

Научно-технический журнал

Издается с 2003 г.

Выходит один раз в квартал

Июнь 2016 года

Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых журналов и научных изданий, утвержденный президиумом ВАК Министерства образования и науки РФ, в которых публикуются основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук

Главный редактор
Заместитель главного редактора
Ответственный секретарь

д.и.н., профессор И.Р. Плева
д.т.н., профессор А.А. Сытник
д.ф.-м.н., профессор В.В. Астахов

Редакционная коллегия: д.т.н., проф. И.И. Артюхов, д.ф.-м.н., проф. В.В. Астахов, д.ф.-м.н., проф. В.Б. Байбурун, д.ф.-м.н., проф. Д.А. Зимняков, д.т.н., проф. В.А. Крысько, д.т.н., проф. В.Н. Лясников, д.т.н., проф. И.В. Родионов, д.т.н., проф. А.А.Сытник, д.т.н., проф. Ю.Б. Томашевский, д.т.н., проф. В.А. Хрусталева

Редактор Л.А. Скворцова
Компьютерная верстка Ю.Л. Жупиловой
Перевод на английский язык А.Х. Аскаровой
Ответственный за размещение полнотекстовой версии журнала
на сайте eLIBRARY.ru М.И. Балакин

Адрес редакции:
Саратов, 410054, ул. Политехническая, 77
Телефон: (845 2) 99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Факс: (845 2) 52-53-02

Подписано в печать 25.06.16
Формат 60×84 1/8 Бум. офсет.
Усл. печ. л. 16,0 Уч.-изд. л. 7,8
Тираж 500 экз. Заказ 62
Отпечатано в Издательстве СГТУ,
410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Полная электронная версия журнала размещена в системе РИНЦ
в открытом доступе на платформе eLIBRARY.RU

Подписной индекс 18378
(каталог Газеты. Журналы на 2-е полугодие 2016 г.)



Scientific Journal

Since 2003

Once in a quarter

June 2016

This journal is included into the list of leading reviewed journals and scientific publications approved by the presidium of Ministry of Education and Sciences of Russian Federation where major scientific thesis's results for academic degree competition for a doctor and a candidate of sciences

Editor-in-chief
Editor-in-chief assistant
Executive secretary

Professor I.R. Plevе
Professor A.A. Sytnik
Professor V.V. Astakhov

Editorial board: prof. I.I. Artyukhov, prof. V.V. Astakhov, prof. V.B. Bayburin, prof. D.A. Zimnyakov, prof. V.A. Krysko, prof. V.N. Lyasnikov, prof. I.V. Rodionov, prof. A.A. Sytnik, prof. Yu.B. Tomashevsky, prof. V.A. Khrustalev

Editor L.A. Skvortsova
Computer-based page-proof Yu.L. Zhupilova
Rendering A.H. Askarova
Responsible for the full-text version of the magazine
Online eLIBRARY.ru M.I. Balakin

Editorial office: 77, Politechnicheskaya Street
Saratov, 410054
Russia
Telephone: +8452/99-87-39
E-mail: vestnik@sstu.ru
<http://dni.sstu.ru/vestnik.nsf>
Fax: +8452/52-53-02

Signed for publishing: 25.06.16
Format 60×84 1/8 Paper offset.
Apr. tp. l. 16,0 Acc.-pbl. 7,8
Edition 500 psc. Order 62
Printed in publishing house of SSTU,
77, Politechnicheskaya St., Saratov, 410054,
Russia

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

- Асланов Л.Ф.** Отражение волн от буронабивных свай большого сечения в шельфовых грунтах..... 5
- Проскуряков Г.М., Полосухин В.С.** Бесплатформенная система ориентации вращающихся подвижных объектов (векторный способ автономной ориентации)..... 14

ФИЗИКА

- Павлов А.Н., Фейзулин Р.А.** Физические особенности воздействия на эритроциты статических магнитных полей при наличии пространственного градиента 24
- Прошкин В.Н., Прошин И.А., Прошкина Л.А., Магомедова М.А.** Совершенствование магнитострикционных преобразователей угловых перемещений с геликоидальной магнитной системой позиционирования 35
- Пушкарь В.Г.** Современные тенденции развития электронной микроскопии 41
- Сапрыкина Н.А.** Синергетические подходы к формированию архитектурного пространства..... 50

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Андрюхина Т.Н., Китаев А.А.** Определение отклонений поверхности изделий по САД-модели 57
- Игнатьев С.А., Казинский Н.А.** Мониторинг качества обработки деталей на токарных станках ПАБ-350 с использованием экспертных данных 61
- Кирюшина М.О., Игнатьев А.А.** Нелинейная модель процесса высокоскоростного маятникового фрезерования 64
- Минин В.В., Гуськов С.Ю.** Оценка влияния силовых факторов захвата малогабаритного погрузчика на жесткость длинномерного груза 69
- Платонов А.А.** Оценка эффективности использования дорожно-рельсовых транспортных средств в пригородном сообщении 78
- Королев А.В., Королев А.А., Балаев А.Ф., Савран С.А.** Технология удаления остаточных напряжений 85

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Иванов С.А., Квятковская И.Ю.** Использование модели Хольта для прогнозирования изменения температурного режима в закрытом грунте..... 91
- Колпаков В.В.** Использование информационных технологий для информирования населения 95
- Попов Г.А., Муратов Р.М.** Формирование системы датчиковых устройств автоматизированного управления автотранспортным средством 99
- Чуркин Г.М., Шиловский В.И.** Выбор средств автоматизации по каналу расхода нефти 108
- Чуркин Г.М., Пинюгин Н.О.** К формированию концепции автоматизированных систем управления технологическими процессами 115

ЭНЕРГЕТИКА

- Хамидуллин И.Н., Сабитов Л.С., Ильин В.К., Кузнецов И.Л.** К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи 121

CONTENTS
MATHEMATICS AND MECHANICS

- Aslanov L.F.** Reflection of waves from bored piles a large section of the offshore soils 5
- Proskuryakov G.M., Polosukhin V.S.** Strapdown attitude control system rotating moving objects (vector method of autonomous orientation) 14

PHYSICS

- Pavlov A.N., Feizulin R.A.** Physical features of the effect of static magnetic fields on red blood cells in the presence of a spatial gradient 24
- Proshkin V.N., Proshin I.A., Proshkina L.A., Magomedova M.A.** Improving magnetostrictive transducer angular displacement with helical magnetic positioning system 36
- Pushkar V.G.** Modern trends in the development of electron microscopy 41
- Saprykina N.A.** Synergetic approaches to formation of architectural space 50

ENGINEERING AND MACHINE-BUILDING

- Andrychina T.N., Kitaev A.A.** The variance of the surface for CAD-models 57
- Ignatyev S.A., Kazinsky N.A.** Monitoring of quality of processing of details on PAB-350 lathes with use of expert data 61
- Kiryushina M.O., Ignatyev A.A.** Nonlinear model of high speed pendulum milling process 65
- Minin V.V., Gus'kov S.Yu.** Assessment of the influence of power factors small-size loader grabs on the stiffness of a long load 70
- Platonov A.A.** Assessment of the effectiveness of use road-rail vehicles in suburban traffic 78
- Korolev A.V., Korolev A.A., Balaev A.F., Savran S.A.** Technology removing residual stresses 86

INFORMATION TECHNOLOGIES

- Ivanov S.A., Kvyatkovskaya I.Y.** Holt use model to predict the changes in temperature in the greenhouse 91
- Kolpakov V.V.** Using information technology to inform the society 95
- Popov G.A., Muratov R.M.** Formation of a system of sensor devices for automated control by motor vehicle 100
- Churkin G.M., Shilovskiy V.I.** Choice of means of automation in channel flow of oil 108
- Churkin G.M., Pinyugin N.O.** Towards the formation of the concept of automated process control systems 116

POWER ENGINEERING

- Khamidullin I.N., Sabitov L.S., Ilyin V.K., Kuznetsov I.L.** For the reliability of overhead power lines 121

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 624.501

Л.Ф. Асланов

ОТРАЖЕНИЕ ВОЛН ОТ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ В ШЕЛЬФОВЫХ ГРУНТАХ

Рассмотрены проблемы отражения морских волн от поверхности свайного фундамента, от наиболее плотного слабосжимаемого шельфового основания и в воде. Определены параметры отраженной волны на сваи большого сечения с «жестким сердечником», наиболее плотного, слабосжимаемого шельфового грунтового основания и в воде для строительства морских сооружений.

Цель работы: определить расчетные параметры отраженной волны буронабивными или буроинъекционными сваями большого сечения, наиболее плотными, слабосжимаемыми шельфовыми грунтами и водой, которые требуются при расчете морских сооружений, подверженных к динамическим воздействиям различных видов морских волн.

Буронабивные или буроинъекционные сваи, шельфовые грунты, морские сооружения

L.F. Aslanov

REFLECTION OF WAVES FROM BORED PILES A LARGE SECTION OF THE OFFSHORE SOILS

The problems of the reflection of the waves on the surface of the pile foundation of the most weakly dense shelf water in the base. The parameters of the reflected wave at the pile of large cross section with a "hard core", the most dense, weakly offshore subsoil and in the water for the construction of marine structures.

Objective: to determine the design parameters of the reflected wave bored or CFA piles of large cross section, the most dense, weakly shelf soils and water, which are required for the calculation of offshore structures subjected to dynamic effects of different types of waves.

Drilling or drilling-injection piles, shelf soils, marine structures

Отражение волн от поверхности свайного фундамента

В существующих литературных источниках описаны технологии и конструкции свайных фундаментов [1-6], но мало изучено применение их для морских сооружений, а также влияние волновых ударов на эти конструкции и отражение волн от поверхности свайного фундамента.

Допустим заданы параметры падающей на буронабивные или буроинъекционные сваи большого сечения с «жестким сердечником» ударной волны при возмущении моря: давление p_1 , скорость перемещения части сваи u_1 , удельный объем грунта оснований сваи v_1 , скорость волны D_1 . Требуется определить параметры отраженной волны на сваи большого сечения p_2 , скорость части сваи u_2 , удельный объем грунта оснований v_2 и **скорость отражающей волны D_2** . Запишем соотношения на фронте отраженной ударной волны в следующем виде:

$$u_2 = u_1 - \sqrt{(p_2 - p_1)(v_1 - v_2)}; \quad (1)$$

$$D_2 = u_1 - v_1 \sqrt{(p_2 - p_1)/(v_1 - v_2)}. \quad (2)$$

Учитывая, что сваи жестко закреплены и неподвижны, тогда ($u_2 = 0$)), из соотношения (1) получаем

$$p_2 = p_1 + \frac{u_1^2}{v_1 - v_2}. \quad (3)$$

Уравнение состояния водонасыщенного или влажного шельфового грунта с моделью многокомпонентной среды при **динамической** нагрузке или от волнового удара имеет вид

$$v_{(p)} = v_0 \sum_{i=1}^3 \alpha_i \left[\frac{\gamma_i (p - p_0)}{p_i c_i^2} + 1 \right]^{-\frac{1}{\gamma_i}}, \quad (4)$$

где γ_i , ρ_i , c_i – соответственно показатель изэнтропии, плотность, скорость звука в i -м компоненте грунта ($i = 1$ – воздух, $i = 2$ – вода, $i = 3$ – кварцевый песок или грунтовая среда); v_0 – удельный объем грунта при давлении $p_0 = 10^5$ Н/м²; α_i – содержание компонента в единице объема грунта (например, заземленный воздух, вода, пористости в единице объема грунта).

Подставляя $v_2(p_2)$ согласно уравнению состояния среды, в выражение (3), получаем нелинейное уравнение для определения неизвестного давления p_2 , решить которое можно методом последовательных приближений. Подставляя полученное значение давления в выражения (1), (2) и (4), находим неизвестные параметры u_2 , D_2 , v_2 .

Особенности отражения волн в зависимости от свойств шельфового грунта и интенсивности давления в падающей волне принимаем $\eta_{отр} = \frac{p_2 - p_0}{p_1 - p_0}$, где p_2 – давление, отраженное

от поверхности буронабивных или буроинъекционных свай большого сечения, определяемой

формулой $p_2 = p_1 + \frac{u_1^2}{v_1 + v_2}$; p_0 – атмосферное давление среды; p_1 – давление, которое от вол-

ны передается на свайные фундаменты; u_1 – скорость частиц на фронте падающей волны с которой она передается к сваям; v_1 – удельный объем грунта; v_2 – удельный объем грунта, отраженного волной.

Грунт принимается как трехкомпонентная среда, состоящая из воздуха, воды и твердых частиц. Каждый компонент определяется отдельно и вычисляется значение соотношения параметров воздуха, находящегося в составе грунта? к общему объему. Например, $\alpha_1 = 0$ (значит, воздух отсутствует); $\alpha_1 = 0,005$, $\alpha_1 = 0,02$, $\alpha_1 = 0,04$ и т.д.; α_2 – указывает на объем участвующей в каждой среде жидкости (вода); α_3 – то же, твердые частицы. В общем объеме

$\sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1$; $\alpha_1 = 0,005$ – значит, в составе шельфового грунта имеется 0,5% воздуха, $\alpha_1 = 0,1$ –

показывает, что в составе имеется 10% воздуха и т.д.

Во всех вариантах шельфовых грунтов принимаем $\alpha_1 + \alpha_2 = 0,4$; $\alpha_3 = 0,6$, т.е. 40% воздух + вода и 60% – твердые частицы.

Если в составе шельфовых грунтов имеется заземленный воздух, тогда зависимость напряжения и деформация имеет нелинейный характер и необходимо использовать реологическую модель грунта, описывающую нелинейные свойства.

Расчетные значения $\eta_{отр}$ на неподвижной поверхности сваи от относительного давления p_1/p_0 для передачи шельфовых грунтов с различным содержанием компонентов $\alpha_i = (i = 1,3)$, приведены в табл. 1.

Отражение волны от конструкции сваи большого сечения в зависимости от свойства шельфового грунта и давления в **падающей волне** можно определить по **коэффициенту отражения** $\eta_{отр}$, который определяется в виде отношения

$$\eta_{отр} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \tag{5}$$

Таблица 1

Расчетные значения $\eta_{отр}$ на поверхности сваи

p_1/p_0	$\alpha_1 = 0$	$\alpha_1 = 0,005$	$\alpha_1 = 0,02$	$\alpha_1 = 0,04$	$\alpha_1 = 0,08$	$\alpha_1 = 0,1$
5	2	3,72	4,13	4,42	4,68	4,74
10	2	4,27	5,25	5,62	6,24	6,53
10^2	2	2,99	4,68	5,69	7,76	8,71
10^3	2,04	2,26	2,85	3,31	4,27	4,62
10^4	2,26	2,5	2,786	2,88	3,2	3,47
10^5	2,92	2,79	2,95	3,05	3,13	3,24
10^6	4,03	2,95	3,02	3,09	3,16	3,35

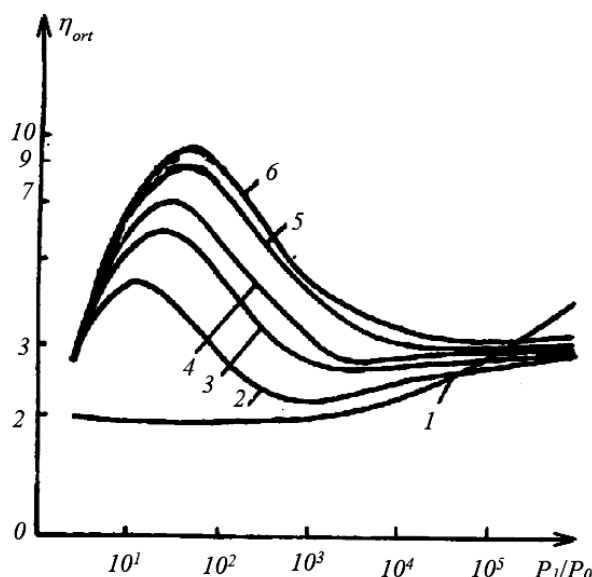


Рис. 1. Зависимость между коэффициентом отражения от неподвижной поверхности свайных фундаментов и относительным давлением в падающей волне:
 1 – $\alpha_1 = 0$; 2 – $\alpha_1 = 0,005$; 3 – $\alpha_1 = 0,02$; 4 – $\alpha_1 = 0,04$; 5 – $\alpha_1 = 0,08$; 6 – $\alpha_1 = 0,1$; $\alpha_1 + \alpha_2 = 0,4$; $\alpha_3 = 0,6$

На рис. 1 представлены зависимости $\eta_{отр}$ от относительного давления p_1/p_0 для шельфовых грунтов с различными содержаниями компонента в единице объема грунта α_i .

Наблюдаемые закономерности изменения коэффициента отражения η_{omp} можно объяснить следующим образом. Значение η_{omp} определяется видом уравнения состояния среды давления в объеме, т.е. $p(v)$. Для линейно-упругой среды $\eta_{omp} = 2$. В случае многокомпонентной нелинейно-упругой среды, как шельфовые грунты $\eta_{omp} > 2$. При малых давлениях сжимаемость водонасыщенного или влажного шельфового грунта малая, а с увеличением давления коэффициент η_{omp} возрастает до тех пор, пока растет кривизна зависимости кривой $p(v)$. С момента уменьшения кривизны $p(v)$ будет уменьшаться коэффициент η_{omp} до своего минимального значения (полной ликвидации свободной пористости в грунте). В дальнейшем сжимаемость среды будет определяться нелинейно-упругой сжимаемостью воды и твердых частиц шельфового грунта, что приведет к медленному возрастанию η_{omp} .

Из рис. 1 видно, что коэффициент отражения η_{omp} с увеличением давления p_1 вначале возрастает до своего максимального значения, затем уменьшается до минимума и в дальнейшем медленно возрастает. Основной особенностью при отражении от буронабивных или буроинъекционных свай большого сечения падающий из многокомпонентной среды или в шельфовых грунтах волны является наличие точек максимума и минимума в зависимости $\eta_{omp}(p_1)$. Как видно из рис. 1, значения $\eta_{omp, \max}$ и $\eta_{omp, \min}$ и соответствующие им давления p_1 существенно зависят от процентного содержания α_i , причем эти величины тем больше, чем больше содержание пористости компонента α_i . При этом $\eta_{omp, \min}$ соответствует почти полной ликвидации свободной пористости ($\alpha_i \approx 5 \cdot 10^{-5}$).

Порядок величины коэффициента η_{omp} , характер его зависимости от величины α_i и p_1 в области малых давлений ($p_1 \leq 30 \cdot 10^5$ Па) находится в полном соответствии с результатами экспериментов по отражению плоской ударной волны от твердой поверхности свайного фундамента в водяной среде. Если в начальном состоянии в шельфовом грунте отсутствует защемленный воздух (см. рис. 1, кривая 1), то происходит очень медленное возрастание коэффициента η_{omp} . При этом в диапазоне давлений $p_1 \leq 10^{11}$ Н/м² на кривой $\eta_{omp}(p_1)$ нет точек максимума и минимума.

Отражение волны от наиболее плотного (менее сжимаемого) шельфового грунтового основания под подошвой свай.

Допустим, основания свайных фундаментов состоят из шельфовых наиболее плотных (менее сжимаемых) глинистых грунтов (глины твердые или полутвердые). Эта среда сравнительно сжимаема, чем поверхности свай, но малосжимаема относительно другого грунтового основания, которое является подстилающим слоем данного грунта и больше сжимается. После достижения падающей волной границы раздела сред по поверхности свай будет распространяться отраженная ударная волна с параметрами p_2 , u_2 , D_2 , v_2 , а по второй – проходящая ударная волна с параметрами p_3 , u_3 , D_3 , v_3 . На фронте этих двух волн будут выполняться соотношения:

$$u_2 = u_1 - \sqrt{(p_2 - p_1)(v_1 - v_2)}; \quad (6)$$

$$D_2 = u_1 - v_1 \sqrt{(p_2 - p_1)/(v_1 - v_2)}; \quad (7)$$

$$u_3 = \sqrt{(p_3 - p_{30})(v_{30} - v_3)} - u_{30}; \quad (8)$$

$$D_3 = \sqrt{(p_3 - p_{30})(v_{30} - v_3)} - u_{30}, \quad (9)$$

где p_1 , u_1 , v_1 – параметры в падающей волне от поверхности свай; p_{30} , u_{30} , v_{30} – соответственно давление, скорость и удельный объем второй среды перед фронтом проходящей ударной волны.

На границе раздела сред от поверхности сваи к I-слою грунтового основания наиболее плотного шельфового грунта (твердой или полутвердой глины) для давления p_2 и скорости, и должно выполняться условие непрерывности.

$$u_3 = u_2, \quad p_3 = p_2. \quad (10)$$

С учетом соотношений (6)-(10) получим:

$$\sqrt{(p_3 - p_{30})/(v_{30} - v_3)} - u_{30} = u_1 - \sqrt{(p_2 - p_1)(v_1 - v_2)}. \quad (11)$$

Преобразуем уравнение (11) для случая, когда грунтовое основание под сваями из наиболее плотных глин, как среда перед фронтом проходящей ударной волны **неподвижна** ($u_{30} = 0$).

Полагаясь на известные уравнения состояния на поверхности сваи $v_2 = v_2(p)$ и грунтового основания состоящего из плотного глинистого грунта $v_3 = v_3(p)$, получим уравнение для неизвестного давления p_1 на границе раздела сред между сваями и грунтом в момент отражения волны в виде:

$$p_2 - p_0 = \frac{\left[u_1 - \sqrt{(p_2 - p_1)(v_1 - v_2)} \right]^2}{v_{30} - v_3}. \quad (12)$$

Уравнение (12) имеет два корня, однако рассматриваем меньший корень, что соответствует случаю $u_2 > 0$. Большой корень ($u_2 < 0$) недействителен. На границе сваи и плотной глины отражения возможен предельный случай $u_2 = 0$ – отражение от неподвижной сваи. Решаем уравнение (12) методом последовательных приближений.

С целью расчетов рассмотрены следующие варианты для шельфовых грунтов влажной полутвердой глины следующими α_i :

$$\alpha_{11}^{\kappa} = 0,02; \alpha_{11}^{\kappa} = 0,04; \alpha_{11}^{\kappa} = 0,08; \alpha_{11}^{\kappa} = 0,1; \alpha_{11}^1 = \alpha_{11}^4 = 0,005;$$

$$\alpha_{11}^1 = \alpha_{11}^2 = \alpha_{11}^4 = 0,01; \alpha_{2j}^{\kappa} = 0,4 - \alpha_{1j}^{\kappa}; \alpha_{3j}^{\kappa} = 0,6 \quad (\kappa = 1, 2, 3, 4);$$

$$\alpha_{12}^{\kappa} = 0; \alpha_{12}^2 = 0,005; \alpha_{12}^3 = 0,01; \alpha_{12}^4 = \alpha_{32}^4 = 0; \alpha_{22}^4 = 1; \alpha_{22}^{\kappa} = 0,4 - \alpha_{12}^{\kappa}; \alpha_{32}^{\kappa} = 0,6 \quad (\kappa = 1, 2, 3).$$

где α_{ij}^{κ} – содержание i -го компонента грунта ($i = 1, 2, 3$) в j -й среде ($j = 1, 2$) для κ -го варианта ($\kappa = 1, 2, 3, 4$).

Результаты расчетов при $\kappa = 1$ зависимости коэффициента отражения от относительного давления p_1/p_0 в падающей волне представлены на рис. 2 соответствуют последовательному возрастанию величины α_{11}^1 (первый вариант).

Изменение всех кривых $\eta_{отр}(p_1/p_0)$ происходит таким образом, что вначале коэффициент $\eta_{отр}$ с увеличением p_1/p_0 возрастает до максимального значения $\eta_{отр, \max} = \eta_{отр, \max}(p_1/p_0)$, а при $p_1/p_0 > (p_1/p_0)_{\max}$ коэффициент непрерывно уменьшается и при $p_1/p_0 \rightarrow \infty \eta_{отр} \rightarrow 1$. С увеличением содержания в шельфовом грунте влажном состоянии замкнутого воздуха коэффициент $\eta_{отр}$ увеличивается, при этом точка максимума $\eta_{отр, \max}$ с увеличением α_{11}^1 смещается в сторону большего относительного давления в падающей волне.

Результаты расчетов по второму варианту представлены на рис. 2 б. Возрастающие номера кривых на рис. 2 б соответствуют последовательному возрастанию величины α_{11}^2 по второму варианту. Наличие замкнутого воздушного компонента в шельфовом грунте или во влажном состоянии во второй среде ($\alpha_{12}^2 = 0,005$) приводит к тому, что коэффициент $\eta_{отр}$

медленнее возрастает до своего максимального значения и более плавно убывает по сравнению со случаем отсутствия воздушного компонента в шельфовом грунте или водонасыщенном состоянии ($\alpha_{12}^1 = 0$ – первый вариант). Характер влияния величины α_{11}^2 на изменение коэффициента $\eta_{отр}$ такой же, как и в первом варианте, – с увеличением α_{11}^2 для заданной второй среды приводит к увеличению коэффициента $\eta_{отр}$ и относительного давления $(p_1/p_0)_{max}$, при котором достигается максимум коэффициента отражения $\eta_{отр, max}$. Влияние величины α_{12}^k для заданной первой среды сказывается таким образом, что с увеличением α_{12}^k уменьшается коэффициент $\eta_{отр}$ и увеличивается относительное давление $(p_1/p_0)_{max}$. Кроме того, при отражении от менее сжимаемой среды или в твердой или полутвердой глине, в отличие от случая отражения от неподвижной сваи большого сечения, кривая $\eta_{отр}(p_1/p_0)$ не имеет точки минимума.

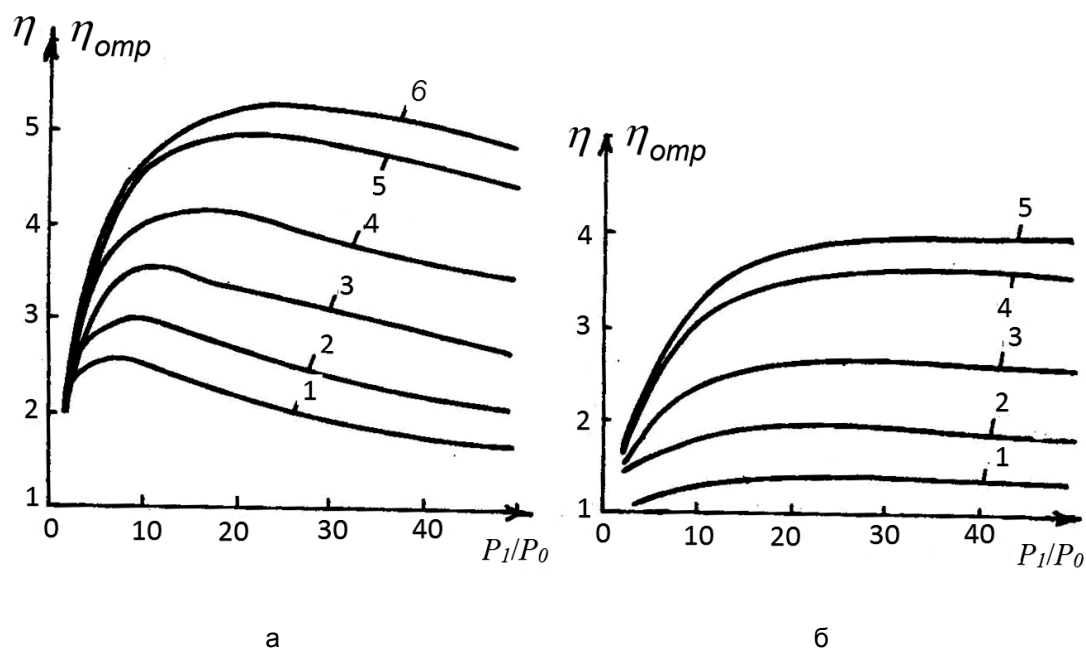


Рис. 2. Зависимость между коэффициентом отражения от менее сжимаемой среды и относительным давлением в падающей волне:

первый вариант (а) 1 – $\alpha_{12}^1 = 0$; $\alpha_{22}^1 = 0,4$; $\alpha_{11}^1 = 0,005$; 2 – $\alpha_{11}^1 = 0,01$; 3 – $\alpha_{11}^1 = 0,02$;

4 – $\alpha_{11}^1 = 0,04$; 5 – $\alpha_{11}^1 = 0,08$; 6 – $\alpha_{11}^1 = 0,1$; $\alpha_{21}^1 = 0,4 - \alpha_{11}^1$;

второй вариант (б) 1 – $\alpha_{12}^2 = 0,005$; $\alpha_{22}^2 = 0,4 - \alpha_{12}^2$; $\alpha_{11}^2 = 0,01$; 2 – $\alpha_{11}^2 = 0,02$;

3 – $\alpha_{11}^2 = 0,04$; 4 – $\alpha_{11}^2 = 0,08$; 5 – $\alpha_{11}^2 = 0,1$; $\alpha_{21}^2 = 0,4 - \alpha_{11}^2$

Следует отметить, что отражения волны в третьем варианте в воде происходит в виде ударной волны при $p_1/p_0 < (p_1/p_0)_{вода}$, так как вода практически несжимаемая, а при $p_1/p_0 > (p_1/p_0)_{вода}$ – **волна разрежения**. Значения коэффициента $\eta_{отр}$ по все трем вариантам для относительных давлений $p_1/p_0 \geq 50$, представлены в табл. 2.

В шельфовых грунтах скорость распространения упругих волн имеют разные значения. Например, для суглинок – $\gamma = 17 \div 18$ кН/м³, $v_i = 150 \div 300$ м/с; ненасыщенная водой глина – $\gamma = 18,2$ кН/м³, $v_i = 1600 \div 1700$ м/с; водонасыщенная глина – $\gamma = 20 \div 23$ кН/м³, $v_i = 1700 \div 2500$ м/с; влажные пески – $\gamma = 15 \div 15,2$ кН/м³, $v_i = 350 \div 400$ м/с; водонасыщенные пески – $\gamma = 16 \div 17$ кН/м³, $v_i = 550 \div 650$ м/с.

Численные значения $\eta_{отр}$ при $\rho_1/\rho_0 \geq 50$

ρ_1/ρ_0	Вариант	Коэффициент $\eta_{отр}$ при α_{11}^K				
		0,01	0,02	0,04	0,08	0,10
5·10	1	2,130	2,706	3,496	4,560	4,974
	2	1,338	1,844	2,564	3,561	1,955
	3	–	1,418	2,048	2,950	3,314
	4	–	1,737	2,253	2,950	3,223
5·10 ²	1	1,748	2,189	2,833	3,772	4,163
	2	1,265	1,674	2,280	3,176	3,550
	3	–	1,360	1,913	2,477	3,099
	4	–	–	–	–	–
5·10 ³	1	1,143	1,264	1,475	1,834	2,000
	2	1,067	1,186	1,393	1,746	1,908
	3	–	1,177	1,319	1,665	1,824
	4	1	1	1	–	–
5·10 ⁴	1	1,034	1,067	1,131	1,256	1,318
	2	1,017	1,049	1,113	1,237	1,298
	3	–	1,032	1,095	1,218	1,279
	4	1	1	1	1	1
5·10 ⁵	1	–	1,032	1,063	1,126	1,158
	2	1,008	1,024	1,055	1,117	1,149
	3	–	1,016	1,047	1,109	1,140
	4	1	1	1	1	1

Отражение волны от сжимаемого шельфового грунта.

Если подстилающий слой из слабого грунта под наиболее прочным основанием (состоящим из песка средней крупности и средней плотности или из твердой или полутвердой глины) малой толщины (например, до 1,5 м) является более сжимаемой средой, тогда падающая ударная волна проходит этот прочный грунт и распространяется в слабом подстилающем слое. В результате отражения волны от границы сред по I-му прочному основанию будет распространяться волна разрежения с параметрами p_2 , u_2 , v_2 , а второй – проходящая ударная волна с параметрами p_3 , u_3 , v_3 , D_3 . Скорость u_2 в волне разрежения записывается в виде:

$$u_2 = u_1 - \int_{p_1}^{p_2} C(\rho) d\rho/\rho, \quad (13)$$

где p_1 , u_1 – параметры в падающей на границу волны от i -го слоя прочного грунта основания или твердой или полутвердой глины в наших условиях на II-й подстилающий слабый грунт (в наших условиях на супесь или суглинок); $C(\rho)$ – скорость звука в I-м слое или I-й среде.

