потребностью объемы, частота, интервалы времени между поставками, номенклатура, затраты и т. п., использование стохастических моделей представляет интерес для расчета страхового запаса. Однако в данном случае, можно не прибегать к аппарату теории вероятностей и математической статистики и рассчитать страховой запас простым произведением возможной задержки поставки на величину средневзвешенной отгрузки.

По нашему мнению, подходом, который отчасти может решить задачу управления запасами на участке цепи поставок является использование динамических моделей. Так, например, описательный план поставок можно определить в соответствии с принципом оптимальности Р. Беллмана. При построении исходной задачи весь период  $T$  делится на фиксированное число шагов  $n$ . На каждом шаге состояния системы  $S_{k-1}$  и решение  $X_k$  нужно выбирать с «оглядкой», т. е. этот выбор влияет на последующее состояние  $S_k$  и дальнейший процесс управления зависит от  $S_k$ . Это следует из принципа оптимальности. В результате объект управления (запасы) выводится из начального состояния  $S_0$  в состояние  $S^*$ . Последовательно проходя  $n$  шагов, объект управления приходит к требуемым значениям состояния запаса.

Целевая функция согласно принципу оптимальности находится по формуле:

$$Z_k^*(S_{k-1}) = \max \{ f_k(S_{k-1}, X_k) + Z_{k+1}^*(S_k) \} \quad (5)$$

$$k = n-1; n-2; \dots; 2; 1.$$

Таким образом, многообразие моделей и подходов к управлению запасами, особенностей производственной деятельности предприятий и рыночная среда, показывают нецелесообразность применения какой-то одной модели и требуют системного и комплексного подходов к задаче управления запасами, особенно если требуется определить параметры управления запасами во всей цепи.

Как известно, теорию управления запасами можно определить, как совокупность методик, применяемых в календарном планировании при расчете количества материальных ценностей, резервируемых для будущего использования. Поэтому для предприятий занимающихся обеспечением широкой номенклатурой товаров производственных подразделений следует разрабатывать адекватные методики, которые бы учитывали и специфику планирования с рассчитанными потребностями, и рыночную конъюнктуру с позиции динамики цен, и возможные случайные события.

В качестве варианта такой методики мы предлагаем следующую последовательность мероприятий, каждое из которых может включать представленные ранее модели.

1. Анализ годовых планов работы предприятий в цепях поставок.
2. Сбор и анализ потребностей предприятий по объему и номенклатуре товаров.
3. Изучение поставщиков, их анализ и оценка.
4. Анализ и оценка предполагаемых к применению моделей управления запасами.
  - 4.1. В случае заказа больших однономенклатурных партий, такая потребность есть, можно использовать простейшую модель Уилсона, формула (1) и ее модификации в зависимости от характера поставки. Это модель производственного запаса и модель в условиях оптовых скидок. Здесь есть смысл рассчитать возможный страховой запас.
  - 4.2. Для управления более широкой номенклатурой целесообразно использование многономенклатурной модели, формула (4). Использование модели ABC–XYZ анализа возможно использовать ограничено, поскольку она предусматривает концентрацию координации и контроля для наиболее рентабельных групп товаров и тем самым увеличение прибыли. А в задачи дирекции МТО входит обеспечение всей номенклатурой изделий заказчиков вне зависимости от цены единицы товара любой номенклатуры. То есть очевидны различные целевые установки.
  - 4.3. Для реагирования на возможные случайные события, рекомендуется иметь отработанный алгоритм использования стохастических моделей. Учитывая достаточно высокий планируемый уровень показателей производственной деятельности дирекции МТО, тем не менее нельзя утверждать о достаточно стабильной макроэкономической ситуации в стране, поэтому мы рекомендуем уметь использовать упомянутые модели.

- 4.4. Использование динамической модели Р. Беллмана.
5. Предложенные модели рекомендуется включить в оболочку макрологистической системы «Just-in-time». Это обосновывается масштабом хозяйственной деятельности предприятия, где мы видим классическую логистическую цепь поставок, состоящую из поставщиков ресурсов, складского комплекса с функциями консолидации, грузопереработки и распределения и заказчиков, которыми являются конечные потребители.
  6. Разработка способов окупаемости пустующих площадей. Здесь нам видится два подхода к решению этой проблемы. Первое, поиск груза и арендатора. Второе, расширения комплекса сопутствующих логистических услуг, как для конечного заказчика, так и для арендатора. К этим услугам относятся таможенная очистка, специальная упаковка, штрих кодирование и т. п., то есть за что потенциальный клиент готов дополнительно заплатить.
  7. Заключительным этапом методики, будет, является ее оценка, которая покажет насколько отклонялись в течение планового периода фактические логистические показатели от плановых.

Дальнейшая работа по вычислительному эксперименту требует значительного массива статистики, упорядоченного по временным рядам. Чем больше временных рядов будет использовано для прогноза, тем адекватней будет прогноз и соответственно план.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Зайцев М. Г., Варюхин С. Е. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы: учебное пособие. – 2-е изд., испр. – М. : Издательство «Дело» АНХ, 2008. – 664 с.
- 2 Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник. – М. : ИНФРА-М, 2008. – 430 с.
- 3 URL: <https://docplayer.ru/47899881-Mnogonomenklaturnye-modeli-upravleniy-zapasami-s-ogranicheniem-na-obyom-sklada.html>

---

---

## СЕКЦИЯ 4

# Иностранный язык в робототехнике и автоматизации

УДК 51.7

### SPECIFICITIES OF THE ENGLISH LANGUAGE FOR STUDENTS MAJORING PROGRAMMING

D. A. Alekseeva

Samara, Samara State Technical University

**Abstract:** Most programmers come from such countries as the USA, Canada, India. As we know, the education in these countries is conducted in English. Thus, India has more programmers than China not because Indians are smarter. It is because Indian secondary and post-secondary education is always in English and students can not enter the University or the college if they do not know English [2].

This study highlights the necessity for non-native future programmers to study the English language, what difficulties students have to overcome and recourses might help them to keep up.

**Keywords:** programming languages, artificial languages, perform several tasks, an object-oriented programming language, up-to-date information.

There are about 8000 programming languages in use today and most of them are English-based. Programming language is a formal language that tells computers what to do in order to work. Programming languages are used to make all the computer programs and computer software.

Each programming language has its own set of vocabulary (keywords) and grammatical rules (syntax) that initiate a computer to perform several tasks. Keyword is a word that is reserved by a program because the word has a special meaning. Keywords can be commands or parameters. Every programming language has a set of keywords. Syntax is a set of rules for grammar and spelling. In other words, it means using character structures that a computer can interpret. As we know any language is a set of symbols with the rules for the formation of meaningful sequences of these symbols, the main rules of the language should be familiar for the programmer [1]. Programming languages are based on natural language, English mainly. It might facilitate for a student studying programming the process of acquiring the concept of the subject: keywords and a syntax of the programming language studied.

The top programming languages are C, C++, Java, JavaScript, Swift, Visual Basic. These languages were developed at American companies:

C and C++ at *AT&T (American Telephone & Telegraph)*

Java at *Sun Microsystems*

JavaScript at *Netscape*

Swift at *Apple Inc.*

Visual Basic at *Microsoft.*

Creation of artificial languages has come close to natural English. Thus, all of the programming languages use English keywords and syntax. It means, if the user stays within the restricted natural language or does not know it at all, he could not have the freedom of the full range of programming language. This is a significant obstacle for acquiring syntax and keywords of one of these programming languages.

Scientists identified that learning to program is more difficult for non-native speakers of English. Experts claim that non-native speakers have specific difficulties in understanding and remembering the keywords of a programming language, for example signed, void, switch, etc., as a natural language these words have come from is unfamiliar to them. As a result, students majoring IT have certain problems in programming. For instance, how they can communicate to a machine, if they neither know subject very much nor the language. They have to give the machine commands and instruction using the keywords and syntax of programming language based on English. The better the programmer knows English, the easier the programming process might be[2].

Firstly, learning English is important for a programmer thus it makes studying process easier. Knowledge of the language helps to communicate to a computer the keywords of programming languages. Secondly, English gives opportunities for self-development because up-to-date information can be obtained from foreign resources. Every day hundreds of articles are published in the Internet about IT and Programming. The only barrier between you and new information is lack of knowledge of English. Thirdly, of course, English gives you a chance to get a job or take an internship abroad.

I am a student of applied mathematics and computer science profile and I am studying programming. I see that among my groupmates those who have good command of the English language, succeed in programming as well. My study is based on the semantics of C# programming language.

C# is an object-oriented programming language from Microsoft. C# is based on C++ and contains features similar to those of Java. It is mainly used for developing desktop applications and, more recently, Windows 8/10 applications.

There are 78 keywords in C# programming language. The complete list of the keywords is in the Table 1 [3]

Table 1.

The keywords of C# programming language

abstract	do	in	protected	throw
as	double	int	public	true
base	else	interface	readonly	try
bool	enum	internal	ref	typeof
break	event	is	return	unit
byte	explicit	lock	sbyte	ulong
case	extern	long	sealed	unchecked
catch	false	namespace	short	unsafe
char	finally	new	sizeof	ushort
checked	fixed	null	stackalloc	using
class	float	object	static	using static
const	for	operator	string	virtual
continue	foreach	out	struct	void
decimal	goto	override	switch	volatile
default	if	params	this	while
delegate	implicit	private		

The examples of using keywords from the table and also explanations of corresponding keyword of programming language and its meaning in English are shown below:

**Const** – is used to declare an *identifier*

**Int** – declares *integer* type variable.

**Goto** – is used for *unconditional jump* to a labeled statement inside a code.

**For** – There are three types of loops in C programming. The for-loop is written in C programming using keyword for.

**Switch and case** – The switch and case statement is used when a block of statements has to be executed among many blocks.

**If and else** – If and else are used to make decisions and loops [4].

Thus, we can see that meaning of these words and command and operations which they perform as keywords in programming are similar. That is why if you learn English, you will make the process of studying easier and faster, because you will know the meaning of these words in English and compare them in a code.