Скорость распространения звука C_i в горных породах с удельным весом $\gamma = 24 \div 44$ кН/м³ $C(\rho) = 3000 \div 7000$ м/с; для $\gamma = 23,5$ кН/м³, $C(\rho) = 1000$ м/с; для $\gamma = 18$ кН/м³, $C(\rho) = 650$ м/с; $C(\rho) = C_i$ – скорость звука породы или составляющих компонентов.

На фронте проходящей ударной волны выполняются следующие соотношения:

$$u_3 = \sqrt{(p_3 - p_{30})(v_{30} - v_3)} - u_{30}; \quad (14)$$

$$D_3 = v_{30} \sqrt{(p_3 - p_{30})/(v_{30} - v_3)} - u_{30}, \quad (15)$$

где p_{30} , u_{30} , v_{30} – параметры по подстилающим грунтам или во второй среде перед фронтом ударной волны.

На границе раздела сред скорость u_2 и давление p_2 непрерывны, т.е.

$$u_2 = u_3, \quad p_2 = p_3. \quad (16)$$

С учетом условий непрерывности (16) из соотношений (13)-(15) следует:

$$\sqrt{(p_2 - p_{30})} [v_{30} - v_3(p_2)] - u_{30} = u_1 - \int_{p_1}^{p_2} C(\rho) \frac{d\rho}{\rho}. \quad (17)$$

Рассмотрим, как частный случай, когда подстилающий слой или II-я среда перед фронтом ударной волны, которые сваи большого сечения передают к I-му прочному грунтовому основанию и через I-й слой слабого грунта, однако от ударной волны этот слабый II-й слой неподвижен, т.е. $u_{30} = 0$. Полагаясь известными уравнениями состояния I-го слоя $v_1(p)$ и II-го слоя $v_3(p)$, тогда получаем уравнение для определения давления p_2 в виде:

$$p_2 - p_{30} = \frac{\left[u_1 - \int_{p_1}^{p_2} C(\rho) \frac{d\rho}{\rho} \right]^2}{v_{30} - v_3(p_2)}. \quad (18)$$

При решении уравнения (18) методом последовательных приближений выбираем меньшее значение корня, при котором в волне разрежения происходит увеличение скорости $u_2 > u_1$, второй большой корень отбрасывается как нефизический. Можно рассматривать следующие варианты:

$$\alpha_{11}^1 = 0; \alpha_{11}^2 = 0,01; \alpha_{11}^3 = 0,02; \alpha_{21}^\kappa = 0,4 - \alpha_{11}^\kappa; \alpha_{31}^\kappa = 0,6 \quad (\kappa = 1, 2, 3);$$

$$\alpha_{11}^4 = \alpha_{31}^4 = 0; \alpha_{21}^4 = 1; \alpha_{12}^1 = \alpha_{12}^4 = 0,02; 0,4; 0,08; 0,1;$$

$$\alpha_{12}^1 = 0,05; \alpha_{12}^2 = 0,02; \alpha_{12}^\kappa = 0,05 \quad (\kappa = 2, 3, 4); \alpha_{12}^2 = 0,04; \alpha_{12}^3 = 0,08;$$

$$\alpha_{22}^\kappa = 0,4 - \alpha_{12}^\kappa; \alpha_{32}^\kappa = 0,06 \quad (\kappa = 1, 2, 3, 4).$$

Зависимости коэффициента отражения $\eta_{отр}$ ($\eta_{отр} = (p_2 - p_0) / (p_1 - p_0)$) от относительного давления p_1/p_0 в падающей волне, полученные для I-го варианта представлены на рис. 3 а.

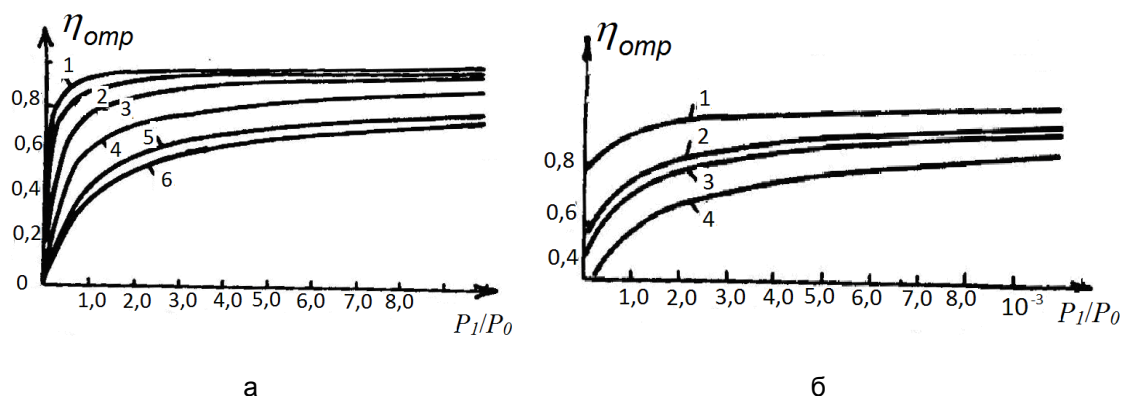


Рис. 3. Зависимость коэффициента отражения от более сжимаемой среды от относительного давления в падающей волне: а – $k = 1$; б – $k = 2$

Возрастание номера кривой соответствует последовательным возрастающим значениям α_{12}^1 по варианту I. Здесь наблюдается ситуация, противоположная той, которая была при от-

ражении от 1-й менее сжимаемой среды, т.е. от прочного 1-го слоя грунтового основания: чем больше содержание замкнутого воздушного компонента во 2-й среде (слабого подстилающего слоя) α_{12}^k , тем меньше коэффициент η_{omp} отражения. Для всех кривых $\eta_{omp}(p_1/p_0)$ характерно вначале быстрое возрастание, затем интенсивность возрастания сильно уменьшается и в пределе $p_1/p_0 \rightarrow \infty$ все кривые стремятся к значению $\eta_{omp} \rightarrow 1$.

Результаты расчетов в виде графических зависимостей коэффициент отражения η_{omp} от относительного давления **в падающей волне** p_1/p_0 , полученные для второго варианта, представлены на рис. 3 б.

Возрастание номеров кривых на этом рисунке соответствует последовательным возрастающим значениям α_{12}^k по второму варианту. Из графиков рис. 3 б и анализа аналогично полученных расчетных данных Гельфанда Б.Б., Губина С.А., Тимофеева Е.И., Ляхова Г.М. можно увидеть, что с увеличением содержания воздушного замкнутого компонента α_{12}^k во II-й среду (подстилающего слабого грунта под прочным грунтовым основанием) коэффициент η_{omp} уменьшается. Коэффициент $\eta_{omp} = 1$ при давлениях $(p_1/p_0) < (p_1/p_0)_{\text{вода}}$ в среде воды.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Определены необходимые параметры отражения морских волн на поверхности буронабивных свай большого сечения в наиболее плотном, слабосжимаемом грунтовом основании и морской воде.

2. Приведены численные значения коэффициентов отражения при различных значениях трехкомпонентных шельфовых грунтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд Б.Б., Губин С.А., Тимофеев Е.И. Отражение плоских ударных волн от твердой стенки в системе пузырьки газа – жидкость // Известия АН СССР. 1978. № 2. С. 174-178.

2. Ляхов Г.М., Полякова Н.И. Волны в плотных средах и нагрузки на сооружения. М.: Недра, 1967. 232 с.

3. Ильичев В.А. Динамическое взаимодействие сооружений с основанием и передача колебаний через грунт: справочник проектировщика. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. М.: Стройиздат, 1981. С. 144-148.

4. Асланов Л.Ф. Комбиниран реологическим модел за описание на линейно еластично напрегнато състояние на шельфа (на болгарском яз.) // Архитектура, строительство – съвременност: сб. с доклади II Шеста Международна научна конференция. 30 май - 1 юни 2011 г. Гр. Варна, България. С. 159-167.

5. Асланов Л.Ф. Расчет понтона и всплытия опорного блока при различных глубинах моря для освоения нефтегазовых месторождений // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Геленджик, 2010. С. 67-72

6. Асланов Л.Ф. Процесс возникновения двумерных волн и их влияние на свайные фундаменты при строительстве морских сооружений // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. № 3 (72). С. 163-167.

Асланов Лятиф Фирудин оглы – кандидат технических наук, доцент Азербайджанского архитектурно-строительного университета, г. Баку

Lyatif F. Aslanov – candidate of technical Sciences, Associate Professor, Azerbaijan University of architecture and construction, Baku

t

Статья поступила в редакцию 15.03.16, принята к опубликованию 10.06.16

Г.М. Проскуряков, В.С. Полосухин

**БЕСПЛАТФОРМЕННАЯ СИСТЕМА ОРИЕНТАЦИИ
ВРАЩАЮЩИХСЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ
(векторный способ автономной ориентации)**

Для вращающихся подвижных объектов (вращающихся наземных и подземных, подводных и надводных, воздушных и комбинированных, баллистических и космических аппаратов) разработан векторный способ решения задачи автономной ориентации на основе обработки магнито-инерциальной информации, получаемой от трехосных блоков векторных датчиков (акселерометров, магнитометров, гироскопов). Приведены алгоритмы обработки комплексной информации для векторного способа, а также даны оценки условий их практической реализации в бесплатформенной геофизической системе ориентации.

Вращающийся подвижный объект, бесплатформенная система ориентации, трехосные блоки акселерометров, магнитометров, гироскопов, алгоритм, матрица, векторы магнитного поля Земли, кажущегося ускорения и угловой скорости вращения объекта, гармонические функции

G.M. Proskuryakov, V.S. Polosukhin

**STRAPDOWN ATTITUDE CONTROL SYSTEM ROTATING
MOVING OBJECTS
(vector method of autonomous orientation)**

For rotating moving objects (rotating surface and underground, underwater and overwater, air and combined, ballistic and space vehicles developed a vector method for solving the problem of autonomous orientation, based on processing magneto-inertial information, received from the three-axle unit of vector sensors (accelerometers, magnetometers, gyroscopes). Algorithms for processing of complex information for the vector method, and are evaluating the conditions of their implementation in the strapdown geophysical system orientation.

Rotating a moving object strapdown orientation system, three-axle units of accelerometers, magnetometers, gyroscopes, algorithm, the matrix, the vectors of the magnetic field of the Earth, of the apparent acceleration and angular velocity of the rotation, harmonic functions

Многим подвижным объектам (наземным и подземным, подводным и надводным, воздушным и комбинированным, баллистическим и космическим) для упрощения решения задач ориентации, стабилизации и управления в пространстве придается принудительное вращение вокруг продольной оси X с угловой скоростью ω_0 . Для построения на борту таких вращающихся подвижных объектов (ВПО) базовых отсчетных систем координат на практике находят применение гироскопические (ГСО), бесплатформенные инерциальные (БИСО) и бесплатформенные геофизические (БГСО) системы ориентации [1-10]. В последнее время предпочтение отдают БГСО, как более перспективным системам, обладающим меньшими массо-габаритными параметрами, более высокими показателями точности и надежности, гибкости и самопроверяемости, живучести и отказоустойчивости. В работах [16-18] прове-

ден сравнительный анализ схем построения современных БГСО, а также предложены более совершенные алгоритмы обработки комплексной информации, разработанные на основе хронометрического (АХ) и гармонического (АГ) способов автономной ориентации ВПО.

Обе группы алгоритмов АХ и АГ предполагают получение от трехосных блоков магнитометров (ТБМ), акселерометров (ТБА) и гироскопов (ТБГ) комплексной (магнитно-инерциальной) информации и обработки ее в микроконтроллере измерительно-вычислительной системы. В работах [16, 18] дано обоснование формирования и работоспособности алгоритмов (АХ) и (АГ), а также приведены оценки их практической реализуемости.

Вместе с тем более глубокий анализ хронометрического и гармонического способов решения задачи автономной ориентации ВПО показывает, что этим способам присущи следующие недостатки:

1. Алгоритмы АХ и АГ предусматривают решение задачи ориентации ВПО в виде последовательности операций:

- сначала выполняется операция креноуказания (определения текущего угла крена γ хронометрическим или гармоническим способом),
- а затем с учетом найденного текущего угла крена γ выполняется операция определения углов ориентации траектории полета (Ψ , Θ).

Такая технологическая последовательность выполнения измерительно-вычислительных операций не способствует повышению показателей точности и быстродействия системы ориентации.

2. Реализация алгоритмов АХ и АГ предполагает обязательное выполнение операций, связанных с определением моментов достижения сигналами поперечных датчиков нулевых или экстремальных значений (амплитуд выходных сигналов). Эта операция вносит дополнительные погрешности в обработку информации и задержку по времени ее обработки.

3. Алгоритмы АХ и АГ, построенные на основе использования хронометрического и гармонического способов автономной ориентации ВПО, не обладают в должной степени свойством функциональной избыточности информации.

От указанных недостатков, присущих хронометрическим и гармоническим способам решения задачи ориентации ВПО, свободен **векторный способ**, основанный на преобразовании уравнений связей между базовыми векторами, заданными в различных системах координат.

Показания блоков ТБМ, ТБА, ТБГ могут быть описаны с помощью уравнений Пуассона, кинематических уравнений Эйлера и геометрических уравнений преобразований координат, которые можно привести к векторно-матричной форме [10, 16]:

$$\mathbf{T}_m = [T_X \quad T_Y \quad T_Z]^T = B_m \cdot M \cdot [(S + E) \cdot A \cdot \mathbf{T}_{МПЗ} + \mathbf{T}_{МПЗ}^{\Pi}], \quad (1)$$

$$\boldsymbol{\omega}_m = [\omega_X \quad \omega_Y \quad \omega_Z]^T = B_r \cdot M \cdot [A \cdot \boldsymbol{\omega}_s + \boldsymbol{\omega}_0], \quad (2)$$

$$\mathbf{a}_m = [a_X \quad a_Y \quad a_Z]^T = B_a \cdot M \cdot [A \cdot \mathbf{a}_s + \boldsymbol{\omega}_0^2 \cdot \mathbf{r}_a]. \quad (3)$$

Причем матрица ориентации ВПО A равна произведению матриц [16]:

$$A = A_\gamma \cdot A_\Theta \cdot A_\Psi = [a_{ij}]_3^3. \quad (4)$$

Обозначения, использованные в уравнениях (1)-(4), и их физический смысл раскрыты в источнике [16]. С учетом предварительно проводимых калибровок векторных датчиков и алгоритмической идентификации внешних факторов показания блоков ($\mathbf{T}_m, \boldsymbol{\omega}_m, \mathbf{a}_m$), зафикси-

рованные в связанном трехграннике $m=XYZ$, приведем к немагнитному ортонормированному \mathbf{a}_m основанию с резалевой системой координат:

$$\begin{aligned}\tilde{\mathbf{T}}_m &= (S + E)^{-1} \cdot [M^{-1} \cdot B_M^{-1} \cdot \mathbf{T} - \mathbf{T}_{\text{МПО}}^{\text{П}}], \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}}_m &= M^{-1} \cdot B_M^{-1} \cdot (\boldsymbol{\omega}_m - \boldsymbol{\omega}_0), \\ \tilde{\mathbf{a}}_m &= M^{-1} \cdot B_a^{-1} \cdot (\mathbf{a}_m - \omega_0^2 \cdot \mathbf{r}_a).\end{aligned}\tag{5}$$

Векторы $\mathbf{T}_{\text{МПЗ}}$, \mathbf{a}_s , $\boldsymbol{\omega}_s$ заданы в неподвижном трехграннике $s = NHE$:

$$\begin{aligned}\mathbf{T}_{\text{МПЗ}} &= [T_N \quad T_H \quad T_E]^T, \\ \mathbf{a}_s &= [\mathbf{a}_N \quad \mathbf{a}_H \quad \mathbf{a}_E]^T = \mathbf{a}_{cs} + \mathbf{a}_{es} - \mathbf{g}_s, \\ \boldsymbol{\omega}_s &= [\omega_N \quad \omega_H \quad \omega_E]^T = A_{\Psi}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \dot{\Psi} \\ \dot{\Theta} \end{bmatrix} + \Omega \cdot \begin{bmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ 0 \end{bmatrix},\end{aligned}\tag{6}$$

где \mathbf{a}_{es} – вектор переносного ускорения ВПО, обусловленного траекторным движением объекта; \mathbf{a}_{cs} – вектор ускорения Кориолиса, отнесенный к географическому трехграннику $S = NHE$; \mathbf{g}_s – вектор напряженности поля тяжести Земли, заданный в географическом трехграннике S ; A_{Ψ}^{-1} – матрица, обратная матрице курса A_{Ψ} ; φ – географическая широта точки текущего местоположения ВПО; $\dot{\Psi}, \dot{\Theta}$ – угловые скорости искривления траектории ВПО в горизонтальной и вертикальной плоскостях; Ω – угловая скорость вращения Земли вокруг оси Мира; $\Omega = 15,0402$ град/ч; $T_N; T_H; T_E$ – проекции векторов $\bar{T}_{\text{МПЗ}}, \bar{a}_s, \bar{\omega}_s$ на оси географического $a_N; a_H; a_E$ трехгранника (N – географический север, H – вертикаль, E – $\omega_N; \omega_H; \omega_E$ направление на восток).

Причем,

$$\mathbf{a}_{es} = \begin{bmatrix} (\dot{v} \cos \vartheta - v \cdot \dot{\vartheta} \sin \vartheta) \cdot \cos \psi + \dot{\psi} \cdot v \cdot \sin \psi - g_N \\ \dot{\vartheta} \sin \vartheta + v \cdot \dot{\vartheta} \cos \vartheta - g_H \\ (\dot{v} \cos \vartheta - v \cdot \dot{\vartheta} \sin \vartheta) \cdot \sin \psi - v \cdot \dot{\psi} \cdot \cos \psi \end{bmatrix},\tag{7}$$

$$\mathbf{a}_{cs} = 2 \cdot \Omega \cdot v \cdot \begin{bmatrix} \cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \varphi \\ -\cos \vartheta \cdot \sin \psi \cdot \sin \varphi \\ \sin \vartheta \cdot \cos \varphi - \cos \vartheta \cdot \cos \psi \cdot \sin \varphi \end{bmatrix},\tag{8}$$

где v – скорость полета ВПО.

Проекции T_N, T_H, T_E, g_N, g_H могут быть вычислены для нормального геомагнитного поля (МПЗ-Н) и поля тяжести Земли (ПТЗ-Н) по математическим моделям IGRF (например, WMM-2015, сайт в сети INTERNET <http://www.ngdc.nova.gov>) и ПЗ-90 или WGS -84 [13]:

$$T_N^H = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n [g_n^m \cdot \cos m\lambda + h_n^m \cdot \sin m\lambda] \cdot \frac{dP_n^m(\sin \varphi)}{d\varphi},$$

$$T_H^H = \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n \left[g_n^m \cdot \sin m\lambda - h_n^m \cdot \cos m\lambda \right] \cdot P_n^m(\sin \varphi), \quad (9)$$

$$T_E^H = - \sum_{n=1}^{\infty} (n+1) \left(\frac{R}{r}\right)^{n+2} \sum_{m=0}^n \left[g_n^m \cdot \cos m\lambda + h_n^m \cdot \sin m\lambda \right] \cdot \frac{P_n^m(\sin \varphi)}{\cos \varphi},$$

$$g_N = \Omega^2 \sin \varphi \left[H + R \cos \varphi \left(1 - \left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \right],$$

$$g_H = \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot g - \Omega^2 \cos \varphi \left[H + R \left(1 - \left(\frac{R}{r}\right)^2 \right) \right], \quad (10)$$

$$g_E \approx 0,$$

где R – средний радиус Земли, $R = 6378,111$ км; r – радиус точки местоположения блоков ТБМ и ТБА, относительно центра Земли, $r = R + H$; φ, λ – сферические координаты точки (географическая широта и долгота); H – высота (глубина) расположения точки; $P_n^m(\sin \varphi)$ – присоединенные функции Лежандра n -й степени порядка m ; g_n^m, h_n^m – коэффициенты гармонического сферического ряда разложения (коэффициенты Гаусса – Шмидта); g – нормированная сила тяжести в точке местоположения ТБА.

На поверхности земного трехосного эллипсоида

$$g = 9,78045 \cdot \left[1 + 0,0053033 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi + 0,0000167 \cdot \cos^2 \varphi \cdot \cos 2(\lambda - 15^\circ) \right], \quad (11)$$

на поверхности сфероида

$$g = 9,78045 \cdot \left[1 + 0,0053033 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi \right], \quad (12)$$

а на поверхности земной сферы

$$g = 9,78045 \cdot \left[1 + 0,0053033 \sin^2 \varphi \right]. \quad (13)$$

Параметры МПЗ-Н и ПТЗ-Н подлежат периодической паспортизации, они уточняются на каждый пятилетний период (эпоху), а иногда и чаще.

С учетом приведения показаний блоков в соответствии с выражениями (4) уравнения (1)-(3) можно привести к системе укороченных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\mathbf{T}} &= A \cdot \mathbf{T}_{\text{МПЗ}} \\ \tilde{\boldsymbol{\omega}} &= A \cdot \boldsymbol{\omega}_S \\ \tilde{\mathbf{a}} &= A \cdot \mathbf{a}_S \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

С учетом упрощения (для чисел Маха $M \leq 2 \bar{a}_{cs} \approx 0$) выражения (6)-(8) можно привести к укороченным формам. При этом производные по времени t могут быть вычислены на каждом дискретном интервале Δt по формулам:

$$\begin{aligned}\dot{v} &\approx \frac{\Delta v}{\Delta t}, \\ \dot{\psi} &\approx \frac{\Delta \psi}{\Delta t} = \frac{\Delta \sin \psi}{\Delta t \cdot \cos \psi} = -\frac{\Delta \cos \psi}{\Delta t \cdot \sin \psi}, \\ \dot{\vartheta} &\approx \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t} = \frac{\Delta \sin \vartheta}{\Delta t \cdot \cos \vartheta} = -\frac{\Delta \cos \vartheta}{\Delta t \cdot \sin \vartheta}.\end{aligned}\quad (15)$$

Если полет ВПО происходит в режиме стабилизации по баллистической траектории, формируемой в соответствии с принципами терминального управления (с учетом задания начальных условий пуска объекта ψ_0, ϑ_0, v_0), то скорость полета ПО v и угол тангажа ϑ в любой точке траектории по истечении времени t после старта могут быть вычислены по формулам:

$$\begin{aligned}v &= \left[v_0^2 - 2v_0 g t \sin \vartheta_0 + (g t)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \\ \sin \vartheta &= \frac{v_0 \sin \vartheta_0 - g t}{v}; \quad \cos \vartheta = \frac{v_0 \sin \vartheta_0}{v}.\end{aligned}\quad (16)$$

Если же рассматривается режим управления ВПО, то предполагается, что его скорость v измеряется датчиком скорости, а угол тангажа ϑ определяется с помощью БГСО.

Векторный способ решения задачи ориентации ВПО основан на преобразовании системы векторно-матричных уравнений (14). Принимая во внимание матричные соотношения (4) для матрицы ориентации A , исходную систему уравнений (14) можно решить в общем (аналитическом) виде относительно неизвестных направляющих косинусов a_{ij} ($i, j = \overline{1,3}$):

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \end{bmatrix}^T &= N^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{T}_x & \tilde{a}_x & \tilde{\omega}_x \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \end{bmatrix}^T &= N^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{T}_y & \tilde{a}_y & \tilde{\omega}_y \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^T &= N^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \tilde{T}_z & \tilde{a}_z & \tilde{\omega}_z \end{bmatrix}\end{aligned}\quad (17)$$

где N – квадратная матрица преобразования векторов (3×3), причем

$$N = \begin{bmatrix} T_N & T_H & T_E \\ a_N & a_H & a_E \\ \omega_N & \omega_H & \omega_E \end{bmatrix}.\quad (18)$$

Для получения обратной матрицы N^{-1} матрица N должна быть невырожденной и хорошо обусловленной [10]:

$$\det N \neq 0,\quad (19)$$

$$\text{cond } N \neq \|N\| \cdot \|N^{-1}\| \rightarrow \min.\quad (20)$$

Векторный способ решения задачи ориентации ВПО (так же как и хронометрический и гармонический способы) создает условия для получения функциональной избыточности информации. Эти условия, с одной стороны, позволяют повысить показатели точности и надежности миниатюрной бесплатформенной системы ориентации, реализующей алгоритмы хронометрического (АХ), гармонического (АГ) и векторного (АВ) способов автономной ориентации ВПО, а с другой стороны, позволяют реализовать условия для организации системы встроенного самоконтроля правильности выполнения вычислительного процесса по условиям коллинеарности ортов ($\mathbf{i}_j \parallel \mathbf{i}_t; j = t$):

$$\mathbf{i}_j \cdot \mathbf{i}_t = \sum_{m=1}^3 a_{jm}^2 = 1 \quad \left(\begin{array}{l} t, j = \overline{1,3} \\ j = t \end{array} \right). \quad (21)$$

Это по условию ортогональности ортов $\mathbf{i}_j \perp \mathbf{i}_t (j \neq t)$:

$$\mathbf{i}_j \cdot \mathbf{i}_t = \sum_{m=1}^3 a_{jm} \cdot a_{tm} = 0 \quad \left(\begin{array}{l} t, j = \overline{1,3} \\ j \neq t \end{array} \right). \quad (22)$$

Это по условию связанности направляющих косинусов a_{ij} с их минорами $A_{ji} (i, j = \overline{1,3})$:

$$a_{ij} = A_{ji} \quad (i, j = \overline{1,3}). \quad (23)$$

На основе вычисленных по формулам (17)-(23) направляющих косинусов $a_{ij} (i, j = \overline{1,3})$ возможно определение текущих значений углов пространственной ориентации ВПО (ψ, ϑ, γ) без предварительного вычисления угла вращения (крена) γ объекта [14], [15], [16]:

$$\begin{aligned} \cos \vartheta_1 &= (a_{11}^2 + a_{13}^2)^{\frac{1}{2}} \\ \cos \vartheta_2 &= (a_{22}^2 + a_{32}^2)^{\frac{1}{2}} \\ \sin \vartheta_3 &= a_{12} \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{l} \text{канал} \\ \text{тангажа} \end{array} \right), \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \sin \psi_1 &= \frac{a_{13}}{\cos \vartheta_1} = \frac{a_{13}}{\cos \vartheta_2} \\ \cos \psi_2 &= \frac{a_{11}}{\cos \vartheta_1} = \frac{a_{11}}{\cos \vartheta_2} \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{l} \text{канал} \\ \text{курса} \end{array} \right), \quad (25)$$

$$\begin{aligned} \sin \gamma_1 &= -\frac{a_{32}}{\cos \vartheta_1} = -\frac{a_{32}}{\cos \vartheta_2} \\ \cos \gamma_2 &= \frac{a_{22}}{\cos \vartheta_1} = \frac{a_{22}}{\cos \vartheta_2} \end{aligned} \quad \left(\begin{array}{l} \text{канал} \\ \text{крена} \end{array} \right). \quad (26)$$

Анализ алгоритмов решения задач автономной ориентации ВПО на основе использования хронометрического, гармонического и векторного способов показывает, что эти алгоритмы (АХ, АГ, АВ) являются многомерными и нелинейными.

Все три способа ориентации ВПО базируются на общем подходе к разработке алгоритмов решения задачи автономной ориентации, заключающемся в формировании исходной информации о векторах напряженности МПЗ ($\mathbf{T}_{МПЗ}$), кажущегося ускорения (\mathbf{a}) и абсолютной угловой скорости вращения объекта ($\boldsymbol{\omega}$), компоненты которых определены как в географическом трехграннике $s = NHE$ ($\mathbf{T}_s, \mathbf{a}_s, \boldsymbol{\omega}_s$) так и в приборном связанном трехграннике $t = XYZ$ (измерения векторов $\mathbf{T}_m, \mathbf{a}_m, \boldsymbol{\omega}_m$) с последующим сопоставлением приборной информации ($\mathbf{T}_m, \mathbf{a}_m, \boldsymbol{\omega}_m; \tilde{\mathbf{T}}_m, \tilde{\mathbf{a}}_m, \tilde{\boldsymbol{\omega}}_m$) с геофизической информацией о тех же векторах, заданных в географическом трехграннике s (рис. 1).

Общая характеристика алгоритмов АГ, АХ, АВ представлена в табл.1. [16,18]. Анализ табл. 1 и рис. 1 показывает, что все алгоритмы автономной ориентации ВПО, разработанные на основе хронометрического (АХ), гармонического (АГ) и векторного (АВ) способов, используют в принципе одну и ту же исходную информацию о векторах ($\mathbf{T}_m, \mathbf{a}_m, \boldsymbol{\omega}_m, \mathbf{T}_s, \mathbf{a}_s, \boldsymbol{\omega}_s$), но предполагают разные схемы обработки этой информации.