Why it could be so difficult for programmers to learn English? A number of problems are listed below:

**1. Insufficient grammar knowledge.** Technical texts and simplified grammar constructions of programming languages do not require proficient knowledge of the English grammar. Those who are involved in the sphere of programming have to improve language level in terms of grammar.

**2. The language barrier.** IT-specialists, especially programmers, have little speaking practice. As a result their listening skills are poorly developed, they may understand English speech, but communication skills are to be practiced.

**3. Auditory barrier.** Programmers are not used to perceive oral information. Improving listening skills may help to overcome stressful situations when they have to listen to English speech [5].

Thus we can draw a conclusion that knowledge of the English language is essential for programmers, as it is a constituent part of their profession. Therefore, students of Information Technology department should have a better command of English than any other future specialist, as this is their professional tool.

It is necessary to make English language test for IT profiles. In this test, students would use the correct keyword as an answer, which they have learned in the programming languages. This task can help to check their ability to find and use keywords in social texts. [6: 19]

How can students improve their knowledge of the English language. From my own experience I can advise some useful resources. Among them Internet and printed resources. Some examples are given below:

1. Enroll Online English courses for information technology specialists
  - a. SkyEng: <https://it-english.skyeng.ru/>
  - b. GeekBrains: <https://geekbrains.ru/courses/98>
  - c. Coursera: <https://www.coursera.org/>
2. Listen to professionally oriented podcasts in English
  - a. [herdingcode.com](http://herdingcode.com)
  - b. [se-radio.net](http://se-radio.net)
3. Use specialized authentic coursebooks for IT specialists. For example, «Oxford English for Information Technology» by Glendinning E. H., McEwan John and «Check Your English for Computers and IT» by Jon Marks can help students master all aspects of the English language and get specific professional knowledge.

There is an intensive technical progress nowadays. More and more young people are interested in technologies and its development. They enter the Universities and major Information Technologies. Students learn how to code in different programming languages. The top of this artificial languages are English-based that is why it is so important for programmers to learn natural language. Of course, knowledge of the English language will not make one a professional programmer, but it could help to understand the structure and keywords in any code.

## REFERENCES

- 1 Sammet J. E. The Use of English as a Programming Language . Communications of the ACM, N. 3, V. 9, 1996.
- 2 How important is English to programmers? Retrieved February 03, 2020, from <https://www.quora.com/How-important-is-English-to-programmers>
- 3 C# | Keywords. Retrieved January 23, 2020, from <https://www.geeksforgeeks.org/c-sharp-keywords/>
- 4 Top 4 Programming Languages To Learn In 2019. Retrieved February10, 2020, from <https://www.programiz.com/c-programming/list-all-keywords-c-language>
- 5 English for IT specialists. Retrieved March 3, 2020, from <https://englex.ru/english-for-it-specialists/>
- 6 Veerasamy A. K., Shillabeer A. «Teaching English based programming courses to English learners/non-native speakers of English», RMIT University, Vietnam, 2014. C. 19– 20.

## DESIGN OF OPEN URBAN SPACES BASED ON THE PRINCIPLE OF “DEAF SPACE”

**M. O. Bakanova**

Samara, Samara State Technical University

**Abstract:** The article describes the importance of living conditions in the city. Today caring for urban residents has become a key point to create vibrant, safe, economically sustainable and comfortable cities and is crucial in the twenty– first century. That is why respect for people in the urban space should play a key role in planning cities and building up territories. Creating an accessible environment for all categories of the population is the primary task of any developed society, as well as an actual direction of social policy of the state. An accessible environment is a complex that includes equipping various urban facilities with all the necessary equipment that can help people with disabilities navigate much better in space, move more freely on the street or inside buildings, and adapt to an independent life more easily.

**Keywords:** an accessible environment, living conditions, urban space, people with disabilities, visually impaired and blind people, hearing-impaired and deaf people.

It is difficult for people without hearing disorders to imagine what problems hearing– impaired and deaf people face every day, what obstacles the deaf have to overcome in a world created by and for hearing people. The existing environment is often inconvenient and unsafe for the deaf. This is why we conducted research, surveys and developed principles for designing public spaces that meet the needs of deaf people – “deaf spaces”.

The design of spaces for the deaf challenges architects who need to understand how different people use space and shape it accordingly.

Lighting, sound-absorbing surfaces, large spaces – all these elements can affect the ability of a deaf person to communicate. Sharp corners, narrow streets, bright lights, echoes and vibrations are perceived by deaf people as obstacles to communication.

When deaf people gather in groups, for example, to work together, they have to reorganize the space, rearranging furniture in a so-called " conversation circle", to ensure good visibility, so that everyone can maintain eye contact with all the interlocutors. Meetings often begin with participants adjusting curtains, adjusting lights, and Seating to optimize the conditions under which visual communication occurs to avoid eye strain. Deaf people at home often make new holes in the walls, hang mirrors and lamps in strategic places to expand the perception of vision and maintain visual contact between family members.

Such practical actions used by deaf people in order to adapt the space to themselves, which are long–standing traditions that, however, have never been officially recognized or recognized before, should become the main elements of architectural expression of the uniqueness of the ways of existence of deaf people. The study of spaces for the deaf involves understanding the relationship between sensations, the way the environment is designed, and cultural characteristics that must be carefully studied by the society.

Experience of Gallaudet University

Gallaudet University became the world's first institution of higher education for the deaf and hard of hearing, and remains the only University in the world where all educational programs and environments are adapted to people with hearing disorders.

Deaf people live in the world where sight and touch are the main means of orientation and communication. Their worldview and perception are very different from the perception of a hearing person, and the standard approach to designing urban spaces is not suitable for them. The first attempts to solve this problem were made at Gallaudet University in the USA for the deaf and hard of hearing people.

In the spring of 2005, a two-day workshop was held at Gallaudet University to find a solution to the problem of organizing the space of the new campus. About 20 participants – teachers, students and administrators – came together with the architect and designer Hansel Bauman to contribute to the creation of the new campus.

For two days, the participants discussed what they would like to see in the new building, and their ideas became the basis of the design and this architectural philosophy. Deaf Space, as it has come to be known, aims to create buildings and public areas that match the way of life and culture of the deaf and hard of hearing – for example, by ensuring that spaces allow for free sign language communication without being distracted by obstacles. In developing the concept of the new campus of the group of participants was guided by such terms as: the need to



design from the perspective of a deaf person, creation of conditions for communication and education, the preservation of the new campus with the old, creating a comfortable ratio of buildings and open spaces, the organization of recreation zones, providing a holistic, harmonious appearance of the campus.

The result of the seminar was the project of a new campus, convenient for deaf people, developed by architect G. Bauman in collaboration with Gallaudet University. For the next five years, principles for designing spaces for the deaf were developed. For this purpose, a catalog of more than 150 individual architectural elements was created, which indicate five main techniques for creating spaces that correspond to the way deaf people interact with the environment: space and proximity, a variety of effects on the senses other than hearing, mobility, color and light, and finally acoustics.

The principles developed by the group marked the beginning of a new era of design. Today, the principles of deaf space are ready to transform the world around us.

❖ Principles of creating spaces for the deaf:

1. Various effects on the senses other than hearing

Orientation in space and awareness of actions performed in close proximity give a sense of comfort and security. Deaf people "read" actions in the surrounding space in ways that may not be obvious to most hearing people: they have a heightened sensitivity to visual and tactile signals, such as the movement of shadows, vibrations, and even the slightest changes in the expressions and poses of people around them. The environment should be designed to maintain a 360-degree view at all times, thus helping you navigate and find the right path.

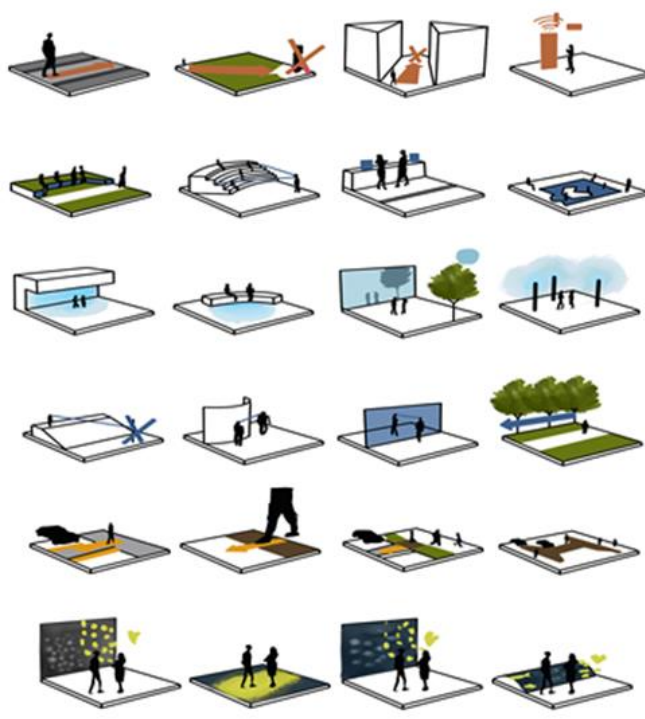
2. Space and proximity

Deaf people need to maintain a clear visual communication, see the expression of the face at a certain distance, and a full measurement of the space in which the gestures occur. The space between the two gesticulating people is usually larger than in an oral conversation. As communication participants increase, the space between individual participants increases to provide visual communication for all parties. This basic dimension of space between people affects the basic layout of rooms.

3. Mobility and proximity

When communicating in motion, gesticulators will usually maintain a wide distance for clear visual communication. Conversationalists will also shift their gaze from the other person to the environment, analyzing the situation and keeping the right direction. If one of the interlocutors feels the slightest danger, he warns his companion and adjusts the position without interrupting the conversation. The correct design of spaces of circulation and congestion of people makes it possible for gesticulating people to move in space without stopping.