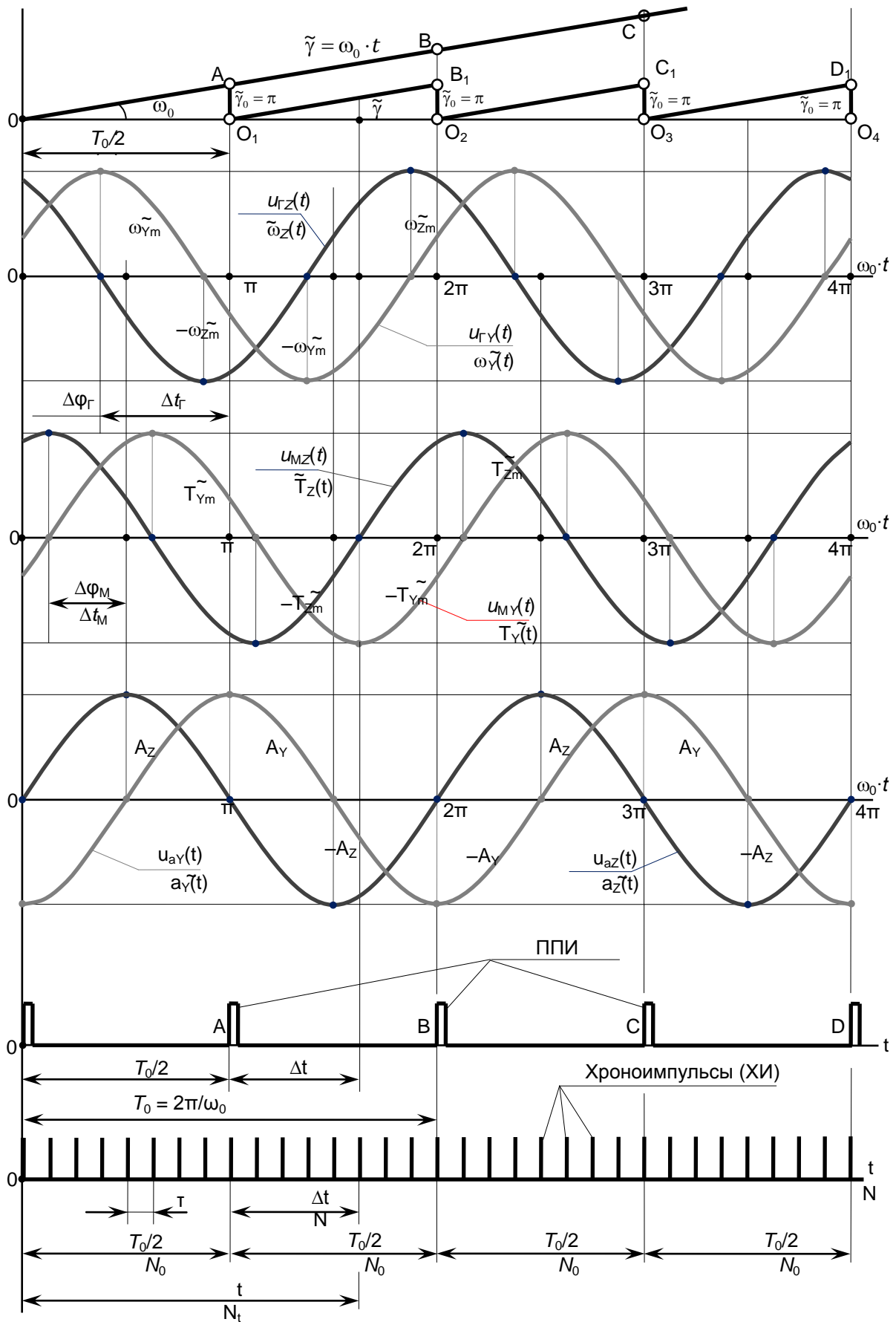


Рис. 1. Выходные и управляющие сигналы БГСО в режиме автономной работы

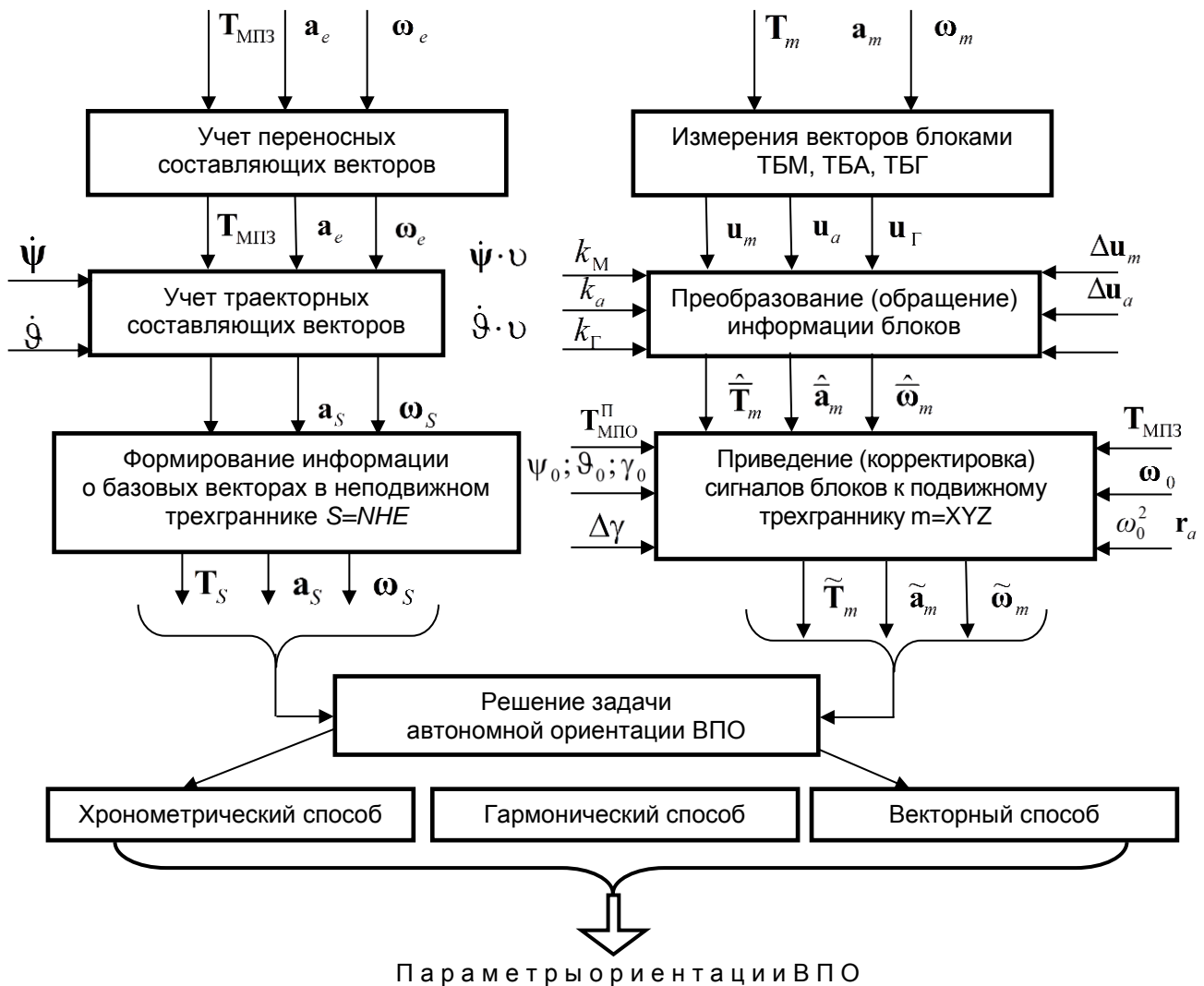


Рис. 2. Схема формирования алгоритмов автономной ориентации ВПО (АХ, АГ, АВ)

Способы и алгоритмы автономной ориентации

N п/п	Способ решения задачи автономной ориентации ВПО	Алгоритм		Сущность способа решения задачи ориентации ВПО	Особенности
		обозначения	формулы		
1	Хронометрический	В источнике [16]: (15)-(17) (21)-(26)	АХ	Используется хронометрический эффект вращения ВПО и принцип хронометрирования процесса непрерывного вращения ВПО с последующим алгоритмическим вычислением углов ориентации объекта	Сам ВПО рассматривается как хранитель времени t и частоты (ν, ω) в пределах каждого полуоборота объекта
2	Гармонический	В источнике [18]: (5)-(14) (19), (20) (27)-(34)	АГ	Используется модулирующий эффект вращения ВПО, принцип гармонической модуляции сигналов векторных датчиков и алгоритмического вычисления параметров ориентации объекта	Гармонические колебания сигналов ТБА используются как опорные для оценки параметров гармонических колебаний сигналов ТБМ и ТБГ

N п/п	Способ решения задачи автономной ориентации ВПО	Алгоритм		Сущность способа решения задачи ориентации ВПО	Особенности
		обозначения	формулы		
3	Векторный	В настоящей статье: (5) - (26)	АВ	Реализуется принцип векторного согласования отсчетных систем координат, принцип аналитического пространственного ориентирования ВПО с вычислением матрицы, углов и других параметров ориентации объекта. Может быть реализован принцип АГК в различных вариантах.	Может быть разработан широкий ряд двухвекторных и трехвекторных алгоритмов ориентации подвижного основания

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В.А. Система стабилизации и наведения линии визирования с уменьшенными габаритами и особенности ее динамики // XV юбилейная С.-Петербур. Международ. конф. по интегрированным навигационным системам. 26-28 мая 2008 г. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2008. С. 166-168.

2. Опыт разработки гироприборов для вращающихся по крену изделий / В.Н. Белобрагин, В.Д. Зайцев, В.Я. Распопов и др. // XII С.-Петербур. Международ. конф. по интегрированным навигационным системам. 23-25 мая 2005 г. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005. С. 183-194.

3. Разработка магнитометрического измерителя текущего положения / И.В. Царев, В.В. Шило, В.Б. Бортовик и др. // XII С.-Петербур. Междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. 23-25 мая 2005 г. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2005. С. 215-217.

4. Малогабаритная система ориентации / В.Я. Распопов, Д.М. Малютин, Ю.В. Иванов, Р.В. Алалуев // Датчики и системы. 2004. № 8. С. 2-5.

5. Пат. RU 2256881 С2 Российская Федерация, МПК G01C 21/16. Способ определения параметров ориентации и навигации и бесплатформенная инерциальная навигационная система для быстровращающихся объектов / заявители Ачильдиев В.М., Мезенцев А.П., Решетников В.И., Сысоев И.В., Трешкин А.И.; патентообладатель ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной механики имени академика В.И. Кузнецова». № 2003107688/28; заявл. 21.03.2003; опубл. 20.07.2005. Бюл. 20. 11 с.

6. Погорелов М.Г., Шведов А.П., Малютин Д.М. Система ориентации подвижного объекта по показаниям магнитных датчиков // Датчики и системы. 2004. № 5. С. 51-54.

7. Пат. RU 2130588 С1 Российская Федерация, МПК G01C 21/08, G01C 21/12, G01C 17/38. Способ измерения магнитного курса подвижного объекта / заявители Архипов В.А., Ветошкина Н.К., Зузлов В.Ф., Лебедев С.О., Потапов А.А., Олаев В.А.; патентообладатель ОАО «Чебоксарский приборостроительный завод "Элара"». № 98108097/28; заявл. 23.04.1998; опубл. 20.05.1999. Бюл. 16. 12 с.

8. Пат. RU 2527369 С1 Российская Федерация, МПК F42В 15/01, G01C 21/08. Способ определения угла крена вращающегося по крену летательного аппарата / заявители Шипунов А.Г., Бабичев В.И., Морозов В.И., Шигин А.В., Рабинович В.И., Долгова Т.С., Акулинин С.И., Менькин В.Б., Бальзамов И.А.; патентообладатель ОАО «Конструкторское бюро приборостроения имени ак. А.Г. Шипунова». № 2013115672/11; заявл. 09.04.2013; опубл. 27.08.2014. Бюл. № 24. 17 с.

9. Кринецкий Е.И. Системы самонаведения. М.: Машиностроение, 1970. 236 с.

10. Игнатьев А.А., Проскуряков Г.М., Васильев А.В. Алгоритмы работы миниатюрной системы ориентации вращающихся подвижных объектов // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2014. Вып. 17. Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 78-91.
11. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ "Электроприбор"», 2009. 280 с.
12. Розенцвейн В.Г. Современное состояние скважинных гироскопических навигационных систем // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике: сб. ст. и докл. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2002. С. 146-167.
13. Захарин М.И., Захарин Ф.М. Кинематика инерциальных систем навигации. М.: Машиностроение, 1968. 235 с.
14. Игнатьев А.А., Проскуряков Г.М., Маслов А.А. Миниатюрная курсовертикаль для квазистационарных объектов // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2014. Вып. 16. Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. Методические аспекты физического образования. Экономика в промышленности. С. 64-74.
15. Анучин О.Н., Емельянец Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 1999. 357 с.
16. Бесплатформенная система ориентации вращающихся подвижных объектов (хронометрический способ автономной ориентации) / А.А. Игнатьев, Г.М. Проскуряков, А.В. Васильев, А.А. Маслов // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2015. Вып. 18. Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. С. ?.
17. Игнатьев А.А., Проскуряков Г.М. Гетеромагнитометрия: алгоритмы, методики, калибровки блоков и магнитометров. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2014. 152 с.
18. Проскуряков Г.М., Игнатьев А.А., Маслов А.А. Бесплатформенная система ориентации вращающихся подвижных объектов (гармонический способ автономной ориентации) // Гетеромагнитная микроэлектроника: сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2015. Вып. 18. Гетеромагнитная микро- и наноэлектроника. С. 66.

Проскуряков Герман Михайлович –
Саратовский государственный технический
университет

German M. Proskuryakov–
Saratov State Technical University

Полосухин Владислав Сергеевич –
ОАО «Институт критических технологий»

Vladislav S. Polosukhin –
Institute of critical technologies, JSC

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

ФИЗИКА

УДК 616-006.04-06:616.155.194.8.]-079.4.-074

А.Н. Павлов, Р.А. Фейзулин

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭРИТРОЦИТЫ СТАТИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГРАДИЕНТА

Целью работы является исследование особенностей воздействия статических магнитных полей на эритроциты, а в частности на фосфолипидные головки внутреннего слоя. До настоящего времени все методы диагностики носили интегральный характер, что не обеспечивало до конца объективного результата исследований. В связи с этим данная работа посвящена экспериментальному исследованию и обоснованию экспериментальных данных воздействия статических магнитных полей на основные форменные элементы крови - эритроциты.

Липидный бислой, генерация эхиноцитов, градиент магнитного поля, собственный магнитный момент, биотехнология, фазовый резонанс

A.N. Pavlov, R.A. Feizulin

PHYSICAL FEATURES OF THE EFFECT OF STATIC MAGNETIC FIELDS ON RED BLOOD CELLS IN THE PRESENCE OF A SPATIAL GRADIENT

The purpose of the master's thesis: A study of effects of static magnetic fields on the red blood cells, namely the membrane. In experimental studies, based on the results obtained, a working hypothesis about the process of generating echinocytes under the influence of magnetic fields was formulated. Master's thesis contains the results of the experiment. These data are characterized by their relevance in the field of medicine.

The lipid bilayer, echinocytes generation, the magnetic field gradient, the intrinsic magnetic moment, biotechnology, phase response

Введение

Всякое вещество является *магнетиком*, т.е. способно под действием внешнего магнитного поля создавать собственное, внутреннее магнитное поле (приобретать собственный магнитный момент, намагничиваться). Магнитные свойства вещества определяются магнитными свойствами электронов и атомов данного вещества. По своим магнитным свойствам магнетики подразделяются на диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферриты.

Также, как и всякое вещество, живые организмы являются магнетиками.

Рассмотрим магнитные свойства микробиологических объектов. Существуют такие микробиологические объекты, размеры и внешняя конфигурация которых соответствуют доменам тонких магнитных пленок, но при воздействии на них статических магнитных полей они приобре-

тают индуцированный магнитный момент и становятся автономными источниками магнитного поля. Такими микрообъектами являются микробиологические объекты – различного рода бактерии [4]. Их основными геометрическими конфигурациями являются сфера и вытянутый эллипсоид. Более того, в силу принципа наибольшего заполнения пространства данные микрообъекты сферической конфигурации так же, как и магнитные домены, образуют гексагональную решетку. Исследования реакции бактерий на внешние магнитные поля, проводятся для создания и применения биосенсоров (биодатчиков). Биосенсоры по конструктивным особенностям и принципам работы сочетают реакции биосистем с электронными, оптическими, термочувствительными магниточувствительными преобразователями, обеспечивающими регистрацию информации с датчиков в виде специфических сигналов.

Наибольший интерес в изучении влияния внешних магнитных полей на микробиологические объекты является воздействие на форменные элементы крови – эритроциты.

В связи с поставленной задачей по экспериментальному исследованию влияния статических магнитных полей на эритроциты, необходимо более подробно рассмотреть структуру эритроцитов и эритроцитарных мембран.

Известно, что такая высокоспециализированная клетка, как эритроцит, вовлекается в патологический процесс не только при гематологических заболеваниях, но и претерпевает серьезные изменения структуры и функции при болезнях разного генеза.

Повышенный интерес исследователей к эритроцитам при патологии обусловлен участием этих клеток в процессах, связанных с поддержанием гомеостаза на уровне целого организма.

Структурные и физиологические особенности эритроцитов, а также доступность для исследования, делают их чрезвычайно удобной моделью изучения действия патологических факторов, в том числе и малой интенсивности, позволяют использовать их в качестве информативного тест-объекта при оценке состояния организма при различных патологических процессах в клинической практике и научных исследованиях [12]. В большинстве случаев динамика поведения эритроцитов определяется свойствами мембраны. При этом следует отметить, что мембраны всех существующих клеточных образований различного предназначения (как растительного, так и животного) характеризуются одинаковым строением клеточной мембраны, что определяется материальным единством окружающего мира [21].

Проведенные исследования по воздействию статического магнитного поля на эритроцитарные мембраны позволяют сделать вывод, что данный объект является магниточувствительным, и эритроцит, так же как и любой микробиологический объект, характеризуется своим магнитным профилем [21]. При этом особый интерес представляет рассмотрение физических особенностей механизма воздействия магнитного поля на эритроцитарные мембраны.

Мембрана – основа исследований

Согласно Сингеру и Никольсону, структурную основу биологической мембраны составляет двойной слой фосфолипидов, инкрустированный белками (рис. 1).

Липиды находятся при физиологических условиях в жидком агрегатном состоянии, это позволяет сравнить мембрану с фосфолипидным морем, по которому плавают белковые «айсберги». Одним из подтверждений жидкостно-мозаичной модели является и тот факт, что, как установлено химическим анализом, в разных мембранах соотношение между содержанием белков и фосфолипидов сильно колеблется: количество белков в миелиновой мембране в 2,5 раза меньше, чем липидов, а в митохондриях, напротив, белков в 2,5 раза больше, чем липидов, в то время как, согласно "бутербродной" модели, соотношение количества белков и липидов во всех мембранах должно быть одинаковым.

Жидкостно-мозаичная модель строения мембраны в настоящее время общепринята (рис. 1). Однако, как всякая модель, она дает довольно упрощенную и схематическую картину строения мембраны. В частности, обнаружено, что белковые «айсберги» не всегда сво-

бодно плавают в липидном море, а могут быть «заякорены» на внутренние (цитоплазматические) структуры клетки. К таким структурам относятся микрофиламенты и микротрубочки. Микротрубочки – полые цилиндры диаметром около 300 нм из особого белка тубулина играют важную роль цитоскелета в функционировании клетки [5].

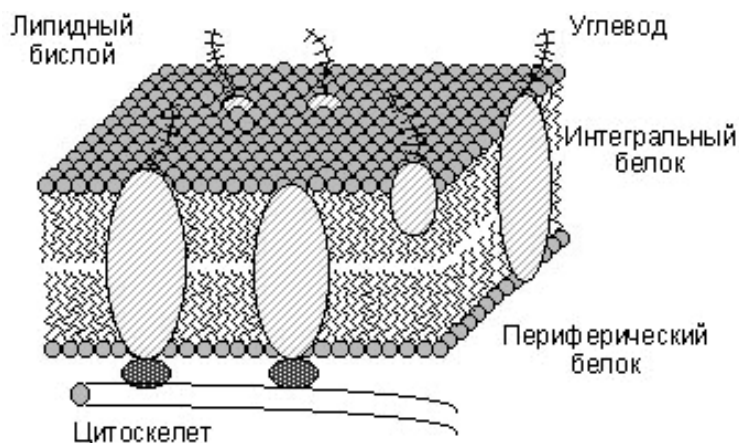


Рис. 1. Жидко-мозаичная модель биомембраны

Основные компоненты биологических мембран

Мембранные липиды

Липидные бислои образуются *амфифильными* молекулами. Амфифильными эти молекулы называют потому, что они состоят из двух частей, различных по своей растворимости в воде: полярной «головки», обладающей высоким сродством к воде, т.е. *гидрофильной*, и «хвоста», образуемого неполярными углеводородными цепями жирных кислот; эта часть молекулы обладает низким сродством к воде, т.е. *гидрофобна* (рис. 2).

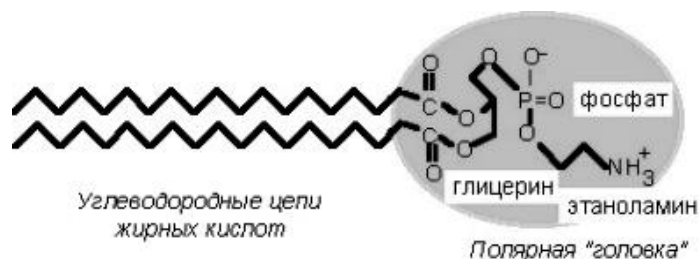


Рис. 2. Схематическое изображение строения молекулы фосфолипида

Липиды – низкомолекулярные органические вещества, которые извлекаются из клеток животных, растений и микроорганизмов неполярными растворителями, такими, как хлороформ, эфир, бензол. Долгое время считалось, что липидам принадлежит довольно скромная роль в жизнедеятельности клеток – служить формой депонирования запасов метаболического топлива, принимать участие в некоторых защитных реакциях и т.д. Но в последние годы выявилось кардинальное значение липидов как активных компонентов биологических мембран.

Основные классы липидов

Липиды принято разделять на две основные группы: *нейтральные и фосфолипиды*. Фосфолипиды в свою очередь подразделяются на 2 группы: *глицерофосфолипиды* (производные фосфатидной кислоты) и *сфингофосфолипиды* (производные церамида, сфингомиелины).

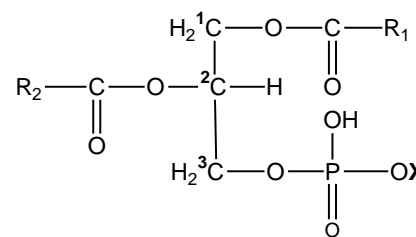
Фосфолипиды

Главными представителями фосфолипидов являются *фосфоглицериды*.

R_1 и R_2 – радикалы жирных кислот,

X – полярная головка (спиртовый остаток).

Молекула фосфоглицеридов содержит полярную головку, связанную с C^3 и два неполярных углеводородных хвоста, связанных с C^2 и C^1 . Соединения такого типа, содержащие сильно гидрофобные и сильнополярные группы называются амфипатическими. Полярные головки фосфолипидов могут нести отрицательный, либо одновременно отрицательный и положительный заряды. Последние обуславливают общий нейтральный заряд молекулы фосфолипида. Эти свойства очень важны, так как суммарный заряд мембран определяет функциональное состояние клеток и субклеточных структур.

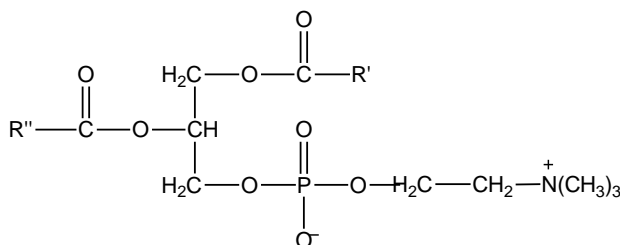
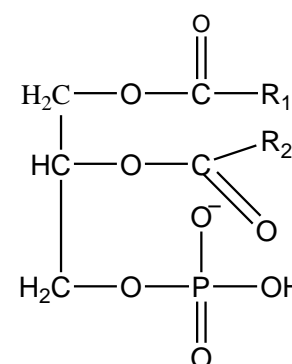


Отдельные представители фосфолипидов

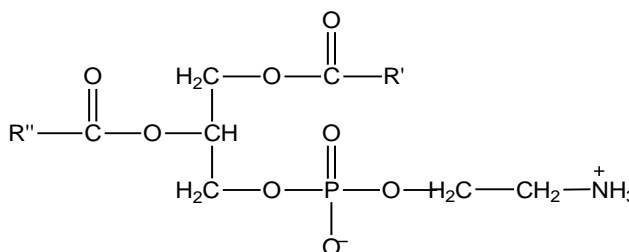
Фосфатидная кислота. В биологических мембранах фосфатидная кислота содержится в незначительных количествах и, по-видимому, особо важной роли как структурный компонент не играет, но является исходным продуктом для биосинтеза других фосфолипидов.

Фосфатидилхолин (лецитин) и фосфатидилэтаноламин (кефалин) составляют 50% клеточных фракций.

Фосфатидилхолин и фосфатидилэтаноламин метаболически связаны друг с другом и являются главными структурно-функциональными компонентами биологических мембран.



Фосфатидилхолин (лецитин)



Фосфатидилэтаноламин (кефалин)

Рассмотрим более подробно строение эритроцитарной мембраны.

Согласно современным представлениям, все клеточные и внутриклеточные мембраны устроены сходным образом: основу мембраны составляет двойной молекулярный слой липидов (липидный бислой) на котором и в толще которого находятся белки. Во всех живых клетках биологические мембраны выполняют функцию барьера, отделяющего клетку от окружающей среды, и разделяющего внутренний объем клетки на сравнительно изолированные «отсеки» (compartments). Сами по себе перегородки, разделяющие клетки на отсеки построены из двойного слоя липидных молекул (называемого часто липидным бислоем) и практически непроницаемы для ионов и полярных молекул, растворимых в воде. Но в этот липидный бислой встроены многочисленные белковые молекулы и молекулярные комплексы, одни из которых обладают свойствами селективных (т.е. избирательных) каналов для ионов и молекул, а другие насосов, способных активно перекачивать ионы через мембрану.

Как видно на рис. 3 ориентация фосфолипидных головок соответствует перпендикулярности хвоста поверхности мембраны.

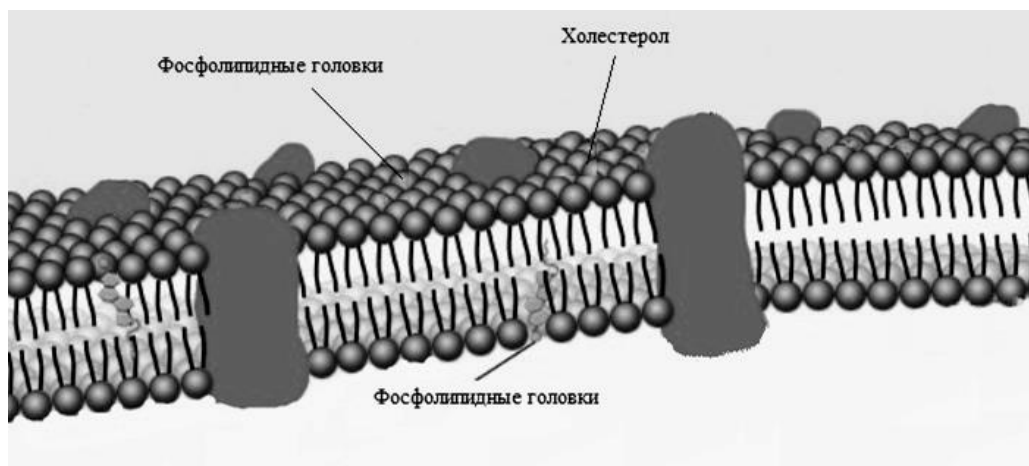


Рис. 3. Общая схема строения мембраны

В монографии Чижевского А.Л. [18] рассматривается физическая модель эритроцита. Там показано, что весь положительный заряд сосредоточен на торовидной части пропорционально положительной кривизне его поверхности (рис. 4). Более того, области с минимальной кривизной обладают меньшей упругостью и жесткостью [18].

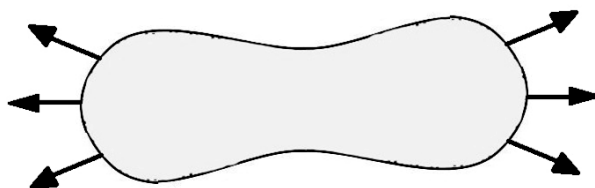


Рис. 4. Схематическое изображение локализации зарядов на торовидной поверхности эритроцита

Исходя из этих рассмотрений, можно сделать вывод о неоднозначной активности функционирования частей поверхности эритроцита (рис. 5).

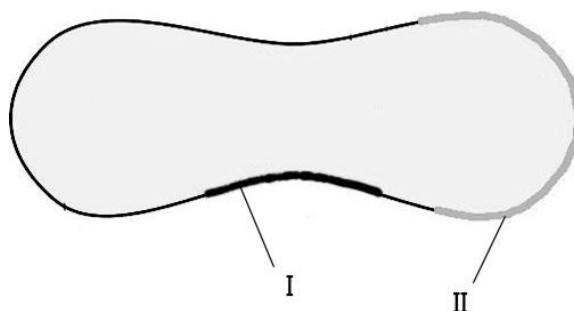


Рис. 5. Анизотропность геометрической поверхности эритроцита

Таким образом, можно выдвинуть гипотезу об анизотропии отдельных частей поверхности эритроцита (часть I и часть II) и следующим из этого неоднозначным поведением эритроцита при внешнем воздействии как на поверхность I, так и на поверхность II. Это связано с тем, что фосфолипидных головок сосредоточено больше в местах с большей кривизной. Тем самым и объясняется анизотропность поверхности эритроцита.

При рассмотрении геометрической модели мембраны следует отметить, что несмотря на ее малую толщину (не более 10 нм) отношение площадей поверхностей внутреннего и внеш-

него слоя является показателем геометрической формы эритроцита в целом и нормальному состоянию (двоковыгнутый диск) соответствует характеристическое значение этого отношения $Q_{норм.}$ ($Q_{норм.} = S_{внеш} / S_{внут}$) [8]. При этом имеются данные о генерации эхиноцитов в ре-

зультате внешнего механического воздействия и при этом данный результат коррелирует с увеличением параметра $Q_{норм.}$ за счет уменьшения площади поверхности внутреннего слоя [15]. Авторы объясняют полученный экспериментальный результат следующим образом: отдельная фосфолипидная головка внутреннего слоя, имеющая отрицательный заряд после механического «выдергивания» перемещается к положительно заряженному внешнему слою и встраивается между фосфолипидными головками внешнего слоя. После этого в данной точке происходит вырост шипа – то есть имеет место формирование эхиноцита.

Авторы отмечают, что такое незначительное «выдергивание» фосфолипидных головок на уровне 0,625% от общего количества соответствующее незначительному изменению $Q_{норм.}$ приводит к такому значимому результату, как формирование эхиноцита. Патология формирования эхиноцитов заключается в том, что области локализации шипов не участвуют в функционировании эритроцита. Таким образом, образование эхиноцитов адекватно свидетельствует о старении крови, при этом в естественных условиях пробы крови полностью заполняются эхиноцитами в течение 10-72 часов (время определяется индивидуальными особенностями каждого образца крови) [22].

Расчеты собственного магнитного момента фосфолипидной головки

Известно, что молекулы фосфолипидов способны к нескольким видам подвижности в бислое [5].

1 вид. Движение головки между внешним и внутренним слоем эритроцита (рис. 6).

2 вид. Движение по слою (внеш. или внут.) (рис. 7).

3 вид. Вращательные движения фосфолипидной головки вокруг своей оси (рис. 8).

4 вид. Колебательные (вращательные) движения хвоста фосфолипидной головки (рис. 9).

Силые взаимодействия собственного магнитного момента фосфолипидной головки и внешнего магнитного поля

Магнитный момент \vec{M} – основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества (источником магнетизма, согласно классической теории электромагнитных явлений, являются электрические макро- и микротоки; элементарным источником магнетизма считают замкнутый ток).

Для нашей задачи магнитный момент находится из соотношения

$$|\vec{M}| = \mu_0 i S [\text{Вб} \cdot \text{м}],$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{\text{Гн}}{\text{м}} \right].$$

Магнитный момент можно определить. Воспользуемся магнитостатической аналогией

Известно, что если в пространство, в котором имеется магнитное поле H внести магнитный заряд m , то на него будет дей-



Рис. 6

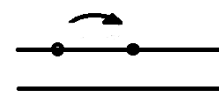


Рис. 7

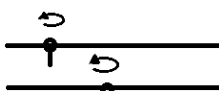


Рис. 8

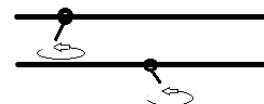


Рис. 9

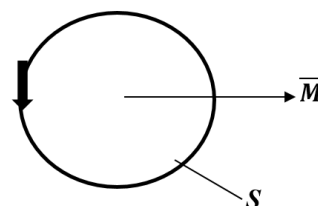


Рис. 10. Магнитный момент фосфолипидной головки

ствовать сила F :

$$F = m \cdot H \text{ [Н]}.$$

Фосфолипидную головку можно интерпретировать как магнитный диполь с зарядами $+m$ и $-m$ образующими полюса диполя и с расстоянием между полюсами l . При этом данное расстояние соответствует диаметру фосфолипидной головки, тогда

$$|\vec{M}| = m \cdot l \text{ и}$$

$$m = |\vec{M}|/l.$$

Поэтому сила, действующая на фосфолипидную головку в поле, напряженностью H будет выглядеть таким образом:

$$F = |\vec{M}| \cdot H/l.$$

Проведем расчет магнитного кругового тока, образованного вращением фосфолипидной головки вокруг оси симметрии. Известно, что заряд фосфолипидной головки внутреннего мембранного слоя равен $2e$, а вращение соответствует повороту на 1 радиан за время 10^{-14} с [10]. Тогда соответствующий круговой ток будет равен

$$J = 10^{14} \cdot 2\pi/2e;$$

$$J = 0,51 \cdot 10^{-5} \text{ А}.$$

Площадь соответствующего контура будет:

$$S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (1,6)^2 \cdot 10^{-18} = 8,1 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2.$$

Таким образом собственный магнитный момент фосфолипидной головки равен

$$|\vec{M}| = \mu_0 J S = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,51 \cdot 10^{-5} \cdot 8,1 \cdot 10^{-18} = 0,52 \cdot 10^{-28} \text{ [Вб}\cdot\text{м]}.$$

Известен экспериментальный факт генерации эхиноцитов при использовании в качестве предметного стекла тонкой зеркальной поверхности. При этом механизм воздействия на фосфолипидную головку внутреннего мембранного слоя зарядом $2e$ может быть объяснен за счет кулоновского взаимодействия с возникающим фиктивным «зеркальным» зарядом. Оценим возникшую кулоновскую силу.

Расчет будем производить при учете реальных расстояний для мазков крови

$$F_{кул} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{2e \cdot 2e}{d^2},$$

$$F_{кул} = 0,45 \cdot 10^{-22} \text{ Н}.$$

Проведем расчет смещающего действия внешнего магнитного поля H на фосфолипидную головку, обладающую собственным магнитным моментом $|\vec{M}|$. будем рассматривать случай когда $H = 1300$ Э или $H = 104 \cdot 10^3$ А/м. При этом градиент поля в зоне воздействия составил $0,93 \cdot 10^6$ А/м²

$$\text{Тогда } F_{кул} = |\vec{M}| \frac{\partial H}{\partial x} = 0,48 \cdot 10^{-22} \text{ Н}.$$

Сравнение полученных расчетных величин ($0,45 \cdot 10^{-22}$ Н – достаточная сила чтобы образовался эхиноцит, $0,48 \cdot 10^{-22}$ Н – сила внешнего магнитного поля) подтверждает гипотезу о

силовом воздействии магнитного поля на фосфолипидные головки внутреннего мембранного слоя.

Фазовый резонанс и гипотеза нарушения структуры внутреннего мембранного слоя под действием магнитного поля

Если угол между магнитным моментом фосфолипидной головки $|\vec{M}|$ и вектором напряженности внешнего магнитного поля \vec{H} будет отличен от нуля, то в силу интерпретации фосфолипидной головки магнитным диполем, возникнут две силы, которые действуют так, как показано на рисунке, образуют момент пары сил:

$$\alpha = -m l H \sin \theta.$$

Поворот заканчивается ориентацией магнитного момента фосфолипидной головки вдоль направления поля и далее начинает действовать следующая сила F :

$$F_x = ml \frac{\partial H}{\partial x}.$$

Сомножитель $\frac{\partial H}{\partial x}$ характеризует изменение магнитного поля вдоль оси x .

Рассмотрим совокупное воздействие колебательного движения белкового цитоскелета и смещающего действия магнитного поля вдоль направления колебательного движения белкового цитоскелета (рис. 11).

Так как белковая ветвь цитоскелета прикреплена к внутреннему слою мембраны, то имеет место кинематическая связь фосфолипидной головки внутреннего слоя мембраны и ветви цитоскелета. Поэтому при совпадении направления тягового усилия цитоскелета и смещающего действия внешнего магнитного поля на фосфолипидную головку (совпадение фаз двух воздействующих факторов) возникают наиболее благоприятные условия для выбивания фосфолипидной головки из мембранной стенки (рис. 12).

Генерация эхиноцитов как следствие разрушения внутреннего мембранного слоя под действием внешнего магнитного поля

Из учебного пособия по биотехнологии [23] известно, что [23] кинетические кривые роста микроорганизмов в закрытых системах характеризуются типичными фазами развития (рис. 13).

1 – Индукционный период (лаг – фаза); в этот период не происходит заметного роста числа клеток, происходит перестраивание клеточного метаболизма.

2 – Фаза экспоненциального роста, в течение которой происходит накапливание продуктов различных реакций, характеризуется непродолжительным периодом.

3 – Фаза линейного роста, характеризуется равномерным увеличением числа клеток.

4 – Фаза замедления роста количества клеток до нуля, характеризуется непродолжительным периодом.

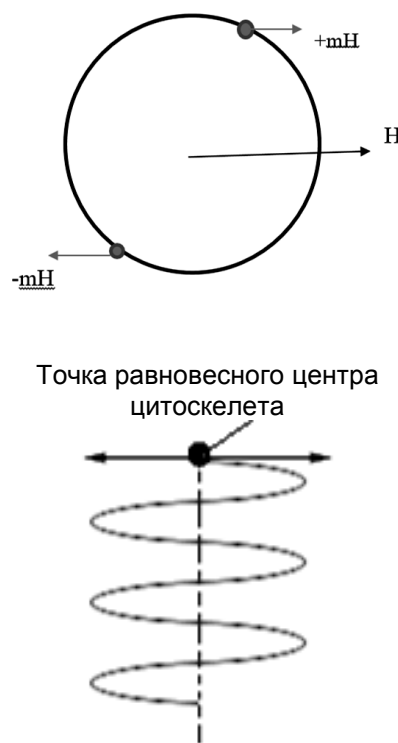


Рис. 11. Колебания цитоскелета

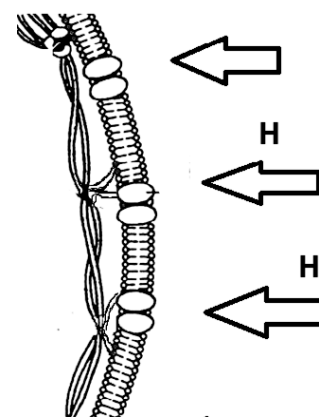


Рис. 12. Мембрана эритроцита и её нитевидный цитоскелет при наличии внешнего магнитного поля

5 – Стационарная фаза, характеризуется постоянством общего количества клеток и высокими скоростями отмирания клеток.

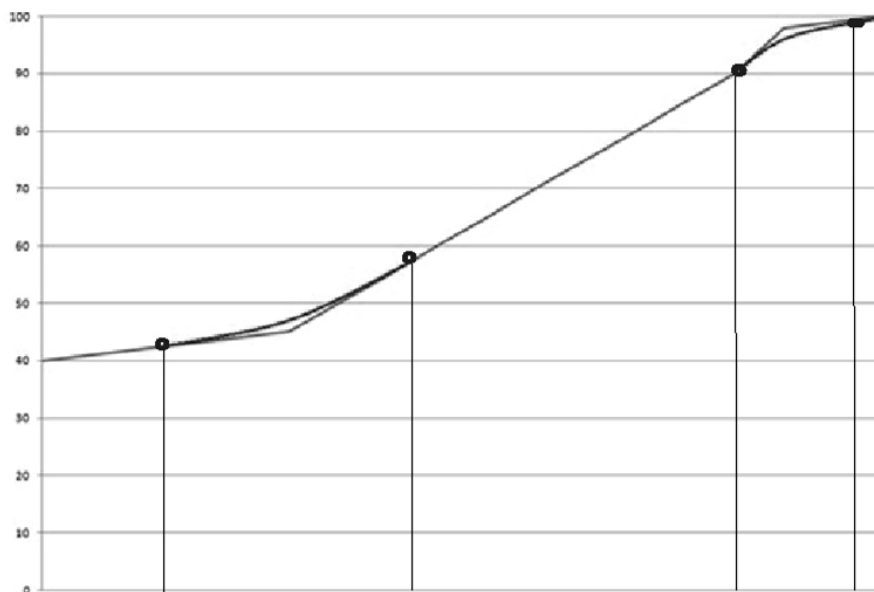


Рис. 13. Кинетические кривые роста

Учитывая непродолжительность фаз № 2 и 4, данную кривую можно аппроксимировать следующим образом (рис. 14), а уже этот график соответствует функции, заданной с помощью предела [24].

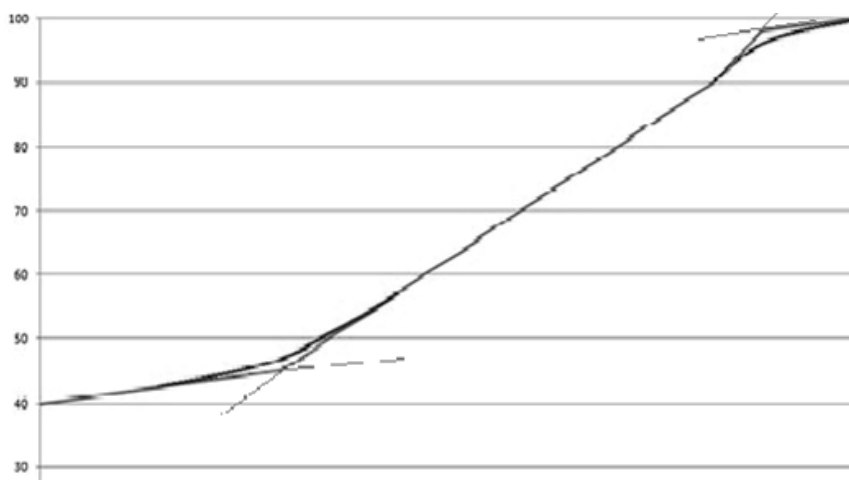


Рис. 14. Аппроксимация кинетической кривой роста

Итоги экспериментальных исследований по генерации эхиноцитов в результате воздействия внешнего магнитного поля.

В процессе исследований был произведен анализ результатов по 20 пациентам-добровольцам, наиболее характерные из них представлены на рис. 15-17.

Рассматривая графики экспериментальных исследований зависимости $N(B)$ можно отметить следующую корреляционную зависимость:

1. Степень тяжести заболевания (состояние больного) однозначно определяется стартовым значением магнитной индукции $B_{кр}$. (точка бифуркации).

2. Степень тяжести заболевания (состояние больного) однозначно определяется наклоном части кривой соответствующей процессу генерации эхиноцитов.

3. Полученные графические результаты можно аппроксимировать с помощью функции, заданной в следующем виде [24]:

$$N = N_0 \lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{1 + \left(\frac{B}{B_{кр.}} - \operatorname{tg} \alpha \right)^n}.$$

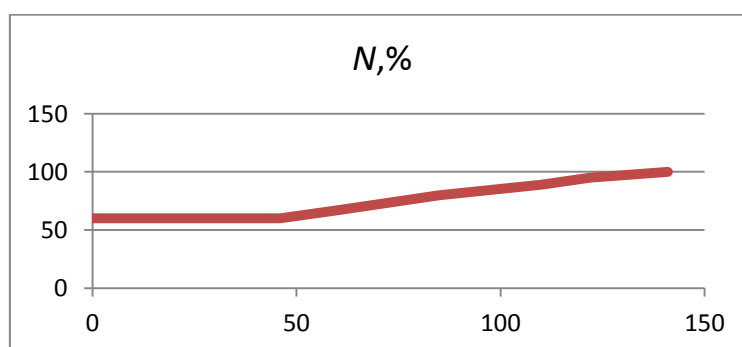


Рис. 15. Пациент, 49 лет, послеоперационное состояние

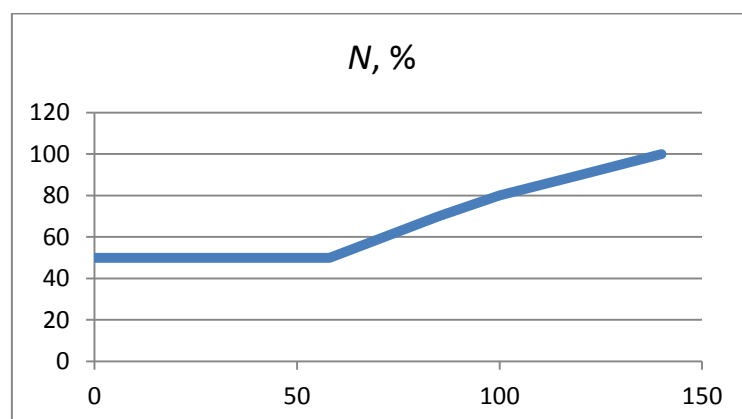


Рис. 16. Пациент, 48 лет, коксартроз

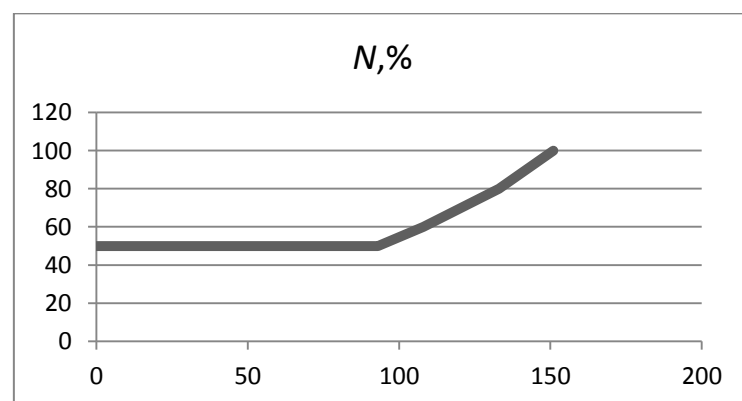


Рис. 17. Пациент, 40 лет, коксартроз

Заключение

Задача исследования механизма формирования эхиноцитов в результате воздействия на эритроциты внешним магнитным полем является актуальной в силу того, что представляет собой составную часть разрабатываемой в настоящее время общей теории старения человеческого организма под действием внешних физических факторов [25]. Следует отметить, что решение данной задачи предполагает разработку магнитной модели эритроцита, что в настоящее время еще не проводилось. Таким образом, поставленная задача характеризуется очевидной новизной.

С точки зрения практической значимости экспериментальных исследований в данном направлении следует отметить возможность корреляционной зависимости патологического состояния организма в целом и характерных особенностей кривой, интерпретирующей формирование эхиноцитов под действием статического магнитного поля (рис. 15-17). То есть имеет место возможность разработки новой диагностической методики определения заболевания на ранней стадии.

Что касается дальнейших перспективных исследований, то представляется целесообразным изучение процесса генерации эхиноцитов в магнитном поле в случае заболеваний кардиологического направления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gabor D. A new microscopy principle // Nature. 1996. 161. P. 777-778.
2. Gerhard N. Artmann // Biophysical Journal. 1997. Vol. 72 march. P. 1434-1441.
3. Nagao E., Dvorak J.A., Phase imaging by atomic force microscopy: analysis of living homeothermic vertebrate cells // Biophys. J. 1999. Vol. 76. P. 3289-3297.
4. Павлов А.Н. Диамагнетизм микробиологических объектов. Саратов: Научная книга, 2003. 84 с.
5. Биофизика мембранных процессов. Для студентов специальности «биофизика» // сост. О.И. Доценко. Донецк: ДонНУ, 2011. 175 с.
6. Болдырев А.А., Кайвярайнен Е.И., Илюха В.А. Биомембранология: учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во Кар. НЦ РАН, 2006. 226 с.
7. Варфоломеев С.Д., Калюжный С.В. Кинетические основы микробиологических процессов: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990. 296 с.
8. Бранков Г. Основы биомеханики: пер. с болг. М.: Мир, 1981. 255 с.
9. Гуляев Ю.В., Гозик Э.Э. Физические поля биологических объектов // Вестник АН СССР. 1983. С. 118-125.
10. Ивков В.Г., Берестовский Г.Н. Липидный бислой биологических мембран. М.: Наука, 1982. 359 с.
11. Конев С.В. Структурная лабильность биологических мембран и регуляторные процессы. Минск: Наука и техника, 1987. 238 с.
12. Новицкий В.В., Рязанцева Н.В., Степовая Е.А. Физиология и патофизиология эритроцита. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2004. 200 с.
13. Новицкий В.В., Рязанцева Н.В., Степовая Е.А. Физиология и патофизиология эритроцита. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. 202 с.
14. Овчинников Ю.А. Биоорганическая химия. М.: Просвещение, 1987. 815 с.
15. Рябов С.И. Основы физиологии и патологии эритропоэза. Л.: Медицина, 1991. 254 с.
16. Кононенко В.Л. Соотношение регулярности и хаотичности в динамике индивидуальных эритроцитов: науч. диссертация. М.: РАН, 2007. 372 с.
17. Степовая Е.А., Новицкий В.В., Рязанцева Н.В. Участие эритроцита в патологическом процессе // Клиническая медицина. 2004. Т. 82. № 1. С. 53-56.

18. Сторожок С.А., Санников А.Г., Захаров Ю.М. Молекулярная структура мембран эритроцитов и их механические свойства. Тюмень, 1999. 140 с.
19. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов. Киев: Наукова думка, 1973.
20. Трошкина Н.А., Циркин В.И., Дворянский С.А. Эритроцит: строение и функции его мембраны. М.: Мир, 2007. 315 с.
21. Павлов А.Н., Ляшенко А.В. Эндотаксиальные магнитные структуры в ЦНД-содержащих магнитных пленках и их физические аналоги. М.: Наука, 2006. 149 с.
22. Фирсов Н.Н., Джанашия П.Х. Введение в экспериментальную и клиническую гемореологию. М.: ГОУ ВПО «РГМУ», 2004. 208 с.
23. Варфоломеев С.Д., Калюжный С.В., Кинетические основы микробиологических процессов: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990. 296 с.
24. Райхмист Р.Б. Графики функций: справ. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1991. 160 с.
25. Бородулин В.Б. Биохимические основы единой теории старения // Успехи геронтологии. 2008. Т. 21. № 4. С. 535-545.

Павлов Александр Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Физика» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander N. Pavlov – Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, associate professor of «Physics» Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Фейзулин Рамиль Алимжанович – магистр техники и технологий Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ramil Feyzulin – master of engineering and technologies Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 681.586.785
УДК 53.087.92

В.Н. Прошкин, И.А. Прошин, Л.А. Прошкина, М.А. Магомедова

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ГЕЛИКОИДАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Рассмотрен способ по совершенствованию магнитострикционного преобразователя угловых перемещений с геликоидальной магнитной системой позиционирования для измерения параметров движения нереверсивных вращающихся объектов.

Магнитострикционный преобразователь, угловые перемещения, геликоида, магнитная система, позиционирование

V.N. Proshkin, I.A. Proshin, L.A. Proshkina, M.A. Magomedova

IMPROVING MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER ANGULAR DISPLACEMENT WITH HELICAL MAGNETIC POSITIONING SYSTEM

The article describes a method to improve the angular displacement of the magnetostrictive transducer with a helical magnetic positioning system for measuring the movement unidirectional rotating objects.

Magnetostriction transducer, angular displacement, helicoid, magnetic system, positioning

Развитие машиностроения, приборостроения, транспорта, создание современных авиационных тренажеров обуславливает высокие требования к комплексу метрологических, эксплуатационных и экономических характеристик систем измерения угловых перемещений. Перспективным направлением построения устройств для измерения линейных и угловых перемещений [1] следует признать использование магнитострикционных эффектов (J. Joule, E. Villari, G. Wiedemann, C. Matteucci и др.). Магнитострикционные преобразователи, удовлетворяющие наиболее жестким метрологическим, динамическим и технико-экономическим требованиям, вместе с тем, обеспечивают высокую конструктивную совместимость и встраиваемость в технические системы широкого назначения [1-6].

В состав измерительного преобразователя входят магнитная система позиционирования (МСП), механически связанная с контролируемым вращающимся объектом и первичный преобразователь (ПП) с цилиндрическим акустическим волноводом (ЦАВ), акустоэлектрическим преобразователем (АЭП), акустическими демпферами. В известных преобразователях угловых перемещений корпусу ПП вместе с ЦАВ [1] придают различную криволинейную форму (U-образную, С-образную, О-образную, спиралеобразную). Волновод во всех преобразователях выполняет функцию чувствительного элемента из ферромагнитных сплавов. Создавая из него ту или иную форму, в его рабочем пространстве формируются нежелательные внутренние напряжения и изменяются его магнитные свойства. Чем меньше радиус изгиба, тем больше эти напряжения и намагниченность. Поэтому преобразователь может эффективно работать только при больших радиусах кривизны чувствительного элемента. Даже термообработка для снятия внутренних напряжений и остаточной намагниченности в рабочем пространстве ЦАВ не даст положительного результата, так как известно, что для их уменьшения необходимо одновременное температурное и механическое (растягивающее и крутильное) воздействие на чувствительный элемент [6, 7], что практически неосуществимо для ЦАВ криволинейной формы.

Известно, что в преобразователях для линейных перемещений измерительный диапазон, длина «мертвой зоны», наблюдаемая в районе АЭП, и характеристика нелинейности напрямую зависят от вида размещения и крепления чувствительного элемента в корпусе ПП [6].

С целью компенсации внутренних напряжений и исключения образования в рабочем пространстве интерферирующих магнитоупругих волн акустический волновод устанавливают с определенными продольным и радиальным механическими напряжениями, выбираемыми исходя из диаметра, длины и материала ЦАВ. Для уменьшения провиса волновода дополнительно устанавливают систему внутренних и внешних канальных опор [6, 7]. Введение предлагаемых усовершенствований обеспечивает высокие метрологические характеристики преобразователя.

Предлагаемая концепция построения магнитострикционных преобразователей угловых перемещений основывается на придании криволинейной формы МСП, а не волноводу. Так, в работе [8] реализован один из вариантов измерительного преобразователя, в котором МСП

выполнена в виде одного витка геликоиды, расположенная на цилиндрической поверхности радиусом R . Высота H геликоидальной магнитной системы позиционирования составляет шаг винтовой линии, равный диапазону перемещения МСП $l_{\text{мсп}}$. Ось вращения геликоиды цилиндра механически связана с осью вращения контролируемого объекта.

Рассмотренное техническое решение характеризуется значительным преимуществом, которое может быть полезным только для работы в диапазоне $0 \dots <360$ градусов. Это связано с проблемной зоной измерения угловых перемещений объекта при переходе от 360 до 0 градусов, в районе начальной и конечной точек магнитной винтовой линии, которые соответствуют началу и концу рабочей зоны измерения на линейном участке измерительного преобразователя. Даже если на этапе изготовления МСП эту зону можно максимально объединить, то в процессе эксплуатации из-за различных факторов (температурные, вибрационные, временные и т.д.) эти точки могут не совпасть, что приведет к наложению или пропаданию полезных измерительных сигналов.

Для расширения диапазона измерения угловых перемещений и снижение погрешности измерения при переходе от 360 до 0 градусов предлагается (рис. 1 а) путем размещения на цилиндрической поверхности 1 системы позиционирования 2 в виде двух полувитков: правого и левого (половины витков правой и левой геликоиды) с равным шагом из магнитных винтовых линий. Начало правого a_0 и левого a_5 полувитков объединены в одной точке цилиндрической поверхности, а концы правого a_2 и левого a_3 полувитков объединены в диаметрально противоположной точке цилиндрической поверхности.

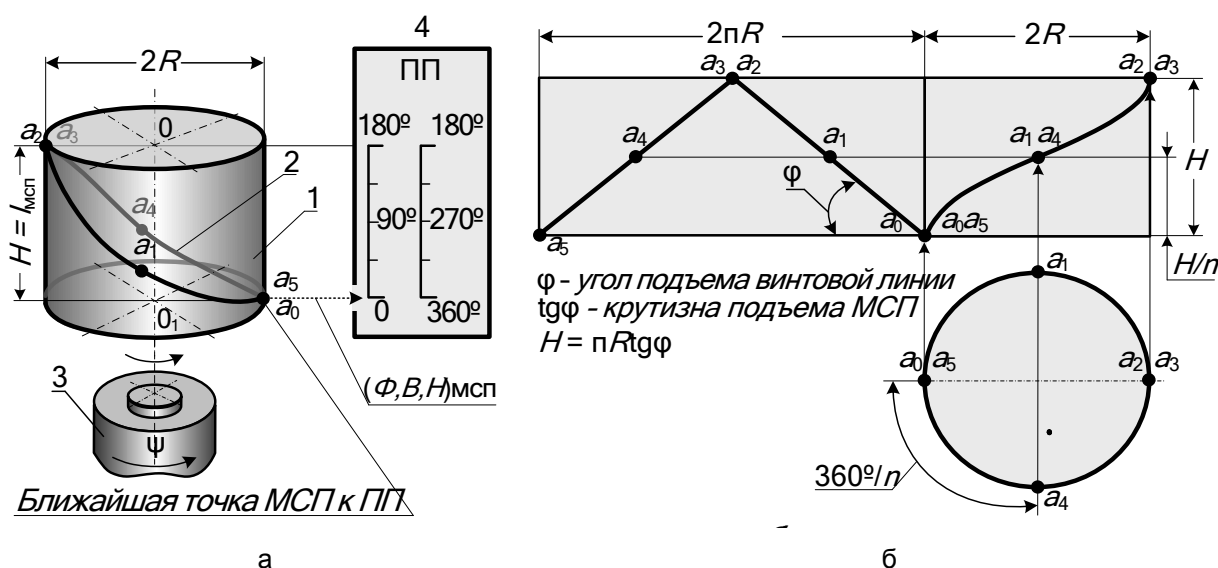


Рис. 1. Геликоидальная магнитная система позиционирования:
 а – двухполувитковая МСП; б – развертка двухполувитковой МСП

В развернутом виде правый и левый полувитки цилиндрической винтовой линии представляют собой два отрезка прямой (рис. 1 б). Действительно, развертку винтовой линии на протяжении ее шага можно рассматривать как геометрическое место точек, ордината и абсцисса которых связаны линейной функцией $y = k \cdot x$. Крутизна подъема винтовой линии определяется формулой $\text{tg } \varphi = H/\pi R$, где H – шаг винтовой линии, R – радиус цилиндра, φ – угол подъема винтовой линии. Длина каждого полувитка геликоиды равна $L = \sqrt{H^2 + (\pi R)^2}$.

Математически формы правого и левого полувитков винтовых линий зададим системой из трех уравнений соответственно:

$$\begin{cases} x = R \cdot \sin(\psi/2) \\ y = R \cdot \cos(\psi/2), \\ z = \frac{l_{мсп}}{2\pi} \cdot \psi \end{cases} \quad \begin{cases} x = -R \cdot \sin(\psi/2) \\ y = R \cdot \cos(\psi/2), \\ z = \frac{l_{мсп}}{2\pi} \cdot \psi \end{cases},$$

где x, y, z – координаты декартовой системы координат, центром которой является точка пересечения оси цилиндра с перпендикуляром, восстановленным в точке начала рабочей зоны a_0a_5 , показанной на рисунке, причем ось OZ совпадает с осью цилиндра 00_1 ; R – радиус цилиндра; $l_{мсп}$ – длина рабочей зоны измерения угловых перемещений; ψ – угол поворота вращающегося объекта.

За один оборот вала вращающегося объекта 3 геликоидальное магнитное поле 2 последовательно воздействует на чувствительный элемент преобразователя 4 в диапазоне точек $a_0 \dots a_5$. За начало отсчета условно принята точка a_0 правого полувитка геликоиды МСП 2, конец – левого полувитка a_5 . При вращении объекта 3 события периодически повторяются. Предлагаемая МСП и первичный преобразователь конструктивно в два раза короче по сравнению с одновитковой геликоидальной магнитной системой позиционирования [8].

Механизм формирования магнитоупругих волн в чувствительном элементе отражает рис. 2.

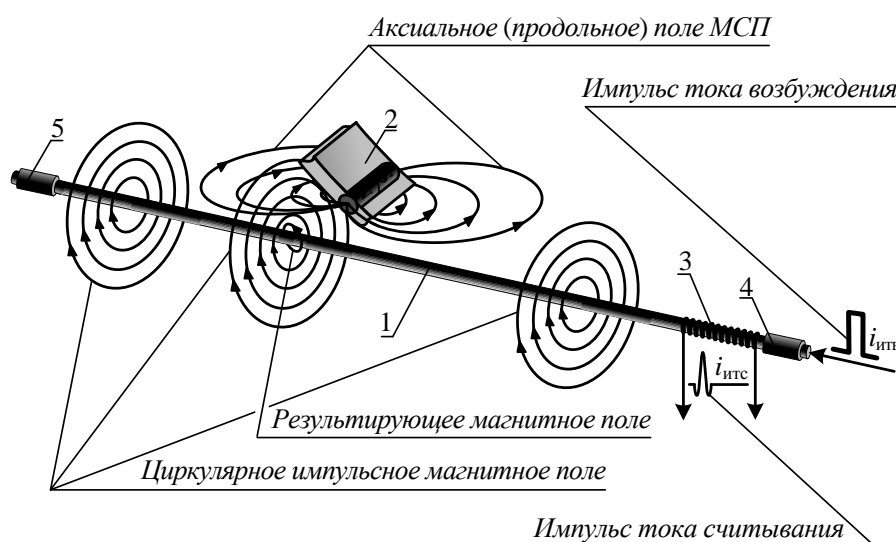


Рис. 2. Формирование магнитоупругих волн в чувствительном элементе:
1 – ЦАВ; 2 – МСП; 3 – АЭП; 4 и 5 – акустические демпферы

В среду акустического волновода 1 подается импульс тока возбуждения $i_{увв}$ и формирует в его рабочем пространстве циркулярное (круговое) электромагнитное поле. Взаимодействие циркулярного и аксиального (продольного) поля магнитной системы позиционирования 2 (на рисунке для наглядности показана часть МСП) индуцирует результирующее импульсное магнитное поле. Под действием этого поля в среде волновода 1 формируются распространяющиеся от места возникновения в обе стороны по спирали крутильные магнитоупругие волны ультразвуковой природы (эффект G. Wiedemann). Волны, достигая в некоторый момент времени акустоэлектрического преобразователя 3, считываются им (эффект S. Matteucci) и поглощаются (поглощаются) демпфером 4.

Время, разделяющее начало подачи токового импульса возбуждения $i_{увв}$ и получения считывающего импульса $i_{умс}$, пропорционально расстоянию от места возникновения упругой волны до акустоэлектрического преобразователя 3. На другом конце волновода расположен

еще один демпфер 5, который исключает возможность образования отраженных волн от его конца и интерференцию сигналов в волноводном тракте. Вычисление параметров вращения контролируемого объекта происходит во вторичном преобразователе, входящем в состав магнестрикционного преобразователя угловых перемещений (на рисунке не показан).

На рис. 3 представлен состав измерительного преобразователя с тремя вариантами МСП с различным шагом подъема винтовых линий.

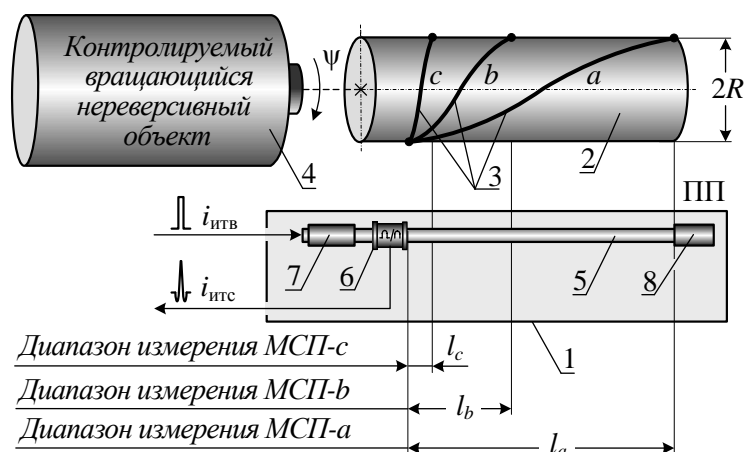


Рис. 3. Магнестрикционный измерительный преобразователь угловых перемещений:

1 – ПП; 2 – цилиндр; 3 – МСП с различными углами подъема винтовых линий; 4 – контролируемый объект; 5 – ЦАВ; 6 – АЭП; 7 и 8 – акустические демпферы

На рис. 4 изображены зависимости величины перемещения $l_{мсп}$ от угла поворота ψ контролируемого объекта при различном шаге подъема винтовых линий. Как видно из графика, чем ниже подъем, тем меньше измерительный диапазон и габаритные размеры ПП. Эту закономерность следует учитывать при сохранении необходимой разрешающей способности преобразователя, которая задается изменением периода квантования измеряемых временных интервалов во вторичном преобразователе и должна быть тем выше, чем меньше измерительный диапазон $l_{мсп}$.

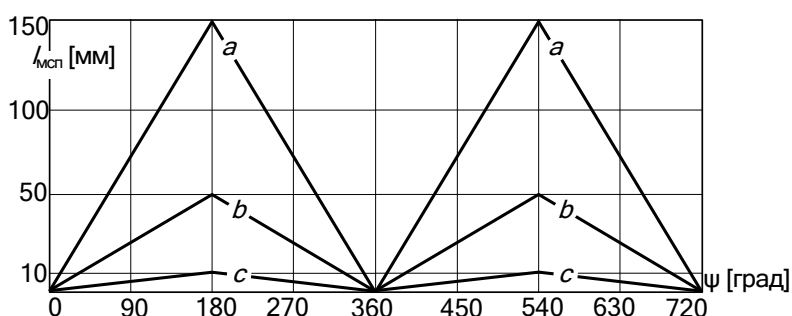


Рис. 4. Зависимости величины перемещения $l_{мсп}$ от угла поворота ψ контролируемого объекта

Магнитная система позиционирования может быть выполнена с использованием различных технологий, например, на магнитных эластомерах [9].