4. Light and color



Poor lighting conditions such as glare, shadow patterns, and illumination interrupt visual communication and are the main causes of eye fatigue, which can lead to loss of concentration and even physical exhaustion. Proper electrical lighting and architectural elements must be installed in order to provide a soft, diffused light suitable for the eyes of the deaf. Color can be used to create a contrast with the skin tone to highlight the sign language and facilitate visual path search.

Design principles of “deaf space”.

### 5. Acoustics

All deaf people have different types and degrees of hearing impairment. Many use assistive devices such as hearing AIDS or cochlear implants to amplify sound. Regardless of the level of hearing, many deaf people actually perceive sound in a way that can be very distracting, especially in people with hearing AIDS. Echoes caused by sound waves Bouncing off hard surfaces can be particularly distracting, even painful for people using assistive devices. Spaces should be designed to reduce echoes and other sources of background noise.

At the moment, Gallaudet University is the only space in the world designed according to all the principles of “deaf spaces”: it is open spaces, a lot of mirrors that provide better visibility, and contrasting colors to the skin tone, soft diffused light. The old campus of the University is a beautiful and historical place. It was built by architect Fredrick law Olmsted in 1866. Today, the ninety-nine-acre campus consists of more than 2. 5 million square feet of academic, residential, and auxiliary buildings and includes the national center for deaf education of Laurent Clerc.

The Residence Hall 6 residential and educational complex, designed by LTL architectural firm in collaboration with Quinn Evans Architects, is the first residential building built using Deaf Space design principles. The building itself is aesthetically interesting, the playful facade of wood, brick and slate show true design innovations.

Communication between people who are deaf is carried out using ASL or American sign language. Using sign language is a process that requires complete visual concentration. Imagine that you are walking while talking to another person; now imagine that you cannot take your eyes off that person while talking: your ability to see and avoid dangers and obstacles will be greatly reduced. Simple actions such as opening a door for the entrance of the building, unable to stop the communication. Therefore, all the doors on campus are automatic, they provide full attention to gestures, allow you not to stop to open the door.

The corporeal nature of sign language requires large areas of physical space. The design for the living room and study hall takes this into account; the hallways are 11 feet wide, almost twice as wide as a normal corridor, and the designers left space in front of the doors. Site visibility is also a key component of blind space design. Since the deaf can't hear when someone is approaching, blind corners are particularly problematic, causing students to stop and literally look around the corner to prevent an accident. The corners at the intersection of corridors in the residential and academic residence are made of glass, which allows students to see through the corners, helping them avoid colliding with each other. In addition, all the chairs in the residence hall are on wheels. This mobility allows deaf and hard of hearing people to easily move chairs in a circle while engaging in conversation.

Gallaudet gave Bauman the opportunity to develop a specific design language to address the problems facing students, and allowed this language to be applied by LTL architects. Living and studying in the Hall 6 residence can be an example for the rest of the world in how to create a comfortable environment that is responsive to the needs of the deaf and hard of hearing. It is obvious that deaf people perceive the surrounding reality in a special way: they have their own language, culture, ways of knowing the world around them, they are more sensitive to color, light, shape, movement of shadows and poses of other people. Unfortunately, most urban spaces do not take this into account, and the deaf are forced to adapt to the environment created by people. In everyday life, moving around the city, they constantly face difficulties, are exposed to danger and feel unsafe outside the home. To avoid such situations, it is necessary to approach the design of public spaces from a completely new point of view – a deaf person. This way we can achieve an amazing design result – the new space will meet the needs of both deaf people and those who do not have hearing problems, because in everyday life we may not see or hear ourselves. what happens around us, for example, when we are lost in our own thoughts, distracted from the road, or listening to music with headphones. The principles of designing spaces for deaf people are one of the main achievements of modern architecture and philosophy. Designing on the principles of good visibility, the ability to see around you at 360 degrees, creating open spaces, contrasting interior colors with skin tones and minimizing sound noise is an indicator of the development of urban planning in the direction of creating spaces focused on a specific person.

Special architecture for deaf and hard of hearing people is a new perspective direction in urban design. As knowledge of the ways of perceiving deaf people increases and humanistic ideas spread in society, the importance of special architecture for the deaf will increase, as will future directions designed to meet the needs of small categories of the population.

## REFERENCES

- 1 How to Design a Better City for Deaf People. Retrieved March 03, 2020, from <https://www.citylab.com/design/2019/03/deafspace-design-disability-architecture-hard-of-hearing-dc/582613/>
- 2 Disability and Society. Retrieved March 20, 2020, from <https://www.hearinglikeme.com/>
- 3 Designing a City for the Deaf. Retrieved March 23, 2020, from <https://www.citylab.com/design/2019/03/deafspace-design-disability-architecture-hard-of-hearing-dc/582613/>

УДК 51.7

## THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FROM GADGET SCREENS ON HUMAN VISION

**I. G. Bakanova, D. A. Kashlakov, O. G. Arutynov**

Samara, Samara State Transport University

**Abstract.** Electromagnetic waves generated by different wireless systems like mobile systems, satellite systems, microwave links...etc. facilitate our communications throughout the world. These waves have many effects on the human body as well as our daily lives. The effects of electromagnetic waves cause many problems and diseases in the human body like poor human vision.