Достоинство магнитоэластомеров заключается в удачном сочетании эластических и магнитных свойств. Кроме того, они обладают достаточно высокой прочностью, легко поддаются механической обработке, из них можно формировать детали сложной конфигурации, а эластичность позволяет им плотно прилегать к искривленным поверхностям. По структуре магнитоэластомеры представляют собой композиционные материалы, состоящие из эластич-

ной полимерной матрицы и наполнителя – магнитотвердого дисперсного порошка. Разработаны научные основы технологии магнитных эластомеров на основе фторкаучука СКФ-26 и порошка сплава системы Nd-Fe-B, обладающих высокими магнитными и эластическими характеристиками.

Проведенный анализ и предложенное техническое решение показали, что в сравнении с известными преобразователями магнитная система позиционирования обладает малыми габаритными размерами, имеет широкий диапазон измерения, обладая высокой конструктивной совместимостью, легко интегрируется с другими системами в единые комплексы, обеспечивая их многофункциональность [10]. Поэтому разработанный преобразователь может быть рекомендован для широкого использования в транспортных системах различного назначения, приборостроении, машиностроении и системах навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сысоева С.С. Автомобильные датчики положения. Современные технологии и новые перспективы. Ч. 13. Магнотриксционные преобразователи – актуальные измерители линейных и нелинейных перемещений и детекторы крутящего момента // Компоненты и технологии. 2006. № 6 (59). С. 92-103.
2. Прошкин В.Н. Магнотриксционные преобразователи линейных перемещений для специальных условий эксплуатации // Датчики и системы. 2007. № 6. С. 35-38.
3. Прошин И.А., Тимаков В.М., Прошкин В.Н. Совершенствование динамических стендов авиационных тренажеров на базе гидроприводов // Мехатроника, автоматизация, управление. 2008. № 12. С. 18-22.
4. Mathematical model of a hydraulic drive for a dynamic test stand / I. Prochin, V. Timakov, E. Nazarov, E. Sapunov // Transport and Telecommunication. Latvia, Riga, 2011. Vol. 12. № 1. P. 50-54.
5. Upgrading the Efficiency of Airspace Flight Simulators for Emergency-Response Training of Space Crewmembers / B. Kuznetsov, M. Serebryakov, V. Proshkin, A. Bormotov // Transport and Telecommunication. Latvia, Riga, 2011. Vol. 12. № 1. P. 12-15.
6. Прошкин В.Н. Конструкторско-технологические способы совершенствования магнотриксционных преобразователей линейных перемещений для специальных условий эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2007. 173 с.
7. Linear Displacement Transducer (Temposonics II). Installation and Instruction Manual for Analog Systems, 1996. 35 p.
8. Прошкин В.Н., Прошин И.А., Прошкина Л.А. Способ детектирования угловых перемещений на магнотриксционных эффектах с геликоидальной магнитной системой позиционирования // Естественные и технические науки. 2013. № 6 (68). С. 342-347.
9. Таганова В.А. Технология магнитных эластомеров с повышенными эксплуатационными свойствами: дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2011. 135 с.
10. Прошкин В.Н., Прошин И.А., Тимаков В.М. Исследование и проектирование элементов обратных связей систем управления динамическими стендами авиационных тренажеров // Надежность и качество: труды Междунар. симпозиума. Пенза: ПензГУ, 2009. Т. II. С. 421-423.

Прошкин Виктор Николаевич – кандидат технических наук, доцент цикла «Автоматизация и управление» кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного технологического университета

Viktor N. Proshkin – Ph.D., associate professor of the series «Automation and control» of the Department «Mechanical Engineering» Penza State University of Technology

Прошин Иван Александрович – доктор технических наук, профессор цикла «Автоматизация и управление» кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного технологического университета

Ivan A. Proshin – Ph.D., professor of the series «Automation and control» of the Department «Mechanical Engineering» Penza State University of Technology

Прошкина Людмила Андреевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и международные отношения» Пензенского государственного университета

Lyudmila A. Proshkina – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of «Economic Theory and International Relations» Penza State University

Магомедова Мадина Асадуллаевна – аспирант цикла «Автоматизация и управление» кафедры «Технология машиностроения» Пензенского государственного технологического университета

Madina A. Magomedova – graduate cycle «Automation and control» of the Department «Mechanical Engineering» Penza State University of Technology

Статья поступила в редакцию 15.03.16, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 57.086.2; 57.085.23

В.Г. Пушкарь

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ

В работе описаны принципы работы, особенности и состояние основных систем современной электронной микроскопии, показаны новые перспективные направления развития приборов для изучения микрообъектов и нанообъектов в области биологии, медицины, нанотехнологий и материаловедения.

Электронная микроскопия, нанотехнология, изучение нанообъектов

V.G. Pushkar

MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ELECTRON MICROSCOPY

The paper describes the principles of operation, characteristics and condition of the main systems of modern electron microscopy, shows new perspective directions of development of devices for the study of micro- and nano objects in the field of biology, medicine, nanotechnology and materials science.

Electron microscopy, nanotechnology, the study of nanoscale objects

В настоящее время электронная микроскопия является одним из основных средств развития научного и технического потенциала как для исследовательских, так и для практических работ в области нанотехнологии и материаловедения, биологии и медицины. Правительство Российской Федерации уделяет серьезное внимание вопросам обеспечения развития

науки и наукоемких технологий, необходимых для укрепления отечественной экономики, а также для обеспечения обороны и безопасности нашей страны. Работы по развитию нанотехнологий в России проводятся в рамках федеральных и ведомственных программ [1]. На эти исследования в федеральном бюджете начиная с 2007 г. ежегодно выделяется более 180 млрд руб. что существенным образом повысило шансы нашей страны на то, чтобы в кратчайшие сроки развить стабильную nanoиндустрию и занять одну из ключевых позиций на общемировом рынке нанотехнологий [2].

Важным направлением является разработка и изучение нанообъектов, наноматериалов, исследование свойств полученных наноструктур в различных условиях. Химический и биохимический синтез, биохимия и молекулярная биология, изучение наноструктур биологического происхождения и химические процессы синтеза и взаимодействия наноструктур. Моделирование и адекватная компьютерная обработка исследуемых структур, а также методы получения информации о свойствах и структуре моделируемых объектов – это и есть современная методология экспериментальных исследований в области электронной микроскопии.

Изучение наноструктур относится к направлению «нанотехнологии». Под наноматериалами принято понимать объекты, основные структурные элементы которых (кристаллиты, волокна, слои, поры) не превышают так называемой *нанотехнологической границы* – 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$), по крайней мере в одном направлении.

Основой создания электронного микроскопа являются такие фундаментальные науки, как физика, химия и биология, на стыке которых находятся несколько интегративных направлений: квантовая теория, физическое материаловедение, изучающее свойства наноматериалов, физика и химия вероятности (поскольку законы поведения материи приобретают не детерминированный, а вероятностный характер) [3].

Решение задач, которые ставятся перед специалистами в современных условиях разработки и производства наносистем, требуют широких знаний в указанных областях науки.

Успех исследования напрямую зависит от правильного выбора технических средств для изучения объекта. Эта непростая задача перед исследователем встает первой: какой микроскоп необходимо использовать: световой или электронный? Если электронный, то какой: просвечивающий (трансмиссионный), сканирующий (растровый), туннельный или атомно-силовой, магнитно-силовой, сканирующий зондовый, сканирующий туннельный или электростатический силовой? Как разобраться в этом многообразии? Учитывая то, что электронный микроскоп является дорогостоящим устройством, ошибка в его выборе может стать весьма существенной.

Первое, что нужно определить, это нужен ли Вам именно электронный микроскоп? Определяем объект исследования. Что вы планируете изучать? Внешний вид клеток биологической ткани (необходимое увеличение $\times 100-1000$), взаимодействие микроорганизмов ($\times 500-10000$), их строение, внутренние органеллы ($\times 10000-100000$) или строение вирусов, хромосом, белковых молекул и структуру наноматериалов ($\times 100000-1000000$)? В зависимости от этого вы можете определить величину изучаемого объекта (кратность увеличения) и необходимое разрешение микроскопа (минимальное расстояние между двумя точками изображения, которые еще можно рассмотреть в виде отдельных точек).

Если Вас устраивает увеличение в 1-2 тысячи крат и разрешение в 0,1-0,3 мкм, которое позволяют получить наиболее мощные приборы, использующие оптический диапазон [4], то можно использовать световой микроскоп.

Современный световой микроскоп – это цифровой микроскоп, объединяющий в себе оптический канал, цифровую камеру и компьютер со специальным программным обеспечением. Такой единый цифровой модуль позволяет измерять оптические параметры объекта, получать и записывать изображение, обрабатывать его и редактировать, проводить компьютерный анализ и наблюдать за всем этим на экране монитора, что, поверьте, намного удобнее, чем смотреть в традиционный окуляр микроскопа.

Следует обратить внимание на уровень используемой оптики и разрешающую способность фото- или видеокамеры.

В настоящее время известны световые микроскопы, которые используют принцип «расфокусированного луча» и апертуры малого диаметра в плоскости изображения для ограничения потока фонового рассеянного света – это сканирующие конфокальные микроскопы, использующие лазерное возбуждение [5]. Такие приборы позволяют получить высокую контрастность изображения и разрешение лучше, чем в обычном световом микроскопе (примерно в 1,4 раза), послынное сканирование объекта с последующей компьютерной обработкой и построением трехмерного изображения. К недостаткам таких приборов можно отнести сложность конструкции, высокую стоимость микроскопа и его эксплуатации.

Ближнепольная оптическая микроскопия (БОМ), обеспечивающая разрешение лучшее, чем у обычного оптического микроскопа – вплоть до 10 нм (вместо 200–300 нм). Повышение разрешения БОМа достигается детектированием рассеяния света от изучаемого объекта на расстояниях меньших, чем длина волны света. В случае, если зонд (детектор) микроскопа ближнего поля снабжен устройством пространственного сканирования, то такой прибор называют сканирующим оптическим микроскопом ближнего поля. Такой микроскоп позволяет получать растровые изображения поверхностей и объектов с разрешением ниже дифракционного предела [6].

Создание туннельного микроскопа положило начало целой области исследований – сканирующей зондовой микроскопии. Однако все методы построения сканирующих микроскопов подразумевали измерение какого-либо неоптического параметра поверхности образца. Оптические же микроскопы были ограничены дифракционным пределом. Использование оптических ближнепольных зондов расширило возможности сканирующей зондовой микроскопии [7]. Однако их подробное рассмотрение выходит за рамки нашей статьи.

Вернемся к электронной микроскопии – что мы сегодня понимаем под этим термином? Электронная микроскопия – это совокупность методов морфологического исследования объектов с помощью потока электронов, структурированных электрическими полями в электронных микроскопах (ЭМ), которые позволяют изучить микроструктуру этих объектов на макромолекулярном и субклеточном уровнях (вплоть до атомно-молекулярного уровня), их локального состава и локализованных на поверхностях или в микрообъемах тел электрических и магнитных полей. Также включает усовершенствование и разработку новых ЭМ и других корпускулярных микроскопов (например, протонного микроскопа) и приставок к ним; поиск методик подготовки образцов, исследуемых в ЭМ; изучение механизмов формирования электронно-оптических изображений; разработку способов анализа получаемой информации [8].

Электронный микроскоп использует вместо луча света (фотонов) поток электронов, у которых длина волны значительно меньше, и этим он отличается от светового микроскопа. Как известно из физики, чем быстрее скорость электронов, тем меньше длина волны, а скорость потока электронов зависит от разности потенциалов, которая в некоторых моделях составляет несколько миллионов вольт и при этом увеличение может достигать до двух миллионов крат, а разрешение можно получить до 10–20 Å. Это качество и делает электронный микроскоп незаменимым прибором при исследовании биологических объектов, строения вещества, диагностики, анализа частиц и контроля качества сложных веществ как в медицине, микробиологии, иммунологии, фармакологии так и в технике, позволяя рассмотреть самые мельчайшие детали, вплоть до атомно-молекулярного уровня, недоступные для оптического микроскопа.

Сегодня методы электронной микроскопии позволили перейти на качественно новый уровень изучения материи и нашли широкое применение в морфологии, микробиологии, вирусологии, биохимии, онкологии, медицинской генетике, иммунологии. Благодаря возможностям этих методов раскрыта субмикроскопическая структура клеток, открыт ряд неизвест-

ных ранее клеточных органелл, таких как лизосомы, рибосомы, эндоплазматический ретикулум, микротрубочки, цитоскелет и другие структуры. ЭМ позволил понять многие тонкие механизмы развития болезней, в том числе на ранних этапах их возникновения, еще до появления четкой клинической симптоматики.

ЭМ все шире применяется для ранней диагностики заболеваний, а также для выявления этиологии инфекционных процессов. Их используют в онкологии для определения гистогенеза опухолей, что имеет важное значение в лечении и прогнозе онкологического заболевания. В нефрологии исследования с помощью ЭМ материала, полученного при пункционной биопсии, позволяют выявить ранние морфологические изменения структур почек, диагностировать форму гломерулонефрита, провести дифференциальную диагностику гепатитов, гепатозов и других заболеваний печени [9].

После открытия волновой природы электрона уже в 1931 году в Германии М. Кноль и Е. Руска, а затем и в США в 1934 г Л. Мартон построили первый электронный микроскоп и получили первые изображения и микрофотографии биологических объектов. А в 1939 г. фирма «Сименс-Гальске» в Германии выпустила первую промышленную модель просвечивающего электронного микроскопа, разработанную Б. Боррисом и Е. Руска [10]. С тех пор электронная микроскопия прошла серьезный путь развития, является одним из основных методов изучения живой материи и позволила научным исследованиям перейти на качественно новый уникальный уровень изучения микрообъектов.

Трансмиссионные (просвечивающие) электронные микроскопы (ТЭМ). Тонкопленочный объект в них просвечивается пучком ускоренных электронов с энергией 50-200 кэВ. Электроны, отклоняются атомами объекта на малые углы, проходят сквозь него с небольшими энергетическими потерями и попадают в систему магнитных линз, которые формируют на люминесцентном экране (или на фотопленке) изображение объекта. При этом удается достичь разрешения порядка 0,1 нм, что соответствует увеличениям до $1,5 \times 10^6$ раз.

Разрешение и информативность ТЭМ – изображений во многом определяются характеристиками объекта и способом его подготовки. При исследовании тонких пленок и срезов полимерных материалов или биологических тканей контраст возрастает пропорционально их толщине, но одновременно снижается разрешение. Поэтому применяют очень тонкие (толщиной от 1 нм до 10 мкм) пленки и срезы, Ультратонкие срезы (10-100 нм) получают с помощью ультрамикротомов, а пористые и волокнистые материалы предварительно пропитывают и заливают в эпоксидные компаунды. Металлы исследуют в виде ультратонкой фольги. Для изучения формы и размеров микрочастиц (бактерии, вирусы микрокристаллы, аэрозоли, макромолекулы) их наносят на пленки-подложки из формвара или аморфного углерода, проницаемые для электронного луча, повышая их контраст обработкой соединениями тяжелых металлов (осмия, урана, золота, свинца и др.), которые избирательно взаимодействуют с компонентами микроструктуры (химическое контрастирование) [11].

Принципиально новая идея построения электронного микроскопа была сформулирована в 1935 году М. Кнолем. Согласно этой идее, изображение объекта формируется последовательно по точкам и является результатом взаимодействия электронного пучка (зонда) с поверхностью образца. Каждая точка образца последовательно облучается сфокусированным электронным пучком, который перемещается по исследуемой поверхности подобно сканированию электронного луча в телевизионных системах [12, 13, 14]. Однако широкое использование РЭМ в науке и технике стало возможно лишь в 70-е годы, когда появились высоко надежные приборы, созданные на основе достижений микроэлектроники и вычислительной техники [15].

Первый образец промышленного растрового (сканирующего) электронного микроскопа был изготовлен в 1965 г. в США фирмой Cambridge Scientific Instruments на основе разработок Владимира Козьмича Зворыкина (уроженец г. Муром, выпускник Петербургского Технологического института, изобретатель электронного телевидения). С тех пор этот тип элек-

тронных микроскопов зарекомендовал себя как наиболее универсальный и информативный прибор для изучения микрообъектов. После этого в ближайшие 10 лет было продано около 1000 растровых электронных микроскопов производства не только США, но и Великобритании, Франции, Голландии, Японии и ФРГ, которые также активно взялись за разработку и модернизацию новых приборов, однако схемы самых современных электронных микроскопов незначительно отличаются от схем Зворыкина, предложенных в 1942 г. [16].

Сканирующий электронный микроскоп – микроскоп, который сканирует исследуемый образец электронным лучом. Измеряет интенсивность квантов, испускаемых образцом. Это могут быть вторичные электроны, отраженные электроны и т.д. Преобразует измеренную интенсивность в электрический сигнал. По сравнению с оптическими микроскопами характеризуется более высокими пространственным разрешением и глубиной резкости, а также возможностью проведения химического анализа на основе регистрации спектра рентгеновского излучения, генерируемого при облучении поверхности образца электронным пучком. Схема действия растрового электронного микроскопа: электроны, испускаемые электронной пушкой (нить накала обычно из вольфрама), ускоряются до энергии 2-40 кэВ; набор магнитных линз и отклоняющих катушек сканирования формирует электронный пучок малого диаметра, разворачиваемый в растр на поверхности образца. При облучении этой поверхности электронами возбуждаются три типа излучения, несущего полезную информацию: рентгеновские лучи, вторичные электроны и отраженные электроны. Пространственное разрешение сканирующего электронного микроскопа зависит от поперечного размера электронного пучка, который в свою очередь зависит от электронно-оптической системы, фокусирующей пучок. Разрешение также ограничено размером области взаимодействия электронного зонда с образцом, т.е. от материала мишени. Размер электронного зонда и размер области взаимодействия зонда с образцом намного больше расстояния между атомами мишени, таким образом, разрешение сканирующего электронного микроскопа не настолько велико, чтобы отображать атомарные масштабы, как это возможно, например, в просвечивающем электронном микроскопе. Однако сканирующий электронный микроскоп имеет свои преимущества, включая способность визуализировать сравнительно большую область образца, способность исследовать массивные мишени (а не только тонкие пленки), а также разнообразие аналитических методов, позволяющих измерять фундаментальные характеристики материала мишени. В зависимости от конкретного прибора и параметров эксперимента, может быть получено разрешение от десятков до единиц нанометров. Сканирующие микроскопы применяются в первую очередь как исследовательский инструмент в физике, электронике, биологии. В основном, это получение изображения исследуемого образца, которое может сильно меняться в зависимости от применяемого типа детектора. Эти различия позволяют делать вывод о физике поверхности, проводить исследование морфологии поверхности. Электронный микроскоп практически единственный прибор, который может дать изображение поверхности современной микросхемы или промежуточной стадии фотолитографического процесса [17].

В 1982 году два швейцарских физика Герд Бинниг и Гейнрих Рорер, работающие в Исследовательской лаборатории фирмы IBM в Цюрихе (Швейцария), сконструировали прибор совершенно нового типа, с помощью которого можно было рассматривать отдельные атомы на поверхности. Создателям этого прибора – сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) – в 1986 году была присуждена Нобелевская премия [18, 19].

В связи с этим неоспоримым достижением стало открытие 1982 году Генрихом Рорером и Гердом Биннигом метода сканирующей туннельной микроскопии, которая положила начало развитию сканирующей зондовой микроскопии. Работая над микроскопическими исследованиями роста и электрических свойств тонких диэлектрических слоев в лаборатории IBM в Рюмликоне в Швейцарии, авторы думали использовать туннельную спектроскопию. В то время были известны работы Янга о полево излучающем микроскопе, Томпсона по туннелированию в вакууме с управляемым остриём, так что мысль о способности измерения

с помощью эффекта туннелирования не только спектроскопических свойств поверхности, но и её рельефа, была основана на трудах большого количества исследователей.

Ученые всего мира, занимающиеся физикой поверхности, да и вообще физикой конденсированных сред, немедленно убедились, что туннельный микроскоп – прибор уникальный. Действительно, ведь до его появления еще никому не удавалось «разглядывать» поверхность с такой неслыханной детальностью – атом за атомом. Однако у СТМ есть один недостаток: с его помощью можно изучать только материалы, хорошо проводящие электрический ток.

Сканирующий туннельный микроскоп явился прототипом (базовой моделью) целого семейства еще более совершенных сканирующих микроскопов ближнего поля с зондами-остриями. Необходимость дальнейших разработок диктовалась требованием избавиться от основного недостатка базового микроскопа – электропроводности объектов, а ведь даже проводники и полупроводники часто покрыты изолирующим слоем оксида. Не проводят ток и биологические материалы.

И вот в конце 1986 года тот же Бинниг предложил конструкцию прибора нового поколения, который тоже позволяет исследовать поверхности с беспрецедентной детальностью, но уже вовсе не обязательно электропроводящие. Новый прибор был назван атомным силовым микроскопом, и сегодня именно он представляет наибольший интерес для исследователей [20].

Множество трудностей, которые усложняли исследование образцов в СТМ, побудили разработать их первый атомно-силовой микроскоп, который мог использовать те самые силы взаимодействия между образцом и остриём, которые так мешали в случае СТМ.

Атомный силовой микроскоп это одна из наиболее распространенных разновидностей сканирующего зондового микроскопа. Здесь образец уже не обязательно должен быть проводящим. Атомно-силовой микроскоп позволял проводить измерения не только в вакууме, но и в атмосфере, заранее заданном газе и даже сквозь плёнку жидкости, что стало несомненным успехом для развития биологической микроскопии. Так было положено начало эры сканирующей зондовой микроскопии. Вскоре была представлена микроскопия ближнего поля, которая задействовала оптические волны для разрешения объектов до 10 ангстрем.

Как и в сканирующем туннельном микроскопе, над объектом перемещается крошечное острие – заостренный до атомных размеров (и даже до размера одного атома!) осколок алмаза, закрепленный на полоске-кронштейне из металлической фольги – кантилевере.

Перемещаясь в плоскости образца над поверхностью, кантилевер изгибается, отслеживая ее рельеф. Кантилеверы разделяются на жёсткие и мягкие по длине балки, а характеризуется это резонансной частотой колебаний кантилевера. Процесс сканирования микрозондом поверхности может происходить как в атмосфере или газе, так и в вакууме. Для детектирования отклонения используется полупроводниковый лазер с длиной волны 670 нм и оптической мощностью 0,9 мВт. Лазерный луч направляется на обратную к по отношению к поверхности сторону кантилевера (на самый кончик), которая покрыта специальным алюминиевым зеркальным слоем для наилучшего отражения, и отраженный луч попадает в специальный четырёхсекционный фотодиод. Таким образом, отклонения кантилевера приводят к смещению луча лазера относительно секций фотодиода, – изменение разностного сигнала с фотодиода и будет показывать амплитуду смещения кантилевера в ту или иную сторону. Такая система позволяет измерять отклонения лазера в угле $0,1''$, что соответствует отклонению кантилевера на угол $2 \cdot 10^{-7}$ рад. [21, 22].

Первый микроскоп такого типа был сконструирован Г. Биннигом, Х. Гербером и С. Квайтом в 1986 году, после того как годом ранее Г. Бинниг показал принципиальную возможность неразрушающего контакта зонда с поверхностью образца [23].

Преимущества и недостатки атомного силового микроскопа (АСМ). В сравнении с растровым электронным микроскопом (РЭМ) АСМ обладает рядом преимуществ. Так, в от-

личие от РЭМ, который даёт псевдо трёхмерное изображение поверхности образца, АСМ позволяет получить истинно трёхмерный рельеф поверхности. Кроме того, непроводящая поверхность, рассматриваемая с помощью АСМ, не требует нанесения проводящего металлического покрытия, которое часто приводит к заметной деформации поверхности. Для нормальной работы РЭМ требуется вакуум, в то время как большинство режимов АСМ могут быть реализованы на воздухе или даже в жидкости. Данное обстоятельство открывает возможность изучения биомакромолекул и живых клеток. В принципе АСМ способен дать более высокое разрешение, чем РЭМ. Так было показано, что АСМ в состоянии обеспечить реальное атомное разрешение в условиях сверхвысокого вакуума. Сверхвысоковакуумный АСМ по разрешению сравним со сканирующим туннельным микроскопом и просвечивающим электронным микроскопом [24, 25].

Электронные микроскопы имеют много применений как в области чистой науки (биологические или медицинские исследования, строение материи и т.д.), так и в промышленности (исследование дымов, пыли, волокон тканей, коллоидов и т.д.; изучение структуры металлов, бумаги и т.д.). В растровом электронном микроскопе со специальной приставкой изучаются энергетические спектры вторичных электронов, выбитых первичным электронным пучком с поверхности или из объёма образца (Оже-спектроскопия). Интенсивно разрабатываются методы количественной электронной микроскопии – точного измерения различных параметров образца или исследуемого процесса, например измерение локальных электрических потенциалов, магнитных полей, микрогеометрии поверхностного рельефа и т.д.

В просвечивающих электронных микроскопах (ПЭМ) и растровых ПЭМ (ПРЭМ) высокого разрешения получают изображения отдельных молекул или атомов тяжёлых элементов; пользуясь методами фазовой ЭМ, восстанавливают по изображениям трёхмерную структуру кристаллов и биологических макромолекул. Для решения подобных задач применяют, в частности, методы голографии, а расчёты производят на ЭВМ.

Электростатическая силовая микроскопия. Это один из методов атомной силовой микроскопии, который основан на регистрации электростатических сил, действующих между зондом и образцом (зонд и образец образуют две обкладки микроскопического конденсатора) [26]. Этот метод включает электростатическую силовую микроскопию и кельвинзондовую силовую микроскопию, а также методы измерения локальных диэлектрических свойств в различных конфигурациях, среди которых микроскопия напряжений Максвелла и другие [27, 28].

Протонные микроскопы – это новый прорыв в науке. Вместо потока электронов в них используются протоны, которые имеют длину волны, в 40 раз меньше, таким образом, получается соответственно более высокая степень разрешения, и это позволяет получать изображения с ещё большим увеличением. Разница примерно такая же, как это было при переходе от световой оптики к электронной микроскопии.

Конструкция и работа протонного микроскопа значительно не отличаются от конструкции и работы электронного микроскопа. Электронная пушка заменяется протонной пушкой, а в качестве источника протонов используется водород [29].

В настоящее время действующий протонный микроскоп находится в американском Лос-Аламосе, который используется для изучения свойств материалов при ударно-волновых нагрузках. Также строится микроскоп в Дармштадте (ФРГ) – в целях изучения свойств материи в экстремальных условиях. Работы по созданию протонного микроскопа ведутся во многих странах мира. С 15 по 17 июля 2013 г. в Дармштадте (Германия) прошёл IV Международный семинар по высокоэнергетической протонной микроскопии, в котором приняли участие физики из США, Германии, России и Китая [30].

В России также ведутся разработки протонных микроскопов на основе отечественных исследований. Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова ещё в 1982 г. получил авторское свидетельство на изобретение «Способ протонной радиографии».

В котором для повышения разрешения предложено проводить дополнительное координатно-чувствительное детектирование протонов до и после объекта [31]. Этот принцип сейчас реализован в современных протонных микроскопах.

24 ноября 2015 г. протвинский Институт физики высоких энергий сообщил о введении в постоянную эксплуатацию уникального научного комплекса ПРГК-100. Был успешно выполнен основной эксперимент намеченной на осенний сеанс У-70 программы работ с использованием протонной радиографии – это самый мощный в России протонный микроскоп, в котором для «просвечивания» плотных материалов используются пучки протонов с высокими энергиями, присущими у нас только ускорителю ИФВЭ У-70, действующий с 1967 года синхротрон на 70 миллиардов электрон-вольт, направляющий ускоренный пучок в 2,5-километровый подземный тоннель канала инжекции в УНК. Руководят работами первый заместитель научного руководителя ВНИИЭФ Юрий Трутнев, директор ИТМФ Вячеслав Соловьёв и директор ИФВ (экспериментальная часть) Анатолий Михайлов [32].

В настоящее время в ООО «Карбонлайт», в подмосковном городе Долгопрудный создают новый измерительный прибор субатомного разрешения – протонный нанointроскоп. Разработчики нового устройства обещают, что в нанointроскоп можно будет рассматривать даже не атомы, а электронные оболочки атомов. Сейчас с таким разрешением не работает ни один микроскоп. Атомы можно «видеть» лишь символически, в виде пиков на диаграмме атомно-силового микроскопа.

Новое устройство пока что существует только в виде макета, который включает автоионный источник протонов и детектор в виде «стручковой» нанотрубки, заполненной цериевыми металлофуллеренами и размещенной на кремниевом кантелевере. В конструкции использованы последние разработки ООО «Карбонлайт»: стручковые нанотрубки, заполненные атомами церия, упакованного в фуллерены, а также новый источник протонов. Макет уже прошёл испытания.

О степени новизны разработки говорит уровень патентной защиты: в ходе разработке нанointроскопа запатентованы: источники протонов с электронной ионизацией и протонов с фотоионизацией, а также источник, формирующий протонный пучок.

Создание макета протонного нанointроскопа субатомного разрешения поддержало Федеральное агентство России по науке и инновациям. Предполагается, что этот прибор дополнит существующие методы электронной и зондовой микроскопии и откроет новые возможности для исследования структур атомных и субатомных размеров. Среди главных достоинств прибора – компактные размеры и умеренная стоимость, при этом он может работать с очень высоким разрешением.

Разработчики полагают, что новый прибор в ряде случаев сможет заменить дорогостоящие, громоздкие и сложные в эксплуатации электронные микроскопы высокого разрешения. А это значит, что исследования в области нанотехнологий станут доступными для большего числа университетов и лабораторий [33, 34].

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние развития работ за рубежом и в Российской Федерации // Проект программы развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий и наноматериалов до 2015 года (www.istokru.eu/files/RF_nanotechnologies_program_2015_rus.doc).
2. Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию Российской Федерации от 26 апреля 2007 года // Российская газета. 2007. № 90, 27 апреля. С. 10.
3. Власов А.И. Электронная микроскопия: учеб. пособие / А.И. Власов, К.А. Елсуков, И.А. Косолапов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 168 с.
4. Principes de fonctionnement du microscope photonique, Centre national de la recherche scientifique. http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doscel/decouv/xtxt/zhist/Niv2_2.htm.