Thus, this paper will describe methods to decrease electromagnetic waves and propose alternative techniques instead.

**Keywords:** Electromagnetic radiation, cell phone, effect of the screen radiation, liquid crystal monitors, a cathode ray tube.

A modern person spends a considerable part of his life at the computer and, of course, it's no secret to anyone that this is very harmful to his eyesight. The purpose of this work is to prove it, based on scientific research and articles.

To begin with, this is a myth. Computers with a cathode ray tube, from which radiation was emitted, and now liquid crystal monitors are used, the electromagnetic radiation from which is insignificant, however, over time, scientists came to the conclusion that neither the screens nor the current ones produce special effects on humans. This is what the ophthalmologist Elena Ivanova says in an interview [1]. As she says, a long "sitting" in front of the monitor can lead to the onset and progression of myopia. By nature, our eye is more designed to look into the distance, and the load "close" is what modern life imposes on us [1]. But more often it comes from non-compliance with rules, such as sitting at a certain distance from the monitor. Further, Elena Ivanova explains that any eye strain is associated with myopia and talks about the concept of "false myopia" – a spasm of the ciliary muscle that occurs with prolonged focusing of eyes on close (or distant) objects. After a while, when the spasm passes, vision returns to normal.

So in one of the studies this is confirmed and when working with monitors, there is some discomfort, however, after a while, everything went away, as well as there is no convincing evidence that there is a significant increase in the risk of myopia occurring or progressing from the use of monitors in comparison with others forms of close work [2].

Also, from 2000 to 2010, several studies were conducted that showed a dependence on the time spent on the street from visual impairment. So, the people who spent more street time is less prone to myopia and vice versa. Also, if the parents had vision problems, then the chances of their eyesight deteriorating are huge. [3]

The only charge for the eyes from which there is an effect is called 20-20-20. It consists in the fact that after 20 minutes of working with a computer, you need to look at 20 meters from yourself for 20 seconds. (Efficiency proven by experts from the University of Texas).

Numerous studies do not reveal a connection between being at a computer and visual impairment, however if this is not due to radiation, but because of heredity and violation of the general rules for being in front of a computer.

REFERENCES

- 1 Reduction of Cell Phone Electromagnetic Radiation Effect on Human Body. Retrieved March 12, 2020. – URL: <http://vechorka.ru/article/kompyuter-ubivaet-zrenie-mif-ili-realnost/>
- 2 Electromagnetic Radiation Influence on human Health. Retrieved March 10, 2020. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8888885/>
- 3 Study of Electromagnetic Field and Its Effect on Human Body. Retrieved March 10, 2020. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5599950/>

УДК 51.7

PROS OF INTRODUCING A UNIVERSITY MOBILE APPLICATION WITH MINING ANALYSIS

R. E. Nasibov, S. A. Mekhonoshin

Samara, Samara State Transport University

**Abstract:** This article discusses the problems that universities face in their activities. A method for solving problems by creating a universal mobile application using intelligent analysis is proposed. The main benefits of educational institutions when implementing a universal mobile application using data mining are considered.

**Keywords:** economic benefit, mobile application, project management, support for student projects, contribution to the development of the university.

In August 2, 2009, Federal Law No. 217-FZ of August 2, 2009, “On Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the Creation of Business Societies by Budget Scientific and Educational Institutions for the Practical Application (Implementation) of the Results of Intellectual Activities, was adopted” " This law allows you to create small innovative enterprises at universities and research institutes. The law was adopted ten years ago, but the most intensive opening of small innovative enterprises occurred in the first two years after the publication of this law.

Динамика создания хозяйственных обществ (хозяйственных партнёрств)

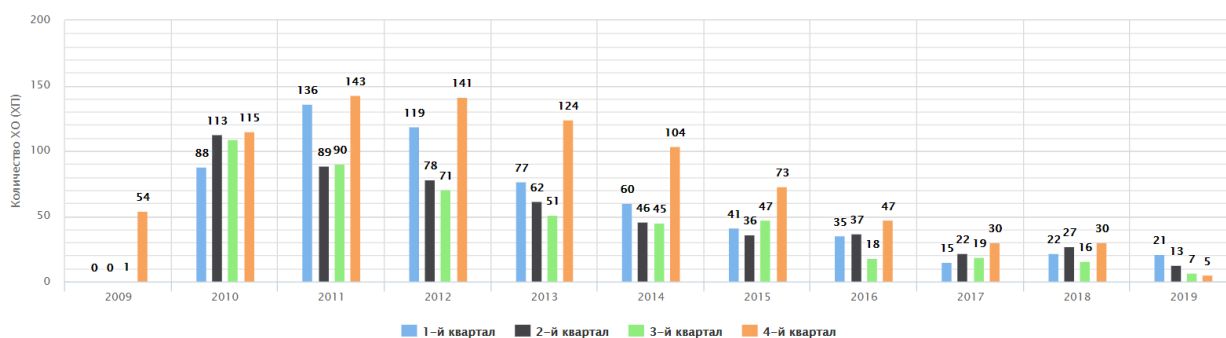


Figure 1. Dynamics of creating business entities

Despite the fact that the state creates the conditions for universities to be able to earn with the help of science, indicators at the moment do not live up to expectations.