5. Конфокальная лазерная сканирующая микроскопия – применение в патоморфологических исследованиях / А.О. Дурнова, Ю.С. Крылова, Л.Н. Пантелеев, С.Ф. Мусихин // Биотехносфера. 2014. № 5 (35). С. 30-35.
6. Pohl D.W., Denk W., Lanz M. Appl. Phys. Lett. 1984. Vol. 44. P. 651-653; Durig U., Pohl D.W., Rohrer F. J. Appl. Phys. 1986. № 59 (10). P. 3318-3327.
7. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород: РАН Институт физики микроструктур, 2004.
8. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия. http://dic.academic.ru/contents.nsf/enc_physics/
9. Электронно-микроскопические методы исследования в медицине. <http://xreferat.com/55/3379-1-elektronno-mikroskopicheskie-metody-issledovaniya-v-medicine.html>
10. http://www.infran.ru/vovenko/60years_ww2/el_micro.htm
11. Хейденрайх Р. Основы просвечивающей электронной микроскопии. М.: Мир, 1966. 472 с.
12. Knoll M. Static Potential and Secondary Emission of Bodies Under Electron Irradiation // Z. Tech. Physik. 1935. № 16. P. 467-475.
13. Ardenne M. // Z. Physik. 1938. № 109. P. 553.
14. Watt I.M. The Principles and Practice of Electron Microscopy. Cambridge: Cambridge University Press, 1985.
15. Введение в растровую электронную микроскопию (избранные главы). http://ftn-mipt.itp.ac.ru/old/attachments/100_MFTI-L04.pdf.
16. Zworykin V.K., Hiller J., Snyder R.L. A Scanning Electron Microscope // ASTM bull. 1942. № 117. P. 15-23.
17. http://www.portalnano.ru/read/tezaurus/definitions/s_e_microscope.
18. Головин Ю.И. Введение в нанотехнологию. М., 2003.
19. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Нижний Новгород, 2004. 114 с.
20. Бинниг Г., Рорер Х. Сканирующая туннельная микроскопия – от рождения к юности // Нобелевские лекции по физике. 1986. УФН. Т. 154 (1988). Вып. 2. С. 261.
21. Рашкович Л.Н. Атомно-силовая микроскопия процессов кристаллизации в растворе // Соросовский образовательный журнал. 2001. № 10. С. 102-108.
22. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирш, Хови и др. М.: Мир, 1968.
23. Binning, Gerd Karl // Encyclopedia of World Biography. 2005. http://www.encyclopedia.com/topic/Gerd_Binnig.aspx#1-1G2:3435000034-full.
24. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969. 420 с.
25. In situ observation of surface deformation of polymer films by atomic force microscopy / Takashi Nishino, Akiko Nozawa, Masara Kotera, and Katsuhiko Nakamae // Rev. Sci. Instrum. 2000. 71, 5. P. 2094-2094.
26. Martin Y., Abraham D.A., Wickramasinghe H.K. High-resolution capacitance measurement and potentiometry by force microscopy // Appl. Phys. Lett. 1988. № 52. P. 1103-10005.
27. Magonov S., Alexander J., Wu S. Advancing characterization of materials with Atomic Force Microscopy – based electric techniques // Scanning Probe Microscopy of Functional Materials: Nanoscale Imaging and Spectroscopy; Kalinin S.V.; Gruverman A., Eds. Springer: Berlin, Germany, 2010. P. 233-300.
28. Yokoyama H., Jeffery M.J. Imaging high-frequency dielectric dispersion of surfaces and thin films by heterodyne force-detected scanning Maxwell stress microscopy // Colloids Surf. A 1994. № 93. P. 359-373.
29. <http://www.issa.ru/tnvd/all/9012.html>
30. <http://www.eco-pravda.ru/page.php?id=5945>

31. Алхазов Г.Д., Белостоцкий С.Л., Воробьев А.А. Способ протонной радиографии. А.С. SU № 1080604 А. Приоритет от 28.09.1982 г. Оpubл. 15.04.1985. Бюл № 4.
32. По материалам Rosatom.ru и Пресс-отдела РФЯЦ-ВНИИЭФА <http://www.rosatom.ru/>
33. <http://www.strf.ru/material.aspx?...>
34. <http://www.nanopoisk.ucoz.ru/...009-04-03-74>

Пушкарь Владимир Георгиевич –
старший научный сотрудник ФКУЗ
Волгоградского научно-исследовательского
противочумного института
Роспотребнадзора

Vladimir Pushkar –
Senior researcher Volgograd Research
Anti-Plague Institute of Rosпотребнадзор

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 721

Н.А. Сапрыкина

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ АРХИТЕКТУРНОГО ПРОСТРАНСТВА

Рассматривается важность разработки нового подхода к формированию архитектурного пространства в соответствии с потребностями динамического развития общества на основе использования современных научных парадигм и концепций. Отмечается, что синергетика, выступающая в качестве современной парадигмы эволюции и являющаяся теорией самоорганизации сложных систем мира, может дать общие ориентиры для научного поиска, для прогнозирования и моделирования процессов при формировании архитектурного пространства.

Синергетическая система, адаптация и упорядоченность, самоорганизация, устойчивость развития, регенерация, экологический подход

N.A. Saprykina

SYNERGETIC APPROACHES TO FORMATION OF ARCHITECTURAL SPACE

Discusses the importance of designing a new approach towards architectural space according to the needs of the dynamic development of society through the use of modern scientific paradigms and concepts. That synergy, acting as the modern paradigm of evolution and a theory of the self-organization of complex systems in the world, can provide general guidance for research, forecasting and modelling of processes in the formation of architectural space.

Synergetic system adaptation and orderliness, self-organization, sustainability, regeneration, an ecological approach

В современных условиях существования в сложных политических, экономических и социальных ситуациях большое значение приобретает формирование новых подходов, которые организуют сумму знаний и умений и определяют связь архитектуры с более широкими процессами, формирующими искусственную среду. Оптимальное и эффективное решение может быть найдено только на основе полного понимания диалектической природы сил, которые сегодня эту среду формируют.

Новая парадигма мышления, основанная на идеях развития самоорганизующихся систем, предполагает новый подход к организации обитаемого пространства как к адаптируемой системе. Поскольку архитектурные объекты должны рассматриваться во взаимосвязи с их обитателями, они представляют собой сложные самоорганизующиеся системы, динамически меняющиеся в сложной социальной действительности. В связи с этим задача архитектурной теории должна быть направлена на поиск средств и приемов построения адаптируемого архитектурного объекта, имеющего в арсенале множество сценариев и вероятностных прогнозов развития.

Важность решения научной проблемы заключается в создании концепции формирования фрактальной самоорганизации архитектурного пространства в соответствии с потребностями динамического развития общества на основе использования современных научных парадигм и концепций. Синергетика, выступая в качестве современной парадигмы эволюции и являясь теорией самоорганизации сложных систем мира, может дать общие ориентиры для научного поиска, для прогнозирования и моделирования процессов в сложных социальных системах.

Использование синергетических подходов в исследованиях архитектурно-пространственных систем в контексте трех ключевых понятий: диссипации (упорядоченности), флуктуации (колебательных изменений) и бифуркации (необратимые изменения структурной организации), позволяет «изменить представление о причинно-следственных механизмах преобразования одних пространственных систем в другие и рассматривать их не как результат «волевого» решения, обусловленного «исторической необходимостью», а как результат эволюции архитектурно-пространственных систем, обусловленной естественными законами их существования» [1, с. 42]. Это открывает новые подходы для формирования среды обитания по принципам адаптации и упорядоченности, устойчивости состояния и развития, а также регенерации и структурных переходов в другое состояние.

Адаптация и упорядоченность. Все возрастающая динамичность общества, связанная с ускоренным развитием научно-технического прогресса, расширением географии деятельности людей, увеличением миграции и подвижности населения и др. влечет за собой изменения во всех сферах человеческой деятельности, в том числе и в архитектуре при организации искусственной среды обитания. Архитектурное пространство должно соответствовать его функциональному назначению, которое меняется значительно чаще, чем сам архитектурный объект. В связи с этим является актуальным решение проблемы, связанной с моральным старением архитектурных объектов, которое, как правило, происходит раньше их физического старения, жесткие рамки использования таких объектов крайне редко позволяют им реагировать на процессы развития общества. Поэтому большое значение приобретает поиск и разработка способов организации среды обитания за счет изменяемости, гибкости, подвижности архитектурного пространства, где непрерывное во времени преобразование становится одним из видов его существования [2, с. 25].

Адаптируемость как принцип формирования архитектурных объектов позволяет сразу на стадии проектирования закладывать возможности планировочной трансформации на перспективу, чтобы не затрачивать в дальнейшем значительных материальных и временных ресурсов. Основным признаком адаптируемой пространственной среды обитания является гибкость, которая рассматривается, как свойство архитектурной формы адекватно реагировать на изменение образа жизни, как результат взаимодействия двух начал, двух противоречий –

стабильности и изменчивости. Адаптируемый объект, как правило, представляет собой сочетание нескольких составляющих, таких как, постоянная часть сооружения (которая дольше всего используется, остается неизменной и формирует «каркас» – раму, остов, скелет, тело), адаптируемое пространство (в котором протекают изменяющиеся жизненные процессы), изменяемая часть («ткань», включает в себя сменные, обновляемые, мобильные элементы здания, обеспечивающие различного рода изменения в жизни обитателей).

Рассмотрение пространства обитания как живого организма, чутко реагирующего на потребности людей, свидетельствует о необходимости его понимания как изменяющейся искусственной среды, приспособленной к динамической действительности и отвечающей потребностям развития общества. Все это позволит решить существующие в архитектуре проблемы с помощью динамических принципов адаптации пространства к условиям среды обитания. В случае, когда требуется учет многих отличных от обычных условий обитания факторов, при создании среды обитания с большей предпочтительностью используются такие свойства диссипации как адаптация и упорядоченность.

Диссипация характеризует процессы естественной самоорганизации архитектурных образований, их стремление к упорядочиванию. Такие процессы можно наблюдать в городских образованиях, на территории которых происходит естественное формирование неких устойчивых пространственных зон, которые специально никем не создавались, а их появление обусловлено реакцией общей архитектурной системы на внешние факторы (например, исторический квартал, в котором сформировался устойчивый социальный уклад и его упорядоченная пространственная форма, которая, сложившись, может сохраняться десятилетиями) [1, с. 42].

При формировании архитектурных объектов особенно актуально использование принципов их адаптации к условиям среды, которые обуславливают упорядоченность. В основе лежит гипотеза: структура архитектурного объекта, являясь сложно организованным образованием, стремится к определенной «упорядоченности» – возникновению устойчивого структурного состояния. Возникновение таких явлений, как самоорганизация пространственных урбанизированных структур, заставляет обратиться для их описания к моделям, которые используются в других сферах исследовательской деятельности людей – языкознании, физике, химии, биологии [3, с. 64].

Устойчивость состояния и развития. В основе синергетической методологии лежит представление о спектре путей эволюции сложных систем как дорожной карте развития. Это означает неоднозначность будущего, существование моментов неустойчивости, связанных с выбором путей дальнейшего развития, где особую роль человек приобретает в выборе желаемого, благоприятного пути развития в нелинейных ситуациях разветвления путей. В данной ситуации используемые приемы флуктуации рассматриваются как колебательные изменения, отклонение от среднего значения устойчивого состояния системы, когда появляющиеся пространственные структуры имеют отклонения в своем построении от уже утвердившихся устойчивых форм организации, происходят определенного вида структурные изменения.

Проявлением флуктуации могут служить изменения пространственной формы объекта в результате периодических (социальных, сезонных, технологических и других) внешних воздействий. Так, кафе и магазины в летнее время могут занимать пространства улиц, а на городских площадях периодически могут появляться декорации уличных торжеств или устанавливаться временные зрелищные объекты и т.д. – все это характеризует процессы изменения пространственной структуры некой системной целостности, которые не приводят к необратимому ее преобразованию [1, с. 43].

При формировании искусственной среды обитания актуален поиск «объективной» архитектурной системы проектирования, которая может включать несколько этапов, например, на информационном уровне (анализ существующей информации, разработка основной технической идеи и задания на проектирование), на концептуальном (создание архитектурной

концепции объекта, разработка общих принципов композиции и ее развития), на эволюционно-адаптивном (разработка объемно-планировочного решения с учетом эволюции функций) или на реабилитационно-конструктивном уровне (при непредусмотренной эволюцией функции), что позволяет учитывать все возможности изменения требований. В данном случае в архитектуре к трем пространственным измерениям прибавляется так называемое четвертое измерение – время [2, с. 42].

Социальный и экологические подходы к организации пространственной среды обитания объединяют концепции психофизиологического комфорта (предусматривают резервную устойчивость объекта к критическим условиям, изначально заложенную в проект и не предполагающую физических или качественных его изменений), концепцию видеоэкологии (наука о взаимодействии человека с окружающей видимой средой) и концепцию «устойчивого» эко-пространства (соответствующая «устойчивому развитию» цивилизации). Очевидно, что социальные системы, как и любые сложные системы, имеют не один, единственный, а несколько альтернативных путей эволюции, и они определяются спектрами структур-аттракторов социальных сред как сред открытых и нелинейных. Причем изменения социальных сред приводят к перестройке спектров структур-аттракторов, к изменению спектров возможных путей в будущее [4, с. 117].

Экономический подход отталкивается от финансовых возможностей заказчика и связан с масштабными программами государства или различных благотворительных организаций: концепция доступного жилья (основана на государственной программе «доступное жилье», ее целью является создание условий для строительства муниципального жилья, а также реализации программ льготного ипотечного кредитования), концепция социального жилища (предусматривает разработку недорогих архитектурных проектов для бездомных, людей пострадавших в бедствиях, мигрантов и других незащищенных групп населения).

Для повышения энергоэффективности зданий в архитектурной практике используются различные приемы. Так, в традиционной архитектуре они направлены на оптимизацию архитектурных и градостроительных решений, совершенствование конструктивных решений, на сокращение энергопотерь (повышение компактности зданий, минимизация проемов в оболочке зданий, тепловое зонирование, использование буферных пространств, взаимосвязь здания с окружающей средой и др.). Все более возрастает использование технических средств регулирования микроклимата, появляются приемы, ориентированные на эффективное использование энергетического потенциала внешней среды (альтернативных источников) в целях частичного или полного энергообеспечения, причем, преобладают пассивные системы энергоснабжения зданий.

Отмечается все возрастающий интерес к повышению энергоэффективности зданий за счет архитектурно-градостроительных средств, повышения эффективности использования естественного света, привлечения возобновляемых природных источников энергии, позволяющих не только экономить энергию, но и полностью замещать традиционные исчерпываемые источники возобновляемыми. Современные приемы формирования «устойчивого» экопространства связаны с все большим наращиванием арсенала технологий (техническими средствами регулирования микроклимата, совершенствованием систем инженерного обеспечения, конструктивным решением), способствующих повышению энергоэффективности зданий.

Наиболее перспективным классом зданий следует признать энергоактивные здания с возможностью наращивания энергоактивности зданий с течением времени, т.е. возможностью поэтапной модернизации энергетической структуры здания от состояния энергоэкономичности к использованию энергии природной среды пассивными, а затем и активными средствами. Необходимо рассматривать проблему ресурсоминимизации не только в ракурсе сбережения энергоресурсов во время эксплуатации здания (например, за счёт теплоэффективных строительных материалов и автономных саморегулирующихся систем жизнеобеспечения зданий), но и со стороны новых не традиционных планировочных решений с интегра-

цией различных функций в жилище, а также прогнозировать возможные изменения условий эксплуатации.

Регенерация и структурные переходы в другое состояние. Жизнь человека во всех ее проявлениях связана с действием, движением во времени, а его потребности являются главным критерием при создании архитектурных объектов. Поэтому основная проблема в архитектуре – восстановление тесной взаимосвязи архитектурных объектов с реальной действительностью и приспособление их к существующим и, по возможности, к будущим условиям жизни. Несомненно, это потребует разработки комплексного метода проектирования искусственной среды обитания с учетом большого количества влияющих факторов, развивающихся во времени. В этом смысле важно представлять структурно-логическую модель среды обитания человека в системе «человек – среда – объект» на основе взаимодействия трех объективных начал: естественная, искусственная и социальная среды обитания [5, с. 343].

Формирование изменяемого архитектурного пространства и архитектурных объектов невозможно без учета эволюции изменений их структуры во времени и в процессе движения, что потребует приведения всех составляющих его элементов в тщательно продуманное динамическое равновесие. В связи с этим определение требований к изменяющимся зданиям или сооружениям невозможно провести, не опираясь на физическую сущность динамической адаптации и ее изменения во времени. Как известно, основными формами существования материи являются взаимосвязанные с движущейся материей время и пространство, которые проявляются в движении.

Влияние различных факторов сопровождается существенными противоречиями, вытекающими из особенностей формирования изменяемых архитектурных объектов, в связи с этим возникают сложности в оценке и выборе оптимального варианта. Эти трудности объясняются и тем, что любое проектируемое здание или сооружение представляет собой сложную систему взаимосвязанных элементов, оцениваемых по различным критериям оптимальности. Изменяемые архитектурные объекты также являются системой взаимосвязанных элементов с разнохарактерными функциональными, технико-экономическими и эстетическими требованиями, удовлетворение которых необходимо для обеспечения оперативной и качественной динамической адаптации к меняющимся условиям среды. В зависимости от характера изменений и принципа формирования адаптируемого пространства выявляются следующие направления развития динамической архитектуры: эволюционно-адаптивная, мобильная и трансформативная архитектура.

Эволюционно-адаптивная архитектура (от терминов «эволюция» – развитие и «адаптация» – приспособление), включает здания и сооружения, в которых предусмотрена возможность их развития и приспособления к возникающим с течением времени новым требованиям, условиям, путём их изменения, расширения и т.д. Возможность переоборудования пространства (изменения планировки, замены и прокладки новых инженерных сетей, перенос вертикальных коммуникаций) позволяет адаптировать пространство к изменениям среды без лишнего расходования ресурсов [2, с. 25].

Мобильная архитектура (от термина «мобильный», обозначающий подвижность, способность к быстрому передвижению, действию), включает движущиеся и передвижные здания и сооружения, а также сборно-разборные. Причем, мобильность рассматривается, как оптимизация процесса сборки, экономии времени и ресурсов на возведение здания (обеспечивается высокая степень эластичности сооружения и минимальные затраты на демонтаж), а также мобильность, как частичная или полная автономность и независимость жилища от места размещения и источников энергоресурсов (системы «умный дом», автоматизированные системы отопления и кондиционирования, использование возобновляемых источников энергии) – такие сооружения ориентированы на минимальное потребление энергии.

Трансформативная архитектура (от латинского – «изменение, превращение»), включает здания, в которых предусмотрено изменение качественных и количественных характеристик

с помощью подвижных элементов с возможностью обратимости этих изменений. Экономия и рациональное использование пространственных ресурсов осуществляется за счёт гибкой, универсальной планировки и изменения физических размеров пространства.

Проведение оценки изменяемых архитектурных объектов представляется сложным – такая система отличается большой сложностью компонентов и определяется многомерностью, многосвязностью, многокритериальностью и многоплановостью признаков. Поэтому для выявления особенностей изменения архитектурных объектов с позиций статики и динамики необходимо вопросы их оценки рассматривать с учетом осуществляемых в них процессов на всех стадиях их существования и эволюции функции под влиянием определенных факторов [2, с. 41]:

– развитие функции, т.е. функционально-пространственные факторы, отражающие всю группу социальных факторов и характеризующие функционально-пространственную организацию динамической адаптации архитектурного объекта и ее развертывание во времени;

– развитие трансформативности и мобильности, т.е. техническое обеспечение динамической адаптации архитектурных объектов, обусловленной технико-экономическими факторами и характеризующейся принятыми конструктивными решениями.

Перечисленные подходы соответствуют бифуркации, подразумевающей некоторую пороговую точку «раздвоения», при которой система находится в двух состояниях одновременно и способна перейти в новое структурное качество, которое невозможно предугадать заранее. В архитектуре бифуркационные состояния соотносятся с моментами развития структуры объекта, когда кардинально изменяются внешние факторы, определяющие его предшествующее развитие [1, с. 44]. Практически любое развивающееся городское образование находится в состоянии постоянного изменения своей пространственной структуры. Здесь исследовательский интерес представляет фиксация его флуктуационных изменений (фрагментарная замена застройки, реконструкция зданий в составе градостроительных образований и т.д.) или бифуркационные структурные «переходы» в новое качество (новые программы застройки после крупных пожаров или военных разрушений, вложение больших инвестиций в капитальное строительство и т.д.).

В настоящий бифуркационный период у общества нет времени на медленный многовековой путь к созданию оптимальной комфортной среды обитания. Для сокращения пути эволюции целесообразно определить подходы к определению спектров структур-аттракторов сложных социальных сред для резонансного возбуждения структуры, близкие к аттракторам эволюции. Существует ограниченный набор способов объединения, способов построения сложного эволюционного целого – чтобы возникла единая сложная структура, должна быть определенная степень перекрытия входящих в нее более простых структур [3, с. 63].

По представлениям классической теории систем явления, при которых одна случайно сложившаяся структура (неупорядоченная) в определенный момент своего развития приходит к некому порядку (упорядоченности) кажутся маловероятными. Однако эти процессы, непрерывно происходящие в живой и неживой природе, являются типичным явлением и в архитектуре, обусловленные детерминированным характером архитектурной деятельности и проявлением свойств пространственных архетипов формирования «оболочек обитания» [1, 43-44]. В практике существуют пространственные системы поселений, которые разрастаются спонтанно, путем естественного прироста все новых и новых таких оболочек (подобно таким природным системам как пчелиные соты, лишайники, мхи, кораллы и другие).

Рассмотренные способы использования системного подхода для формирования архитектурного пространства позволяет учесть все альтернативные точки зрения и составить более гибкую систему. Преимущество теории самоорганизации заключается в том, что ее понятийный и методологический аппараты имеют серьезный потенциал с точки зрения универсальности и конвертируемости исходных данных и результатов из одной научной сферы в другую [6, электронный ресурс]. В данном случае новая парадигма описания пространствен-

ного построения архитектурных объектов, объединяющая новые средства и методы исследования структурных закономерностей архитектурного пространства в условиях развития современных компьютерных технологий выявляет направление в архитектурной науке – «структурная архитектоника».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубенков М.В. Структурные закономерности архитектурного формообразования. М.: Архитектура-С, 2006. С. 42-44.
2. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: Архитектура-С, 2005. С. 25-29, 41-42.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика и принципы коэволюции сложных систем // Вопросы философии. 1997. № 3. С. 62-65.
4. Карасев Н.Н. Мобильные здания и комплексы на основе открытых конструктивных систем. М.: Стройиздат, 1987. С. 117.
5. Сапрыкина Н.А. Моделирование пространственной среды обитания: новые подходы // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ: труды МАРХИ. Материалы науч.-практ. конф. М.: Архитектура-С, 2009. С. 343-347.
6. Жуйков С. Синергетический подход к изучению архитектурного процесса [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.taby27.ru/studentam_aspirantam/aspirant/filosofiya-nauki.-arxitekture-dizajnu-dpi/sinergetica-zhujkov.html.

Сапрыкина Наталия Алексеевна –
доктор архитектуры, профессор,
Заслуженный архитектор РФ,
Почетный член РААСН,
заведующий кафедрой «Основы
архитектурного проектирования»
Московского архитектурного института

Natalija A. Saprykina –
Doctor of Architecture, Professor,
Honored architect of the Russian Federation,
Honorary member of the RAASN,
Head of Department «Fundamentals
of Architectural Design»
Moscow Institute of Architecture

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621

Т.Н. Андрюхина, А.А. Китаев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ПО CAD-МОДЕЛИ

При повышении требований к качеству изделий становится проблема обеспечения повышенной точности их геометрических параметров. Ее решению способствует использование ультрасовременного программного обеспечения и таких средств измерения, как лазерные трекеры. Рассмотрен принцип работы лазерных трекеров, представлен метод получения CAD-модели и примеры сравнения реальных точек с базовой CAD-моделью. Использование трекеров позволяет сократить сроки проведения контрольно-измерительных работ, значительно сократить время, снизить затраты на проектирование и изготовление новых объектов.

Отклонения, отклонения формы, CAD-модель, лазерный трекер

T.N. Andriukhina, A.A. Kitaev

THE VARIANCE OF THE SURFACE FOR CAD-MODELS

With increasing requirements to the quality of the products becomes the problem of providing increased accuracy of their geometric parameters. Its solution is facilitated by the use state of the art software and measurement tools like laser trackers. The article describes the principle of operation of a laser tracker presents a method of producing CAD models and examples of the comparison of the real points with the base CAD model. The use of trackers allows to reduce terms of carrying out test and measurement work, to reduce time, lower costs of design and manufacture of new objects.

Deflection, deflection shape, CAD models, laser tracker

Усложнение формы изделий и, соответственно, формирующих их поверхностей, повышение требований к качеству привели к тому, что контроль геометрических параметров различных изделий с использованием устаревших средств не обеспечивает требуемой точности и часто сопровождается потерями во времени и большими затратами. Особенно актуальной проблема обеспечения повышенной точности геометрических параметров изделий стала для космической, авиационной и автомобильной промышленности.

В настоящее время предприятия космической отрасли все чаще для получения информации о геометрических параметрах изделия используют не координатно-измерительные машины, а лазерные координатно-измерительные системы: лазерные трекеры и лазерные радары.

Впервые лазерные трекеры были представлены в конце 1980-х годов. Как следует из названия, лазерный трекер измеряет трехмерные координаты, отслеживая лазерным лучом световозвращающий отражатель, который приводится в соприкосновение с интересующим

нас объектом. Некоторые лазерные трекеры способны измерять параметры объектов, отстоящих от них на расстоянии до восьмидесяти метров, точность определения точки до пяти тысячных миллиметра на расстояниях до нескольких метров. Трекеры собирают данные с высокой скоростью и нуждаются только в одном операторе. Они предлагают более совершенные методы координатных измерений и делают возможной качественно новую организацию технологических процессов [1].

До изобретения лазерных трекеров большинство дистанционных измерений выполнялись с помощью теодолитов, измерительных станций, шарнирно-сочлененных контрольно-измерительных машин и фотограмметрических систем. Благодаря своей высокой точности, скорости и простоте в использовании лазерные трекеры заменили многие из этих более ранних систем.

Принцип работы лазерного трекера заключается в измерениях двух углов и расстояния (рис. 1). Трекер посылает лазерный луч к световозвращающему отражателю, который приводится в соприкосновение с интересующим нас объектом. Луч, отраженный от цели, возвращается по тому же пути и принимается трекером в той самой точке, откуда он был испущен. Возвращающие отражатели отличаются, но наиболее популярен ретрорефлектор, вмонтированный в сферу. Часть отраженного рефлектором света поступает в измеритель расстояний, который вычисляет расстояние от трекера до рефлектора. Измеритель расстояний может быть двух типов, интерферометр или измеритель абсолютных расстояний (absolute distance meter, ADM).



Рис. 1. Принцип работы лазерного трекера

Лазерный трекер содержит два угловых энкодера. Эти устройства измеряют угловую ориентацию двух механических осей трекера: оси азимута и оси высоты. Углов, полученных от энкодеров, и расстояния от измерителя расстояний достаточно для точного определения положения центра ретрорефлектора. Центр ретрорефлектора находится всегда на фиксированном расстоянии от измеряемой поверхности, координаты измеряемых точек или поверхностей легко вычисляются.

Измерение расстояний, важная функция лазерного трекера, может быть либо инкрементным, либо абсолютным. Инкрементное измерение расстояний осуществляется с помощью интерферометра и стабилизированного по частоте гелий-неонного лазера. Свет лазера

разделяется на два луча. Один направляется прямо в интерферометр, другой испускается трекером, отражается от ретрорефлектора и на обратном пути поступает в интерферометр. Внутри интерферометра два луча интерферируют, следствием чего является циклическое изменение амплитуды электромагнитной волны всякий раз, когда ретрорефлектор приближается или удаляется от трекера на расстояние, равное четверти длины волны ($\sim 0,0158$ микрон). Электронная схема подсчитывает количество циклических изменений (известное как «счет полос») для вычисления пройденного светом расстояния.

Оператор помещает ретрорефлектор в исходную позицию на корпусе трекера и приводит показания интерферометра к известному расстоянию начальной позиции. По мере того, как оператор перемещает ретрорефлектор в необходимое положение, лазерный луч следует за ним, оставаясь привязанным к центру ретрорефлектора.

Этот метод работает до тех пор, пока лазерный луч от трекера до ретрорефлектора не встречает препятствия на своем пути. Но если луч обрывается, то показания счетчика теряют связь с положением ретрорефлектора и расстояние до него неизвестно. Когда это случается, трекер выдает сигнал об ошибке. Оператор должен затем возвратить ретрорефлектор в опорную точку, такую как исходная позиция на корпусе трекера.

Одно из основных направлений использования лазерных трекеров – определение отклонений формы объектов. Контроль формы сложных криволинейных поверхностей осуществляется методом сравнения измеренных данных с исходной CAD-моделью, причем она может быть передана из любой CAD-системы. Данные, полученные при измерениях лазерным трекером, представляют собой массив точек, измеренных на поверхности объекта измерений в зонах, подлежащих контролю. Так же при необходимости измеряются «базы», так называемые поверхности объекта измерений, не подлежащие контролю, по которым далее происходит совмещение измеренных данных с CAD-моделью. Обычно в качестве таких баз используются технологические базы, т.е. поверхности, используемые для определения положения объекта в процессе изготовления или ремонта.

Наиболее распространенный метод для совмещения массива точек и поверхностей CAD-модели это перемещение по методу наименьших квадратов (МНК). Суть такого перемещения в том, что программа, в которой происходит анализ, рассчитывает такое положение «облака точек» относительно исходной модели, при котором сумма квадратов отклонений всех точек от заданных поверхностей модели будет минимальна. Если же производится совмещение по базам, то для расчета положения по МНК выбираются только те точки из общего облака, которые измерены на базовых поверхностях, и соответствующие им поверхности на CAD-модели. В результате происходит совмещение облака точек и CAD-модели. Все результаты контроля возможно визуализировать и вывести в электронном и в бумажном виде. Этот метод идеально подходит для контроля формообразующих поверхностей объектов сложной формы [2].

На чертежах форму деталей задают идеально точными номинальными поверхностями, плоскостями, профилями. Изготовленные детали имеют реальные поверхности, плоскости, профили, которые отличаются от номинальных поверхностей отклонениями формы и расположения, а также шероховатостью и волнистостью.

Для обеспечения правильной функции машин. Требуемой долговечности деталей и их монтажной взаимозаменяемости необходимо, чтобы конструктор установил допуски формы и расположения поверхностей и указал их на рабочих чертежах деталей так же, как и допуски размеров [3].

Для определения отклонений поверхности реального объекта с помощью программного обеспечения первоначально строится базовая CAD модель объекта. Построение прилегающей поверхности выполняется с помощью проведения измерений координат контрольных точек с использованием лазерного трекера.

Прилегающая поверхность имеет форму номинальной поверхности, соприкасается с реальной поверхностью, расположена вне материала так, что расстояние до наиболее уда-

ленной точки реальной поверхности минимально: расстояние измеряется по нормали и прилегающей поверхности.

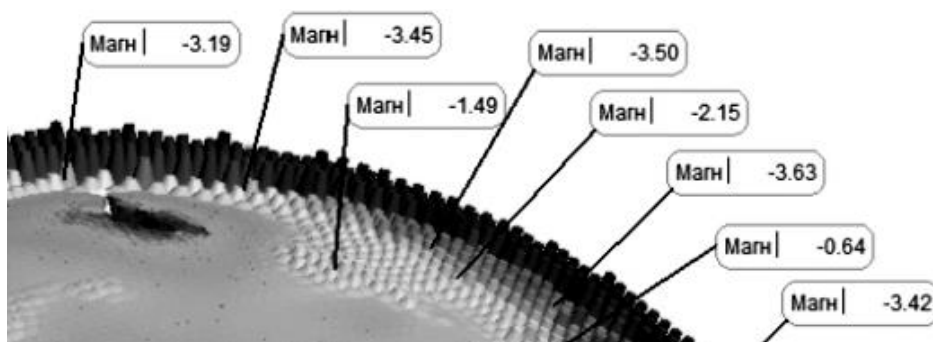


Рис. 2. Отклонения измеренных точек от CAD-модели

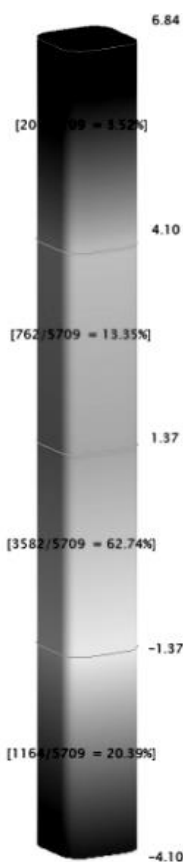


Рис. 3. Векторные схемы при определении отклонений формы

На рис. 2 представлены результаты измерений отклонений измеренных точек с помощью лазерного трекера MV-224. На поверхности объекта для более точного получения реальной поверхности измеряется, в зависимости от его размеров и требуемой точности результатов измерений от нескольких десятков до нескольких тысяч точек.

С помощью программного обеспечения Spatial Analyzer, входящего в перечень сопровождающих программ лазерных трекеров, точки сравниваются с базовой CAD моделью. Результаты сравнения генерируются в виде цветной графической сетки (рис. 2) и векторных схем (рис. 3) на которых положительные значения отклонений (синие) обозначают вогнутости, а отрицательные (красные) – выпуклости. Степень отклонения определяется по шкале справа. Также даны выноски со значениями отклонений некоторых точек.

Отклонения измеренных точек от CAD – модели в Spatial Analyzer выделены цветовым спектром: зеленый – отклонения в пределах нормы, от темно-синего до красного – отклонения формы имеют значительную величину, следовательно, необходима дополнительная обработка исследуемой поверхности.

Таким образом, использование лазерных трекеров для бесконтактного съема информации позволяет значительно сократить сроки, необходимые для достижения высокой точности проведения контрольно-измерительных работ по определению отклонений поверхности объектов измерений, а также значительно сократить время и снизить затраты на проектирование и изготовление новых объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.metrologi.ru> Лазерные трекеры.
2. <http://www.utse.ru> Координатно-измерительная техника для контроля точности формообразующих деталей оснастки.
3. ГОСТ 10356 Отклонения формы и расположения поверхностей. Основные определения. Предельные отклонения.