Figure 1 presents a diagram of the dynamics of creating business entities. The decanter shows a decline in activity. In 2019, for the first quarter, twenty-one business entities were created. In the second quarter there were thirteen business entities. In the third quarter there are seven business companies, and in the fourth quarter only five.

In our opinion, one of the problems is the difficulty in finding a team for the implementation of grant projects and research. For research, people who are not working at the university and who are not students

are often hired. This is due to the fact that it is difficult to find among university students interested and motivated for research work.

Often students are not even aware of the research work being done at the university, which makes it impossible for students to participate in this work. In addition, it must be emphasized that even the senior management of the couple does not get information about the developments that are being conducted by university students.

Another and not less important problem is the loss of information. Often, information is independent of its significance, lost between links, such as a student department, a department-dean's office, a dean's administration.

One way to solve the problem that many educational institutions use is to add data on the university's research work to the official website. During the research sites of many universities in Russia and abroad were viewed. But this method is not very effective, since students rarely go to the university's website.

To reach a large number of students and teachers, we pretext to develop a mobile and web version of the application. The development of a mobile version of the application is recommended to be created on such operating systems as iOS and Android. The choice of these operating systems is related to their popularity in the Russian Federation.

In addition, the mobile version of the application will be convenient and provide quick access, unlike the site. The web version of the application is an excuse for teachers and university staff. The graphical interface of the web application should be friendly and simple. Have several access levels for different departments and a single window for access to the portal. Dividing the web application into several access levels will allow you to avoid some conflict situations that were before.

To develop the application, the programming languages Swift, Objectiv-C, Java and Kotlin will be used.

Apple, for the development of mobile applications for the iOS operating system, recommends using the Xcode development environment and the Swift and Objectiv-C programming languages.

Google recommends using the Android Studio development environment and the Java and Kotlin programming languages to create mobile applications on Android. These technologies will allow us to develop a quality product for implementation and use.

After the application is implemented, the university will receive statistics that will allow it to solve the problems that were described above.

The statistics will contain various data about the student, such as academic performance, professional competencies, interest, etc. Data will be issued for students who are directly studying at this university. In addition to this, it should be noted that a general report on the educational institution will be formed. In which general statistics will be shown on the involvement of university students in a particular area of training, participation in scientific, sports and other events.

A university knowing what students are interested in, what experience they have, what their motivation is and in what direction they want to develop. Can work out a development model for the university.

## REFERENCES

- 1 Decree of the Government of the Russian Federation "The concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period until 2020" dated November 17, 2008, No. 1662- r (as amended on 08. 08. 2009). Access mode: [http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/fcp/rasp2008\\_N1662\\_red\\_08.08.2009](http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/fcp/rasp2008_N1662_red_08.08.2009)
- 2 Federal Law "On Amending Certain Legislative Acts of the Russian Federation on the Establishment of Business Societies by Budget Scientific and Educational Institutions for the Practical Application (Implementation) of Results of Intellectual Activities" dated August 2, 2012, No. 217. Adopted by the State Duma of the Russian Federation on July 24, 2009, approved by the Federation Council on July 27, 2009 [electronic resource] СПС «Консультант-Плюс».
- 3 "Small innovative enterprises in Russia: new opportunities or an additional burden for universities of physical education". Access mode: <http://bmsi.ru/doc/43c391a2-f1e4-4b8f-abcf-9d27879b3679>
- 4 "A third of small enterprises at universities exist only on paper." Access mode: [http://www.stf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d\\_no=41450](http://www.stf.ru/material.aspx?CatalogId=223&d_no=41450)
- 5 Vlasov A. F. "Implementation of FZ- 217 as a component of the development of innovative infrastructure of universities. First results and prospects" / A. F. Vlasov // From science to business: proceedings of the VI International Forum. – St. Petersburg: SOLO, 2012.
- 6 "Problems and prospects for the development of small innovative enterprises at KSTU" / Kiselev M. V. // Journal "Вестник КГТУ". – Kostroma, 2012, No. 2 (29)

## The BIRTH OF APPLE

I. G. Bakanova., I. A. Vasileva, L. A. Arustamyan

Samara, Samara State Transport University

**Abstract.** The article describes the beginning of the iPhone, its products, tells us about how much they've changed over the twelve years. The article dwells upon the differences between various generations, its advantages and disadvantages.

**Keywords:** iPhone, App Store, high pixel density, improved hardware, headphones, the operating system.

The History of the Apple Birth company happened thanks to two technical genius – Steve Wozniak and modern «marketing specialist's genius» Steve Jobs. The iPhone was first announced by Steve Jobs at the Macworld Expo in January 9, 2007. The name of the iPhone is derived from “phone” with the addition of the letter i. At the presentation, Jobs stated that this is an abbreviation of the word Internet, and also said that “this letter means other things to us” and showed a slide with the words “personal; teach; communicate; inspire” [1].

Steve Jobs is an American businessman, talented Executive, co-founder of Apple Corporation, its inspirer, Director and Chairman of the Board of Directors. Until 2006, he was the Director (CEO) of Pixar animation Studio (Pixar), it was Steve Jobs who gave it this name. Steve Jobs (full name – Steven Paul Jobs) was born on February 24, 1955 in San Francisco, California, USA. [2]

The first iPhone was innovative in itself. Discreet design, minimal elements on the body, strict front panel.

Unfortunately, there were some disadvantages, the first-generation iPhone did not get a number of features that its competitors had (3G support, video recording, multitasking, etc. ), the operating system was closed to the user, there were many Apple restrictions (you can not transfer pictures and music to other users, limited support for data formats, downloading files only via iTunes).

A big fail was the too-deep headphone Jack, which did not allow the use of many 3.5 mm headsets.

Subsequent phones from Apple were:

iPhone 3G (2008)

iPhone 3GS (2009)

iPhone 4 (2010)

iPhone 4s (2011)

iPhone 5 (2012)

iPhone 5s (2013)

iPhone 6/6 Plus (2014)

iPhone 6s/6s Plus (2015)

iPhone SE (2015)

iPhone 7/7 Plus (2016)

iPhone 8 and iPhone 8 Plus (2017)

iPhone X (2017)

iPhone XS, iPhone XS MAX, iPhone XR (2018)

In iOS 2.0, we saw the App Store. And with the release of iPhone 3G, we saw support for UMTS, HSDPA, A-GPS and different body colors (black and white). We also learned about a screen with a high pixel density – Retina Display. The main innovation of the latest smartphone, released under Jobs, was the voice assistant Siri. In 2012, we learned that Apple is able to produce a device with a screen diagonal of more than 3.5 inches. The 30-pin connector went into retirement, it was replaced by Lightning, which is with us to this day. In 5s, the Touch ID fingerprint scanner appeared. iPhone 5s was the first Apple smartphone to be released in gold. The 6s / 6s Plus can be noted sensitivity to the force of pressing the screen with 3D

Touch. And there was a new color “pink gold”. In 2016, the iPhone 7 stopped being afraid of water, it became more reasonable to consume battery power and began to produce stereo sound. Quite a controversial decision was the rejection of the 3.5 mm jack. Now the headphones are only Bluetooth or Lightning. And in the line of as many as 5 colors of the case, this has not happened since the days of the iPhone 5c. iPhone 8 represents a further upgrade to the iPhone 7: in addition to improved hardware, the device has received True Tone technology, as well as a new design with a glass back cover. iPhone X is the first Apple smartphone in the new “Frameless” form factor. Having completely lost the Home key, the device received Face ID facial recognition technology, but the rest of the device’s hardware repeats the iPhone 8 Plus. The main feature of the iPhone X is the new 5.8 “display”. The next technological leap in the development of the iPhone line was realized in the flagship models of the twelfth generation: iPhone 10 XS, iPhone XS Max, iPhone XR, which received the latest Apple A12 Bionic processor [3].

The latest models are:

– The iPhone 11 is the most up-to-date version of Apple’s “budget” line of smartphones as of early 2020.

– The iPhone 11 presentation took place at Apple Park in the fall of 2019, along with the flagship iPhone 11 Pro and iPhone 11 Pro Max.

– The iPhone 11 has a new U1 chip that uses Ultra Wideband technology, which has been used to improve the process of file sharing between devices using AirDrop technology.

– The most significant updates to the iPhone 11 Pro and iPhone 11 Pro Max are: a new, more powerful and energy-efficient Apple A13 Bionic processor; the Main camera has three lenses. Unlike the “budget” iPhone 11, the professional line uses AMOLED displays.

The iPhone 11 Pro is available in four colors: Gold, Silver, Space Gray, and Midnight Green. For fans of OLED screens and mobile photography, when you need to squeeze the maximum out of a gadget– Apple’s flagship smartphones will be the only right choice [4].

## REFERENCES

- 1 The iPhone Is 10 Years Old. Here’s the Story of Its Birth. URL: <https://ruspekh.ru/events/sostoyalas-presentatsiya-pervogo-iphone>
- 2 The One Device. The Secret History of the iPhone. URL: <https://worldofaphorism.ru/kratie-biografii/stiv-dzhobs>
- 3 iPhone through the ages: just how much has it changed? URL: <https://www.iphones.ru/iNotes/polnaya-istoriya-evolyucii-iphone-vse-10-pokoleniy-s-kakogo-nachal-ty-08-07-2018>
- 4 Apple History of Apple Birth of the company. Access mode: <https://daily.afisha.ru/brain/12966-horosh-li-iphone-11-nastolko-cto-mozhet-zamenit-iphone-11-pro/>

---

Научное издание

**МЕХАТРОНИКА, АВТОМАТИЗАЦИЯ  
И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ**

**МАТЕРИАЛЫ II ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

(Самара, 26–27 марта 2020 г.)