Андрюхина Татьяна Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы» Самарского государственного технического университета

Tatyana N. Andriukhina – associate professor of department of Automated machine tool and tooling systems Samara State Technical University

Китаев Александр Александрович – инженер-конструктор РКЦ «Прогресс»

Aleksandr A. Kitaev – engineer RCC «Progress»

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 681.5

С.А. Игнатьев, Н.А. Казинский

**МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ
НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ ПАБ-350
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНЫХ ДАННЫХ**

Рассматривается вопрос контроля качества обработки на токарных станках ПАБ-350 по геометрическим параметрам точности деталей и динамическим характеристикам в рамках системы мониторинга.

Токарная обработка, контроль точности деталей, динамические характеристики станка, экспертные данные

S.A. Ignatyev, N.A. Kazinsky

**MONITORING OF QUALITY OF PROCESSING OF DETAILS
ON PAB-350 LATHES WITH USE OF EXPERT DATA**

The question of quality control of processing on PAB-350 lathes in geometrical parameters of accuracy of details and dynamic characteristics within system of monitoring is considered.

Turning, control of accuracy of details, dynamic characteristics of the machine, expert data

Весьма важным для предприятий является обеспечение соответствующего качества производимых изделий, их технического уровня при сохранении конкурентоспособной цены. Для реализации данной цели необходимо повышение качества и производительности механической обработки деталей в условиях многономенклатурного производства на основе автоматизированной оценки качества технологического процесса (ТП) и станков по динамическим характеристикам для оперативной корректировки ТП непрерывно в условиях реального времени. Указанное достигается применением систем мониторинга ТП [1-4].

В рамках поставленной цели решается ряд задач, связанных с анализом методов создания ТП применительно к условиям многономенклатурного производства, разработкой мето-

дов автоматизированной оценки геометрической точности деталей и динамических характеристик станков, выбор оптимальных параметров управления ТП на основе полученных экспертных оценок связи точности обработки с изменением уровня вибрации станка при различных значениях параметров режима резания, сформированных по результатам обработки экспериментальных данных при исследовании вибраций в зависимости от изменения основных режимов резания, разработкой программного обеспечения для внедрения системы SCADA, разработка управления базами данных для работы со SCADA, алгоритма оперативной корректировки режима резания на основании этих данных.

Для реализации управления процессом резания, близким к оптимальному с точки зрения качества обработанных деталей и производительности, необходимо иметь информацию о каком-либо определяющем параметре V , связанном с процессом резания. В этом случае появляется возможность выявления закономерности его изменения во взаимосвязи с изменением режима резания и качества обработки. Далее, установив критическое значение контролируемого параметра $V_{кр}$, при котором качество обработки становится недопустимым, формируем критерий разладки ТП в виде правила

$$V \leq V_{кр},$$

т.е. значение контролируемого параметра не должно превышать его критического значения, установленного в результате обучающего эксперимента.

Подобные оценки $V_{кр}$ могут быть получены в результате серии экспериментов для различных материалов обрабатываемого инструмента и обрабатываемой детали. Следовательно, может быть сформирована база данных (БД) экспертной системы поддержки принятия решения (ЭСППР) для обслуживающего персонала станков (наладчиков и операторов), обращаясь к которой они могут оперативно изменять режим резания путем ввода коррекции в управляющую программу.

Из результатов исследований, выполненных в СГТУ, известно, что измерение вибраций в динамической системе (ДС) станка позволяет получить достаточно достоверную информацию о процессе резания, например, если после специальной математической обработки результатов измерений вибраций на токарном станке ПАБ-350 вычислить запас устойчивости ДС [7].

Следовательно, встраивая датчики вибрации в систему ЧПУ любых металлорежущих станков, можно говорить об управлении процессом резания в режиме реального времени, а также предотвращать поломки оборудования и инструмента за счет своевременной реакции при резком изменении сигналов из зоны резания. Кроме того, появляется возможность ускоренным методом назначать оптимальные режимы резания по критерию максимума запаса устойчивости ДС. Экспериментальный образец микропроцессорного прибора контроля (МПК) (рис. 1) реализует управление циклом обработки детали по уровню вибрации в ДС станка ПАБ-350, а также обеспечивает сбор информации для системы мониторинга ТП и коррекцию цикла обработки детали по информации из системы мониторинга. Информация, передаваемая в СМТП, включает информацию об изменении запаса устойчивости ДС (вычисляется в МПК). Для измерения вибрации мы используем датчик ДН-3М1, сигнал с которого через виброизмеритель ВШВ-003М3 передается для обработки в МПК. Вибродатчик устанавливается на шпинделе или резцовом блоке станка на магнитном основании (рис. 2 б). Все остальные датчики являются штатными для данного станка, и поэтому дополнительного описания по ним не требуется.

Для построения БД по процессу резания выполняются измерения вибраций и вычисляется запас устойчивости ДС на различных подачах инструмента и резцами из различных материалов [7]. По результатам измерений точности обработки колец подшипников, в частности значения волнистости дорожки качения, и сопоставления её с запасом устойчивости ДС экспертами устанавливается критическое значение запаса устойчивости ДС ($V_{кр}$), при кото-

ром значение волнистости становится недопустимым. Это позволяет сформировать производственное правило по форме «если..., то», которое в данном случае выглядит следующим образом: «если запас устойчивости ДС близок к $V_{кр}$, то следует снизить подачу инструмента».

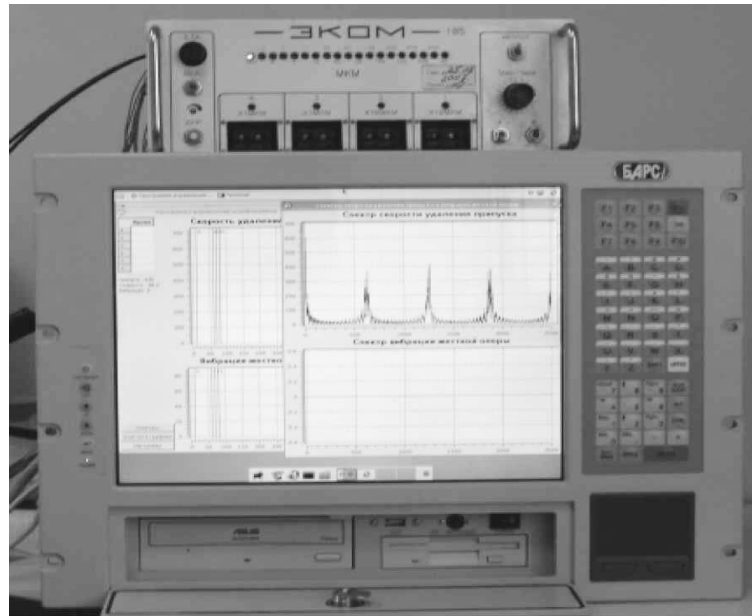


Рис. 1. Передняя панель МПК



а



б

Рис. 2. Общий вид станка ПАБ-350 (а) и размещение датчика вибраций на шпинделе (б)

Выполняя аналогичные измерения при точении различных материалов и различными резцами, с помощью экспертов можно сформировать базу знаний (БЗ) в виде набора производственных правил с рекомендациями, т.е. получить основы для построения ЭСППР.

На практике наладчик станка с ЧПУ или оператор периодически получают информацию о точности обработки деталей из измерительной лаборатории и о запасе устойчивости ДС от МПК. При снижении запаса устойчивости наладчик изменяет режим обработки, вводя коррекцию в систему ЧПУ.

Таким образом, использование ЭСППР позволяет оперативно давать обслуживающему персоналу рекомендации по устранению разладки ТП, что позволяет не допускать появления бракованных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 560 с.
2. Проников А.С. Программный метод испытаний металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1985. 288 с.
3. Пуш А.В. Моделирование и мониторинг станков станочных систем // СТИН. 2000. № 9. С. 12-20.
4. Игнатъев С.А., Горбунов В.В. Игнатъев А.А. Мониторинг технологического процесса как элемент системы управления качеством продукции. Саратов: СГТУ, 2009. 160 с.
5. Мониторинг станков и процессов шлифования в подшипниковом производстве / А.А. Игнатъев, М.В. Виноградов, В.В. Горбунов и др. Саратов: СГТУ, 2004. 124 с.
6. Васин М.П., Игнатъев А.А. Программное обеспечение микропроцессорного прибора многопараметрового активного контроля // Перспективные направления развития технологии машиностроения: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2005. С. 72-76.
7. Игнатъев А.А., Коновалов В.В., Игнатъев С.А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических моделей. Саратов: СГТУ, 2014. 92 с.

Игнатъев Станислав Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Stanislav A. Ignatyev – Doctor of Engineering, professor of Automation, Management, Mechatronics chair Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Казинский Никита Алексеевич – аспирант кафедры «Автоматизация, управление, мехатроника» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Nikita A. Kazinsky – Graduate student of Automation, Management, Mechatronics chair Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 921.91.01

М.О. Кирюшина, А.А. Игнатъев

**НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА
ВЫСОКОСКОРОСТНОГО МАЯТНИКОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ**

Предложена модель, описывающая процесс высокоскоростного маятникового фрезерования. Рассмотрены характерные режимы поведения описанной системы при различных значениях параметров.

Высокоскоростное маятниковое фрезерование, нелинейные изохронные колебания, фазовые портреты

M.O. Kiryushina, A.A. Ignatyev

NONLINEAR MODEL OF HIGH SPEED PENDULUM MILLING PROCESS

The model of high speed pendulum milling process is suggested. Characteristic behavior of this system with different values of the control parameters are considered.

High speed pendulum milling, nonlinear isochronic oscillations, face portraits

В настоящее время всё большее распространение среди методов механообработки получает высокоскоростная обработка резанием (ВСО). В отличие от резания с традиционными скоростями при ВСО удаётся достичь существенного снижения сил резания за счёт перехода от пластического деформирования материала заготовки к хрупкому разрушению. Однако, сам механизм явлений, происходящих в зоне резания при ВСО, ещё не достаточно изучен. А имеющиеся традиционные модели процесса резания не учитывают всех особенностей ВСО. В последнее время ряд исследователей для изучения процесса ВСО стали использовать моделирование ВСО, учитывая нелинейный характер данного процесса [1, 2]. Достоинством такого подхода является то, что методы решения нелинейных уравнений достаточно хорошо разработаны такими учёными, как Заславский Г.М., Ланда П.С., Трубецков Д.И. и другие представители отечественной школы.

Одной из актуальных проблем, возникающих при ВСО труднообрабатываемых материалов, является повышение эффективности и качества обработанной поверхности при маятниковом фрезеровании закаленных сталей. При данной обработке существует проблема управления колебаниями, возникающими из-за действия сил резания. Таким образом, целью проводимого исследования является создание математической модели механизма возникновения колебаний при маятниковом фрезеровании труднообрабатываемых материалов для оптимизации процесса резания по величине шероховатости обработанной поверхности.

При процессе ВСО маятникового фрезерования система подвергается воздействию факторов, которые необходимо учитывать: внешние воздействия, взаимодействия между элементами системы, диссипация энергии. Также возможны наличие в системе неустановившихся колебаний и переход к хаосу. В данной работе движение инструмента было принято за движение материальной точки по параболоиду вращения, так как это наиболее точно подходит для описания движения инструмента при маятниковом фрезеровании. Для изучения рассматриваемой нами системы станок-приспособление-инструмент-деталь была выбрана система с потенциальной энергией вида (1).

$$W(x) = ax^2 + \frac{b}{x^2}, \quad (1)$$

где a и b – положительные константы; x – обобщенная координата.

График зависимости $W(x)$ приведен на рис. 1. Вообще говоря, имеются две симметричные потенциальные ямы, расположенные при $x > 0$ и $x < 0$. В дальнейшем мы без ограничения общности будем рассматривать положительные значения координаты.

В общем виде уравнение нелинейного осциллятора под внешним гармоническим воздействием выглядит следующим образом [3-5]:

$$\ddot{x} + \gamma \dot{x} + \frac{dW}{dx} = f \cos(\omega t), \quad (2)$$

где γ – параметр диссипации; ω и f задают частоту и амплитуду воздействия; $W(x)$ – потенциальная функция.

Рассмотрим автономный консервативный осциллятор

$$\ddot{x} + \frac{dW}{dx} = 0. \quad (3)$$

Точное решение $x(t)$ уравнения (2) получено в виде [5]:

$$x^2 = x_0^2 + \frac{E - W_{\min}}{2a} + \frac{\sqrt{E^2 - W_{\min}^2}}{2a} \sin \omega_0 t, \quad (4)$$

где x_0 – положение равновесия рассматриваемой нелинейной системы; E – полная энергия колебаний; W_{\min} – потенциальная энергия системы в точке x_0 ; ω_0 – основная частота колебаний.

Как известно, нелинейный консервативный осциллятор относится к числу интегрируемых гамильтоновых систем: он допускает переход к новым переменным «действие – угол» (I, θ), в которых уравнения разрешаются тривиальным образом [6-9]. Выражается решение $x(t)$ в переменных «действие – угол»:

$$x^2 = x_0^2 + \frac{4I}{\omega_0} + \frac{4}{\omega_0^2} \sqrt{\omega_0^2 I^2 + 2\omega_0 W_{\min} I} \sin(\theta - \theta_0). \quad (5)$$

На рис. 2 приведены зависимости $x(\theta)$, построенные согласно формуле (5) при различных значениях I . Видно, что колебания являются ангармоническими, но в то же время изохронными (период колебаний не зависит от частоты). С ростом I нелинейный характер колебаний проявляется все сильнее и сильнее.

Обычно (например, для линейного осциллятора) резонансные кривые представляют в виде зависимостей амплитуды вынужденных колебаний от частоты [3, 4]. Однако при исследовании резонанса в нелинейной системе возникает вопрос, что именно считать амплитудой колебаний. Если в случае слабонелинейного осциллятора в качестве такой величины можно взять максимальное отклонение переменной (см., например, [5]), в данном случае такой подход неприменим, поскольку временная реализация может носить достаточно сложный характер, например, на одном периоде колебаний может укладываться несколько максимумов различной амплитуды. Представляется разумным в качестве величины, характеризующей амплитуду (а точнее, энергию) колебаний, выбрать переменную действия I и построить резонансные кривые в виде зависимостей «действие – частота».

На рис. 3 представлена резонансная кривая при значении внешней вынуждающей силы $f = 3$. Как известно [3-5], в линейной системе резонанс возникает при совпадении собственной частоты колебаний осциллятора ω_0 и частоты воздействия. Однако в случае нелинейного осциллятора резонанс будет иметь место также при выполнении соотношения между частотами вида $m \omega_0 = k \omega$, где m и k – целые числа. Наиболее важными из них являются резонансы, возникающие при $k = 1$ (резонанс на субгармонике частоты ω) и при $m = 1$ (резонанс на высшей гармонике частоты ω , называемый также супергармоническим или ультрагармоническим).

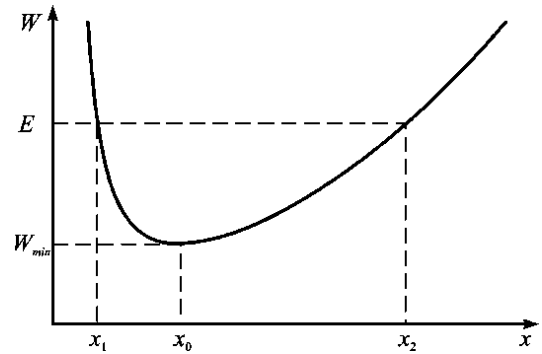


Рис. 1. Форма потенциальной ямы (1) нелинейного осциллятора

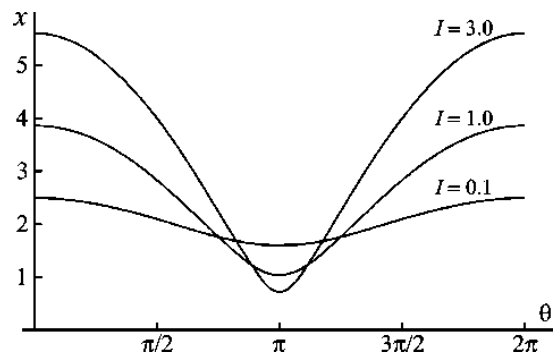


Рис. 2. Зависимости x от θ при различных значениях I и фиксированных значениях параметров $a = 0,125, b = 2$

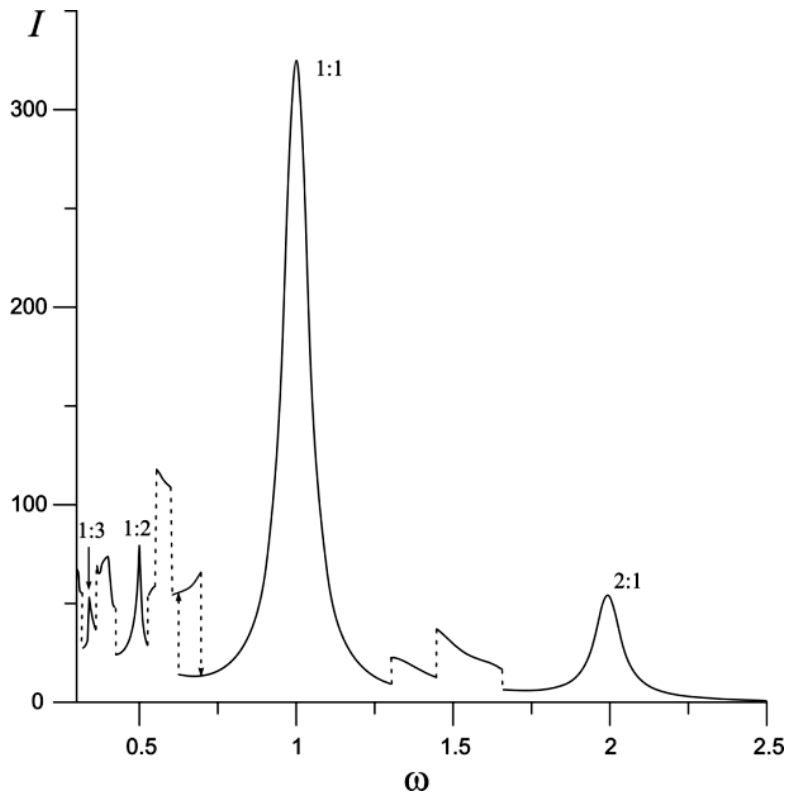


Рис. 3. Резонансная кривая осциллятора с потенциальной функцией (1). Амплитуда внешней силы $f = 3$

На резонансной кривой, представленной на рис. 3, четко виден основной резонанс, наблюдаемый в системе при $\omega = 1$, а также резонансы на гармониках и субгармониках, например 1:3, 1:2, 2:1. Отметим, что характерный для неизохронных осцилляторов наклон резонансных кривых не наблюдается.

Кроме того, имеют место многочисленные скачкообразные изменения величины I , показанные на рис. 3 пунктирными линиями. Анализ временных реализаций и фазовых портретов показал, что эти переходы в основном связаны с бифуркациями удвоения периода.

На рис. 4 представлены зависимости координаты от времени и фазовые портреты, иллюстрирующие бифуркацию удвоения периода, которая происходит на базе резонанса 1:3.

Как видно из рис. 4 а, фазовая траектория представляет собой замкнутую орбиту (цикл), причем за один период колебаний траектория совершает три оборота. Соответственно, зависимость $x(t)$ имеет три максимума на одном периоде колебаний. На рис. 4 б хорошо видно, как трансформируются временная реализация и фазовый портрет при бифуркации удвоения периода. Теперь на одном периоде колебаний появляется уже шесть максимумов переменной x , что соответствует шести петлям на фазовом портрете.

Аналогичное поведение наблюдается и при резонансе 1:2.

Рассмотрим, как выглядят временные реализации и фазовые портреты в случае основного резонанса. На рис. 5 представлены зависимости координаты и импульса от времени и фазовый портрет в случае совпадения собственной частоты колебаний с частотой вынуждающей силы. Поскольку в уравнение (5) введена диссипация, неограниченного нарастания колебаний в системе не происходит. Зависимости координаты и импульса от времени являются периодическими, хотя и носят явно ангармонический характер, напоминая, скорее, релаксационные колебания с участками быстрых и медленных движений. Фазовый портрет осциллятора в случае основного резонанса представляет собой цикл периода один и является симметричным относительно горизонтальной оси.

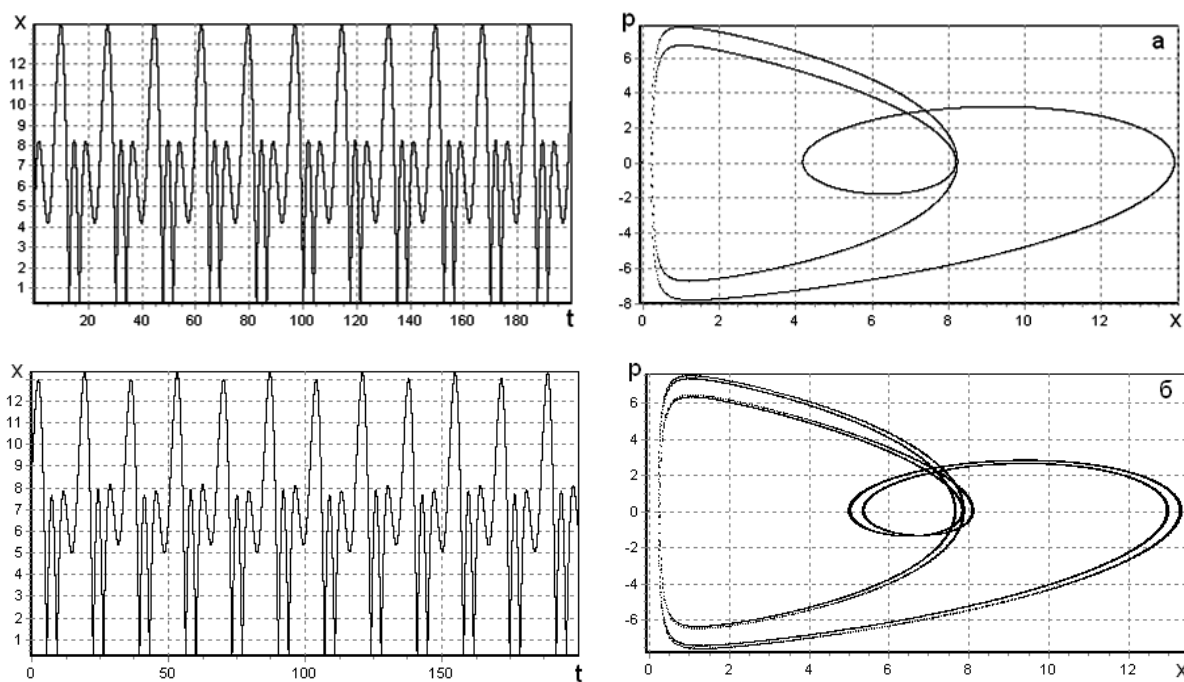


Рис. 4. Временные реализации и фазовые портреты при бифуркации удвоения периода на базе резонанса 1:3. Амплитуда внешней силы $f = 3$, частоты внешнего воздействия: $\omega = 0,36$ (а), $\omega = 0,371$ (б)

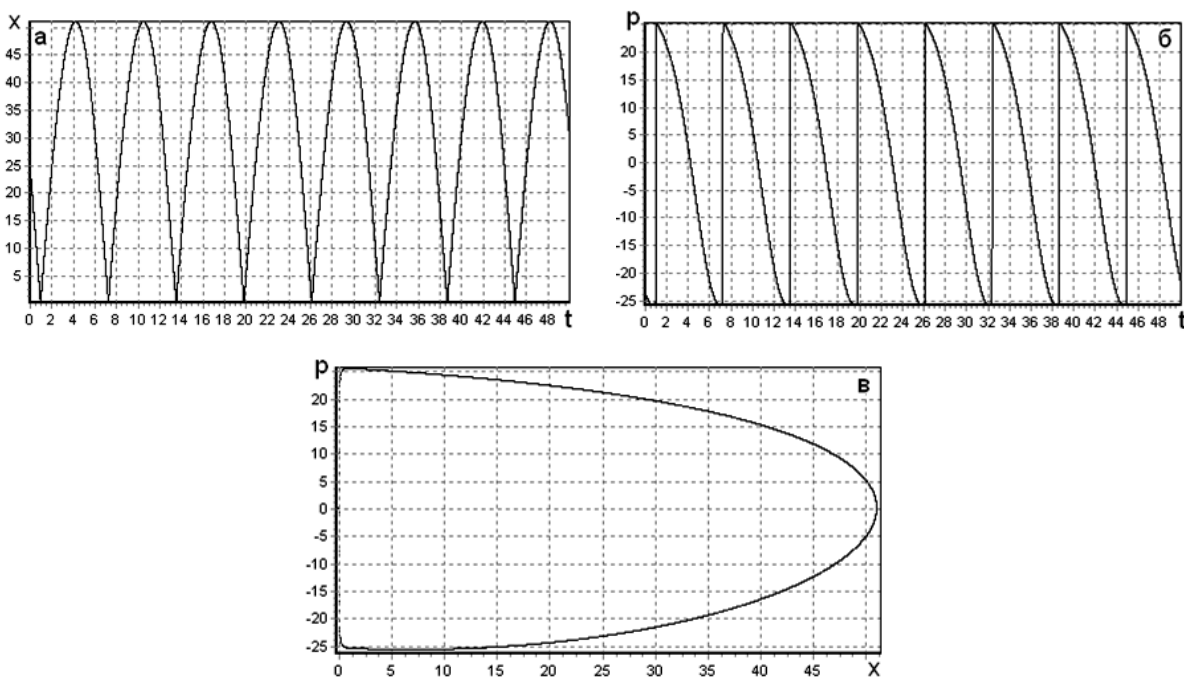


Рис. 5. Зависимость координаты (а) и импульса (б) от времени и проекция фазового портрета (в) в случае основного резонанса. Значение амплитуды внешней силы $f = 3$, значение частоты $\omega = 1$

Таким образом, в приближении выбранной нелинейной модели можно сказать, что при различных режимах резания и соответственно различных силах, действующих на систему, её поведение качественно не изменяется. Это позволяет сделать вывод о возможности получить стабильную величину шероховатости обработанной поверхности при ВСО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Francis C. Moon, Tamas Kalmar-Nagy. Nonlinear models for complex dynamics in cutting materials. The royal society, 2001.
2. Гладун А.Д., Вишенкова О.В. Волновая теория высокоскоростных режимов обработки материалов резанием // Письма в ЖТФ. 2005.
3. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. М.: Наука, 1984.
4. Ланда П.С. Нелинейные колебания и волны. М.: Наука. Физматлит, 1997.
5. Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. Нелинейные колебания. М.: Физматлит, 2002.
6. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1987.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. М.: Наука, 1973.
8. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука, 1984.
9. Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. М.: УРСС, 2001.

Кирюшина Марина Олеговна –
аспирант
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Kiryushina Marina –
aspirant
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Игнатьев Александр Анатольевич –
доктор технических наук, профессор
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Ignatyev Aleksandr –
Prof. Dr. in Engineering,
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 621.878.4

В.В. Минин, С.Ю. Гуськов

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ
ЗАХВАТА МАЛОГАБАРИТНОГО ПОГРУЗЧИКА
НА ЖЕСТКОСТЬ ДЛИННОМЕРНОГО ГРУЗА**

Представлены результаты оценки влияния усилия зажатия в захвате малогабаритного погрузчика на жесткость длинномерного груза. Сформирована расчетная схема системы «захват погрузчика – длинномерный груз» и разработана её математическая модель. Длинномерный груз моделируется системой с распределенными параметрами.

Малогабаритный погрузчик, захват, жесткость, прогиб конструкции

V.V. Minin, S.Yu. Gus'kov

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF POWER FACTORS SMALL-SIZE LOADER GRABS ON THE STIFFNESS OF A LONG LOAD

The results of the effect of clamping forces in the capture of small-sized truck on the stiffness of long loads. Formed a design scheme of the «capture of the truck – a lengthy cargo» and developed a mathematical model of it. Long loads modeled by a distributed system.

Compact loader, grab, stiffness, bending design

Введение

Ведущие фирмы – производители универсальных малогабаритных погрузчиков (УМП) США, стран Европы, Японии и других перешли на оснащение машин ковшами с захватными приспособлениями, позволяющими работать с длинномерными грузами [1, 2]. Сменные рабочие органы УМП различны по функциональному назначению и помимо челюстного захвата имеют универсальные комбинированные конструкции: ковш двухчелюстной, вилы с захватом, крюк монтажный с захватами, экскавационное оборудование с двухчелюстным ковшом, бульдозерное оборудование с захватами в виде зубьев рыхлителя [3] и аналогичные виды, имеющие элементы фиксации длинномерных (негабаритных) грузов с конструкцией стрелоподъёмного механизма.



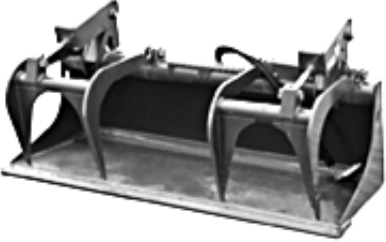


Рис. 1. Демонстрация применения челюстного захвата [4]

Использование УМП для проведения реконструкции зданий и сооружений требует учета структуры негабаритных грузов. Сложная структура и неоднородность материала негабарита не позволяет установить точные значения жесткости конструкции, а значит, и определить функциональную возможность его (табл. 1) манипуляций.

В статье в качестве длинномерного груза рассматривается хлыст, который моделируется сложной подсистемой с распределенными параметрами, в том числе и жесткостью.

Таблица 1

Основные технические характеристики ковшей с захватами

Наименование	Ковш Bobcat индустриальный	Захват промышленный Pi 168	Ковш MetalMeccanica Moderna
Вид			
Ширина, мм	от 1520 до 2030	320	от 250 до 340
Масса, кг	От 370 до 500	1680	от 1250 до 1700

Анализ состояния вопроса. Изучению динамических свойств деревьев и пакетов из них применительно к перевозкам их автопоездами, посвящены результаты работ [5-9, 15], в которых исследованы характеристики пакетов хлыстов, уложенные на опоры, расстояние между которыми составляло 10...15 м (объемом – 10...26 м³).

В работе [10] при моделировании рабочего процесса масса пакета рассматривалась сосредоточенной в двух и трех точках, подвешенных на упругих элементах. Здесь выявлено, что с увеличением расстояний между опорами и длинами консолей частота собственных колебаний пакета уменьшается, что приводит к уменьшению жесткости.

Для лесных машин с манипуляторами методы расчетов моментов инерции, приведенных масс и жесткостей разработаны в работах [5, 11].

Физико-механические характеристики деревьев и пакетов из них при транспортировании в захвате лесопогрузчиков рассматривались в работах [13, 12, 10, 16]. Здесь масса негабарита принималась сосредоточенной в одной, двух и трех точках, подвешенных на одном или двух упругих элементах. За центры приведения принимались центры тяжести вершинной и комлевой частей пакета деревьев и ось крепления захвата к стреле.

Погрузчик целесообразно моделировать как систему с распределенными параметрами и большим числом степеней свободы. В силу этого обстоятельства, предлагаемая система «машина + дерево (хлыст)» представлялась в виде системы с конечным числом степеней свободы за счет представления масс системы (в том числе и хлыста) как сосредоточенных. Это допущение упрощает математический аппарат и позволяет исследовать поведение системы с достаточной для инженерной практики точностью. Однако этот способ моделирования искажает особенности работы реальной машины, что неизбежно приводит к погрешностям результатов расчетов. Режим работы УМП характеризуется значительной циклическостью переменных напряжений в конструкции за счет необходимости осуществления бортового поворота для маневрирования. Различная жесткость консолей негабаритного груза создает дополнительную динамику нагружения, как правило, с частотой, существенно отличающейся от частот колебаний, создаваемых двигателем, трансмиссией, механизмом хода непрессоренного типа и рабочим оборотованием.

Несмотря на значительное количество опубликованных работ, нет исследований по определению влияния усилия зажатия захвата погрузчика на жесткость негабаритов (хлыстов), рассматриваемых как подсистемы с распределенными по длине массами.

Упрощение расчетных схем для возможности выполнения расчетов известными аналитическими методами может приводить к необходимости введения в расчеты допущения о изотропном и однородном материале негабарита. Это, как правило, не соответствует действительности.

Учет распределения массы по длине позволил авторам создать расчетную схему системы, параметры которой максимально приближены к параметрам реальной системы. Это обстоятельство позволило применить классические численные методы описания поведения динамических систем, которые в настоящее время являются наиболее прогрессивными (точными).

Цели и задачи исследования. Целью исследования является определение влияния усилия зажатия негабарита в захвате на жесткость комлевой и вершинной части хлыста.

Для достижения цели требуется сформировать расчетную схему моделирования системы «захват погрузчика – хлыст», которая позволит теоретически определить влияние усилия зажатия хлыста в захвате на жесткость комлевой и вершинной части.

Для обеспечения заданной точности в определении значений действительной жесткости консолей негабарита использованы модели в виде многомассовой системы. Для решения применен метод граничных элементов (МГЭ) [14]. Сущность метода состоит в первоначальной дискретизации линейной системы стержней или пластин на модули, далее выполняется анализ состояния всех модулей и обратный синтез модулей с соответствующими уравнениями в заданную конструкцию. В отличие от метода конечных элементов (МКЭ), где вся область объекта разбивается на конечные элементы, в МГЭ дискретизации подлежит лишь граница объекта. На границе объекта из системы линейных алгебраических уравнений определяются необходимые параметры, а состояние во внутренних точках вычисляется по интегральным уравнениям.

При составлении расчетной схемы хлыст представляется состоящим из нескольких цилиндрических стержней, диаметры оснований которых в зависимости от удаленности от торца комля можно определить несколькими способами: используя уравнения образующей ствола дерева, непосредственным обмером ствола дерева, или же принять, используя справочную литературу. В данной работе приводится сосновый хлыст V разряда высот с диаметром на уровне груди около 0,48 м и высотой 23 м. Опираясь на данные [13], принимаем допущение о разделении хлыста на однометровые цилиндры, производим разбивку хлыста на двадцать три цилиндра. Первоначально хлыст был представлен из совокупности конусов, размеры оснований которых известны, в дальнейшем был произведен переход от конусов к цилиндрам диаметры которых определялись как полусумма диаметров оснований соответствующих конусов. Плотность древесины сосны определялась по справочной литературе [13] и принималась равной $\rho = 863 \text{ кг/м}^3$ (свежесрубленная сосна). Модуль упругости древесины $E \approx 9,81 \cdot 10^9 \text{ Па}$ [13]. Объёмы стержневых элементов и осевые моменты инерции их сечений определились по общеизвестным выражениям. Сила P_q (рис. 2) определялась на основании данных принципиальной кинематической схемы захвата погрузчика Bobcat (США) и характеристик механизма привода захвата. Максимальная величина силы P_q составила 75 000 Н. Исходя из этого, интервал изменения силы P_q был принят от 0 Н до 75 000 Н с шагом 25 000 Н.

Длины цилиндров в процессе расчета варьируются от 0,3 м до 1,3 м, что позволяет учесть характерные точки хлыста (центр тяжести вершинной и комлевой части, место приложения усилий со стороны захвата).

Расчетная схема системы «захват погрузчика – хлыст» имеет вид (рис. 2).

На схеме: $l_1 \dots l_{23}$ – длины стержней, на которые разбит хлыст; $q_1 \dots q_{23}$ – распределенная нагрузка, приложенная к каждому стержню определена по формуле

$$q_i = \frac{\rho \cdot V_i \cdot g}{l_i},$$

где ρ – плотность древесины; V_i – объём i -го стержня; g – ускорение свободного падения; l_i – длина i -го стержня; l_g – длина вершинной части; l_3 – ширина захвата между стойками; l_k – длина комлевой части.

Точки A и B обозначают неподвижные опоры – захваты, на которых уложен хлыст. P_q – усилие создаваемое челюстью. Центр тяжести хлыста расположен между опорами A и B .

В опорах исключены вертикальные перемещения но возможны угловые. Таким образом, данная расчетная схема достаточно полно учитывает особенности реальной машины.

Для наглядности представим схему (рис. 3), отображающую строение расчетного хлыста.

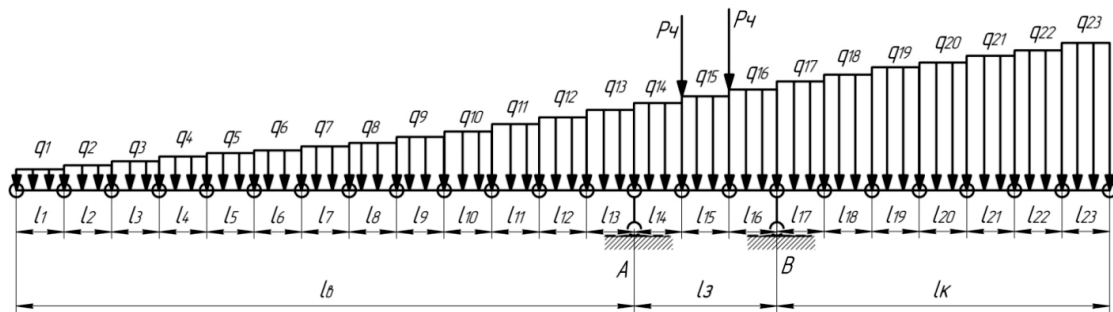


Рис. 2. Расчетная схема моделирования негабарита в захвате

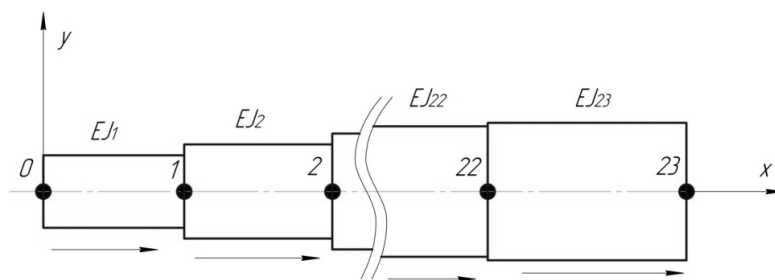


Рис. 3. Схема строения расчетного хлыста

На схеме EJ_i – произведение модуля упругости материала при растяжении – сжатии E на осевой момент инерции соответствующего сечения J_i .

Последовательно разбиваем стержневую систему на 23 стержня, нумеруем узлы и стрелками указываем начало и конец каждого стержня. Далее формируем матрицы A, A^*, X, X^*, Y, B , и систему разрешающих уравнений, учитывая только изгибные деформации (табл. 2) [14].

Таблица 2

Матрица фундаментальных ортонормированных функций, описывающих состояние стержней

	1	2	3	4	...	...	...	...	89	90	91	92
1	1	l_1	$l_1^2/2$	$l_1^3/6$								
2		1	l_1	$l_1^2/2$								
3			1	l_1								
4				1								
⋮					1	l_i	$l_i^2/2$	$l_i^3/6$				
⋮						1	l_i	$l_i^2/2$				
⋮							1	l_i				
⋮								1				
89									1	l_{23}	$l_{23}^2/2$	$l_{23}^3/6$
90										1	l_{23}	$l_{23}^2/2$
91											1	l_{23}
92												1

В матрицах X^* , Y (табл. 3) учтены условия опирания и приложения нагрузки, так что третья, четвертая и пятьдесят вторая с шестьдесят четвертой строки матрицы X содержат нулевые параметры. Соответственно необходимо обнулить третий, четвертый, пятьдесят второй и шестьдесят четвертый столбец матрицы A . Составляем уравнения равновесия и совместности перемещений узлов. Представим (рис. 4) этот этап на примере первого.

Уравнения равновесия и совместности перемещений узлов помещаются в матрицы X , Y для получения матрицы X^* путем переноса независимого параметра $Q_y^{14-15}_l$ в третью строку матрицы X , $Q_y^{17-18}_l$ в четвертую, $EJ_{23}v^{22-23}_l$ в 52-ю, $EJ_{23}\varphi^{22-23}_l$ в 64-ю.

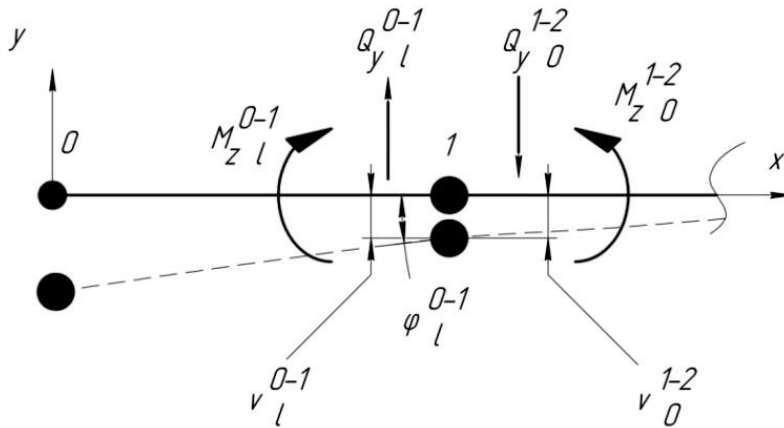


Рис. 4. Расчетная схема совместности перемещения узлов при моделировании:
 $Q_y^{0-1}_l$ – поперечная сила, действующая в узле 1 (конец стержня 1); $Q_y^{1-2}_0$ – поперечная сила, действующая в узле 1 (начало стержня 2); $M_z^{0-1}_l$ – изгибающий момент, действующий в узле 1 (конец стержня 1); $M_z^{1-2}_0$ – изгибающий момент, действующий в узле 1 (начало стержня 2); v^{0-1}_l – перемещение узла 1 (конец стержня 1); v^{1-2}_0 – перемещение узла 1 (начало стержня 1); φ^{0-1}_l – угол поворота сечения узла 1 (конец стержня 1), равный φ^{1-2}_0 по условию неразрывности

Таблица 3

Уравнения равновесия и совместности перемещений

$X=$	1	$EJ_1 v^{0-1}_0$	;	$Y=$	1	$EJ_1 v^{0-1}_l = EJ_1 v^{1-2}_0$
	2	$EJ_1 \varphi^{0-1}_0$			2	$EJ_1 \varphi^{0-1}_l = EJ_1 \varphi^{1-2}_0$
	3	$M_z^{0-1}_0 = 0; Q_y^{13-14}_l$			3	$M_z^{0-1}_l = M_z^{0-1}_0$
	4	$Q_y^{0-1}_0 = 0; Q_y^{16-17}_l$			4	$Q_y^{0-1}_l = Q_y^{1-2}_0$
	⋮				⋮	
	52	$EJ_{14} v^{13-14}_0 = 0; EJ_{23} v^{22-23}_l$			48	$EJ_{13} v^{12-13}_l = 0$
	53	$EJ_{14} \varphi^{13-14}_0$			49	$EJ_{13} \varphi^{12-13}_l = EJ_{13} \varphi^{13-14}_0$
	54	$M_z^{13-14}_0$			50	$M_z^{12-13}_l = M_z^{13-14}_0$
	55	$Q_y^{13-14}_0$			51	$Q_y^{12-13}_l$
	⋮				⋮	
	64	$EJ_{17} v^{16-17}_0 = 0; EJ_{23} \varphi^{22-23}_l$			60	$EJ_{16} v^{15-16}_l = 0$
	65	$EJ_{17} \varphi^{16-17}_0$			61	$EJ_{16} \varphi^{15-16}_l = EJ_{17} \varphi^{16-17}_0$
	66	$M_z^{16-17}_0$			62	$M_z^{15-16}_l = M_z^{16-17}_0$
	67	$Q_y^{16-17}_0$			63	$Q_y^{15-16}_l$
⋮		⋮				
89	$EJ_{23} v^{22-23}_0$	89	$EJ_{23} v^{22-23}_l$			
90	$EJ_{23} \varphi^{22-23}_0$	90	$EJ_{23} \varphi^{22-23}_l$			
91	$M_z^{22-23}_0$	91	$M_z^{22-23}_l = 0$			
92	$Q_y^{22-23}_0$	92	$Q_y^{22-23}_l = 0$			

Анализ матриц X и Y позволил получить топологическую матрицу C системы [14]. Матрица A^* получается по выражению:

$$A^* = A_0 + C.$$

Элементы матрицы B для изгиба принимались в соответствии с [14].

Таблица 4

Матрица B – вектор нагрузок

1	$q^{0-1} \left[(l_1)^4 \right] / 24$
2	$q^{0-1} \left[(l_1)^3 \right] / 6$
3	$q^{0-1} \left[(l_1)^2 \right] / 2$
4	$q^{0-1} \left[(l_1) \right]$
⋮	⋮
56	$P \cdot (l_{15})^3 / 6 + q^{14-15} \left[(l_{15})^4 \right] / 24$
57	$P \cdot (l_{15})^2 / 2 + q^{14-15} \left[(l_{15})^3 \right] / 6$
58	$P \cdot (l_{15}) + q^{14-15} \left[(l_{15})^2 \right] / 2$
59	$P + q^{14-15} \left[(l_{15}) \right]$
60	$P \cdot (l_{16})^3 / 6 + q^{15-16} \left[(l_{16})^4 \right] / 24$
61	$P \cdot (l_{16})^2 / 2 + q^{15-16} \left[(l_{16})^3 \right] / 6$
62	$P \cdot (l_{16}) + q^{15-16} \left[(l_{16})^2 \right] / 2$
63	$P + q^{15-16} \left[(l_{16}) \right]$
⋮	⋮
89	$q^{22-23} \left[(l_{23})^4 \right] / 24$
90	$q^{22-23} \left[(l_{23})^3 \right] / 6$
91	$q^{22-23} \left[(l_{23})^2 \right] / 2$
92	$q^{22-23} \left[(l_{23}) \right]$

В матрице B обозначение P усилие, нижней челюсти приложенное к хлысту. Решение системы линейных алгебраических уравнений находим в виде

$$A^*(l) \cdot X^*(l) + B(l) = 0,$$

где определяем неизвестные конечные и начальные параметры стержней, на которые разбит хлыст (матрица X^*).

Результаты вычислений и преобразований представим в виде эпюр прогиба (рис. 5) и изгибающего момента (рис. 6) для случая, когда $P_u = 75\ 000$ Н.

Жесткость комлевой и вершинной части определялась следующим образом. Вычислялся чистый максимальный прогиб каждого стержня, входящего в вершинную часть и то же самое делалось для комлевой части хлыста. Величина, обратная прогибу является эквивалентной жесткостью. На основании этого для определения жесткостей комлевой и вершинной частей производилось складывание жесткостей всех стержней вершинной части по правилу последовательного соединения упругих элементов и то же самое производилось для комлевой части по выражению

$$C_{эKB} = \sum \frac{1}{C_i},$$

где C_i – жесткость i -го элемента.

В результате исследований влияния усилия зажатия хлыста в захвате на жесткость комлевой и вершинной части получены графические зависимости (рис. 7 и 8).



Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов действующих на негабарит в захвате

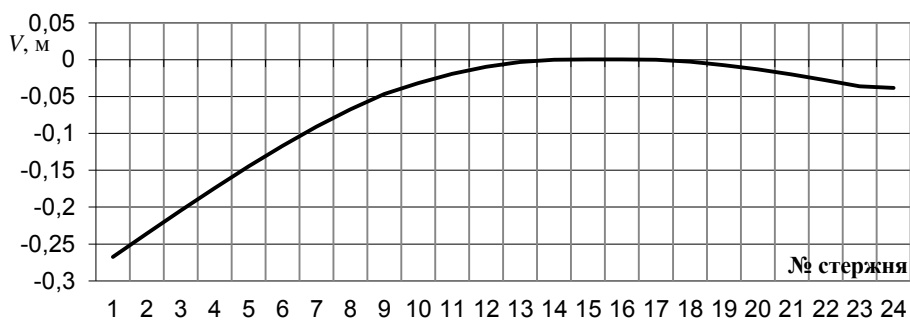


Рис. 6. Эпюра прогибов негабарита в захвате

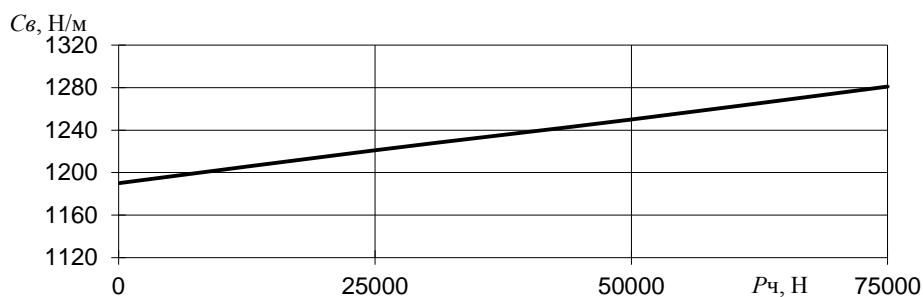


Рис. 7. Зависимость жесткости вершинной части негабарита от усилия зажатия в захвате

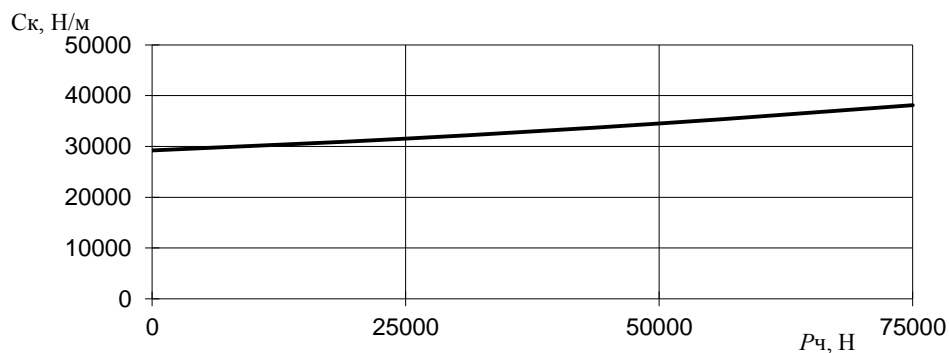


Рис. 8. Зависимость жесткости комлевой части негабарита от усилия зажатия в захвате

Результаты моделирования (рис. 7, 8) подтверждают необходимость учета при проектировании УМП усилия зажатия негабарита (хлыста) в захвате. Это позволит проектировать перспективные конструкции универсальных рабочих органов УМП, которые не будут оказывать влияние на жесткость консолей негабарита.

Выводы. По результатам вычислительных экспериментов установлено:

1. Изменение усилия зажатия негабарита (хлыста) в захвате от 0 до 75 000 Н приводит к существенному увеличению жесткостей: вершинной части на 7,5%, комлевой – на 30,5%.
2. При решении задач динамики элементов конструкции УМП учет усилия зажатия хлыста в захвате обязателен.
3. Негабаритный груз (хлыст) при моделировании динамики УМП следует рассматривать в виде системы с распределенными параметрами.
4. Разработанная математическая модель позволяет повысить качество исходных данных для пакетов проектирования в системах CAD/CAM.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минин В.В. Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 304 с.
2. Баловнев В.И. Многоцелевые дорожно-строительные машины: учеб. пособие. Омск, М.: Омский дом печати, 2006. 320 с.
3. Баловнев В.И. Оптимизация и выбор инновационных система и процессов транспортно-технологических машин: учеб. пособие. М.: Техполиграфцентр, 2014. 392 с.
4. Сайт компании CATERPILLAR www.cat.com/.
5. Александров В.А. Динамические нагрузки в лесосечных машинах. Л.: ЛГУ, 1984. 152 с.
6. Цофин З.С. Исследования геометрических и статистических характеристик пакетов хлыстов // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1977. С. 30-37.
7. Виногоров Г.К. К методике обоснования расчетных деревьев при решении эксплуатационных задач // Труды ЦНИИМЭ. Химки. 1971. С. 51-67.
8. Дебердеев А.А. К вопросу о центре тяжести и моменте инерции дерева // Лесной журнал. Архангельск, 1966. № 6. С. 53-63.
9. Гастев Б.Г., Мельников В.И. Основы динамики лесовозного подвижного состава. М.: Лесная промышленность, 1967. 220 с.
10. Рахманин Г.А. Исследование динамики погрузочного устройства манипуляторного типа с гидравлическим приводом // Труды ЦНИИМЭ. Химки, 1968. С. 88-99.
11. Лозовой В.А. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия хлыстов с лесными машинами: автореф. дис. ... канд. тех. наук. МЛТИ, 1982. 18 с.
12. Ильин В.Ф., Ивашкевич П.Н. Исследование гидропривода челюстных лесопогрузчиков в транспортном режиме // Строительные и дорожные машины. ЦНИИТЭСтроймаш. 1969. С. 41-48.
13. Лесотаксационного справочника для южно-таежных лесов Средней Сибири / С.Л. Шевелев, В.В. Кузьмичев, Н.В. Павлов, А.С. Смольянов. М.: ВНИИЛМ, 2002. 166 с.
14. Численные методы в механике / В.А. Баженов, А.Ф. Дашенко, В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. Одесса, 2004. 565 с.
15. Полетайкин В.Ф. Проектирование лесных машин. Моделирование рабочих режимов тракторных лесопогрузчиков: монография. Красноярск: КГТА, 1996. 248 с.
16. Наумов А.В., Стукач А.В., Манжула К.П. Модификация рабочего органа мини-погрузчика // Механизация строительства. 2015. № 8. С. 20-22.

Гуськов Сергей Юрьевич –
магистрант
Политехнического института
Сибирского федерального университета

Sergey Yu. Gus'kov –
graduate student
of the Polytechnic Institute
of Siberian Federal University

Минин Виталий Васильевич –
доктор технических наук, профессор,
кафедра «Транспортные и технологические
машины» Политехнического института
Сибирского федерального университета

Vitaly V. Minin –
Dr.Sc., Professor,
Department of Transport and technological
machines of the Polytechnic Institute
of Siberian Federal University

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 629.92

А.А. Платонов

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОРОЖНО-РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Рассматриваются вопросы нормирования затрат на пассажирские перевозки дорожно-рельсовыми транспортными средствами. Выявлена необходимость учёта специфики работы и технического обслуживания данных транспортных средств путём введения в расчёт дополнительных нормативов, и проведён анализ экономической эффективности их применения.

Железная дорога, пригородные перевозки, дорожно-рельсовые транспортные средства, нормирование затрат

A.A. Platonov

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF USE ROAD-RAIL VEHICLES IN SUBURBAN TRAFFIC

The article deals with rationing of costs for passenger transport road-rail vehicles. Identified the need for accounting the specifics of operation and maintenance of said transport means into account by introducing additional regulations, and conducted analysis of economic efficiency of their application.

Railroad, commuter carriage, road-rail vehicles, regulation costs

В настоящее время перевозка пассажиров в пригородном железнодорожном сообщении продолжает оставаться убыточным видом деятельности ОАО «РЖД» практически во всех субъектах Российской Федерации. При этом ввиду прекращения субсидирования пригородных пассажирских перевозок за счёт грузовых перевозок, а также продолжающихся споров между региональными администрациями и пригородными пассажирскими компаниями касательно компенсации выпадающих доходов, такая убыточность приводит к отмене пригородного движения. Отмена движения пригородных поездов стала возможной благодаря внедрению

емой государством модели организации пригородного сообщения, которая впервые разрешила регионам (кроме Москвы и Санкт-Петербурга) отказаться от пригородного сообщения [1]. Вместо него предлагается инвестировать в развитие более эффективных видов транспорта, в частности, автомобильного транспорта.

С учётом вышеизложенного для обеспечения транспортной доступности небольших населённых пунктов нами предлагается использовать современный инновационный вид транспорта, сочетающий в себе с одной стороны преимущества автомобилей, а с другой стороны – преимущества пригородных поездов, а именно, так называемые дорожно-рельсовые транспортные средства (ДРТС, рельсомобили) на комбинированном автомобильном и железнодорожном ходу [3]. Особенностью таких технических средств является то, что они могут перемещаться по автомобильным дорогам общего пользования (в том числе, нередко – по бездорожью), а при необходимости данная техника движется по железнодорожным рельсам. Достигается это путём внесения в конструкцию существующих транспортных средств определённых усовершенствований (установки рельсовых колёс, взаимодействующих с железнодорожными рельсами, и привода этих колёс), либо проектирования новых транспортных средств, изначально сочетающих в себе лучшие преимущества автомобильной и железнодорожной техники.

С целью разработки научно-методической базы по обоснованию целесообразности использования дорожно-рельсовых транспортных средств на конкретных маршрутах их эксплуатации было произведено определение нормативов затрат на пассажирские перевозки данными транспортными средствами по следующим укрупнённым элементам: зарплатоёмкость Z , материалоёмкость M , амортизация A .

Оценка затрат производилась с использованием нормативов, обеспечивающих эффективное использование производственной базы автотранспортных организаций и сокращение непроизводительных затрат [4]. В целом, применение нормативного подхода направлено на решение приоритетных задач как автомобильной, так и железнодорожной отрасли, удовлетворение потребности населения в качественных транспортных услугах, а также на общее обеспечение социально-экономического развития регионов Российской Федерации.

Для приведения отдельных видов затрат на 1 км пробега дорожно-рельсового транспортного средства определялась нормативная производственная программа в автомобиле-часах (а.ч.) для единицы подвижного состава $АЧ_i^H$ и для всего парка ДРТС $АЧ_j^{Hn}$ с учётом нормативного количества автомобиле-дней в эксплуатации в течение года $АД_i^g$, среднесуточного времени работы единицы ДРТС на маршруте T_i^M , количества единиц ДРТС, занятых на пассажирских перевозках N_i :

$$АЧ_i^H = АД_i^g \cdot T_i^M, \text{ а.ч.}, \quad (1)$$

$$АЧ_j^{Hn} = АД_i^{gn} \cdot T_M, \text{ а.ч.} \quad (2)$$

Норматив зарплатоёмкости Z перевозок на 1 км пробега (руб./км) дорожно-рельсовых транспортных средств определялся следующим образом:

$$Z = \frac{\left(\sum_{i=1}^n H_i^{3n} + \sum_{i=1}^n H_i^{3n} \cdot K_{св}^H + H_{числ}^{проч} \right)}{V_9 \cdot 1000}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^n H_i^{3n}$ – суммарный норматив заработной платы, руб./1000 а.ч.; $K_{св}^H$ – норматив страховых взносов, %; $H_{числ}^{проч}$ – норматив прочих расходов, руб./1000 а.ч.; V_9 – средняя эксплуатационная скорость перевозок, км/ч.

Суммарный норматив заработной платы $\sum_{i=1}^n H_i^{3n}$ (руб./1000 а.ч.) определялся путём суммирования норматива заработной платы по каждой категории работников предприятия с учётом минимальной тарифной ставки рабочих 1 разряда $T_{разр}^1$; межразрядного коэффициента для i -й категории работников K_i^M ; районного коэффициента K_p ; среднего коэффициента доплат и надбавок к заработной плате $ДН_i$; норматива численности i -й категории работников предприятия H_i^u , чел./1000 а.ч.:

$$\sum_{i=1}^n H_i^{3n} = \sum_{i=1}^n (T_{разр}^1 \cdot K_i^M \cdot K_p \cdot ДН_i \cdot H_i^u \cdot 12). \quad (4)$$

Нормативы численности определялись по следующим категориям работников: водителей $H_{вод}^u$ и кондукторов $H_{конд}^u$ (на основе фонда рабочего времени); руководителей, специалистов и служащих H_{psc}^u (с учётом особенностей технико-экономического планирования, материально-технического снабжения, комплектования и подготовки кадров, организации безопасности движения и т.д.); ремонтных рабочих H_{pp}^u (с учётом модификации дорожно-рельсовых транспортных средств, трудоёмкости текущего ремонта и т.д.); вспомогательных рабочих $H_{вр}^u$; прочих рабочих $H_{пр}^u$.

Определение норматива страховых взносов $K_{св}^H$ производилось согласно [7], в соответствии с которым использовались следующие тарифы страховых взносов на 2014 г.: Пенсионный фонд Российской Федерации – 22%; Фонд социального страхования Российской Федерации – 2,9%; Федеральный фонд обязательного медицинского страхования – 5,1%.

Норматив материалоемкости перевозок M на 1 км пробега дорожно-рельсовых транспортных средств определялся с учётом нормативов затрат на топливо C_T , смазочные материалы $C_{см}$, шины $C_{ш}$, энергозатраты $C_{эз}$, ремонтный фонд $C_{рф}$, диспетчерское управление и обеспечение безопасности перевозок $C_{об}$, налоги $C_{нз}$, страхование $C_{осаго}$ и прочие расходы $C_{проч}$:

$$M = C_T + C_{см} + C_{ш} + C_{эз} + C_{рф} + C_{об} + C_{нз} + C_{осаго} + C_{проч}. \quad (5)$$

Норматив затрат на топливо на 1 км пробега C_T определялся с учётом норматива затрат на движение $C_i^{T-1км}$ и 1 автомобиле-час работы (на отопление салона) $C_i^{T-1ч}$, а также на внутригаражные нужды $D_{внз}^T$, при этом в расчёте использовалась среднегодовая взвешенная цена дизельного топлива, определённая по условию сезонности его применения:

$$C_T = \left(C_i^{T-1км} + \frac{C_i^{T-1ч}}{V_э} \right) \cdot \left(1 + \frac{D_{внз}^T}{100} \right) \cdot \frac{1}{\beta}, \text{ руб./км}. \quad (6)$$

Норматив затрат на топливо на движение ДРТС $C_i^{T-1км}$ определялся с учётом натурального норматива расхода топлива N_i^T и среднегодовой взвешенной цены топлива \bar{P}_T :

$$C_i^{T-1км} = \frac{N_i^T \cdot \bar{P}_T}{100}; \quad (7)$$

$$N_i^T = H_T \cdot \left(1 + \frac{D_i^T}{100} \right); \quad (8)$$

$$\bar{P}_T = \frac{P_T^3 \cdot M_{зим} + P_T^л \cdot (12 - M_{зим})}{12}. \quad (9)$$

В данных формулах H_T – транспортная норма расхода топлива (л/100 км), D_i^T – надбавка, зависящая от условий эксплуатации (%); P_T^3 – цена зимнего топлива (руб.); $P_T^л$ – цена летнего топлива, (руб.); $M_{зим}$ – срок действия зимней надбавки к расходу топлива (мес.).

Норматив затрат на автомобильные шины $C_{ш}$ определялся с учётом стоимости $P^{ш}$ и общей нормы эксплуатационного пробега $\bar{L}_{ш}$ одной шины, а также их количества n :

$$C_{ш} = \frac{n \cdot P^{ш}}{\bar{L}_{ш} \cdot \beta \cdot 1000}, \text{ руб./км.} \quad (10)$$

Норматив энергозатрат $C_{эз}$ определялся с учётом затрат на тепловую энергию $C_{эз}^{тен}$, электроэнергию $C_{эз}^{элк}$ и воду $C_{эз}^{вод}$ на основе соответствующих норм расхода в год на 1 автомобиль.

Норматив затрат на налоги $C_{нз}$ определялся с учётом затрат на транспортный налог и на вменённый доход.

Норматив затрат на обязательное страхование автогражданской ответственности $C_{осаго}$ определялся с учётом изменений в соответствующем Федеральном законе, вступивших в силу в 2014 г.

Норматив прочих расходов $C_{проч}$ определялся с учётом масштаба производственной деятельности организации, осуществляющей пассажирские перевозки дорожно-рельсовыми транспортными средствами.

Норматив затрат на амортизацию дорожно-рельсовых транспортных средств на 1 км пробега определялся с учётом стоимости нового ДРТС по прайс-листам завода-изготовителя $C_{авт}$ и линейной нормы амортизации $H_{ам}$:

$$A = \frac{C_{авт} \cdot H_{ам} \cdot 1000}{100 \cdot AЧ_i^H \cdot V_9 \cdot \beta}. \quad (11)$$

Кроме вышеприведённых зависимостей при определении нормативов затрат на пассажирские перевозки дорожно-рельсовыми транспортными средствами следует учитывать специфику работы и технического обслуживания данных рельсомобилей путём введения в расчёт дополнительных нормативов (рис. 1).

В соответствии с [6] норма эксплуатационного пробега шины $L_{ш}^{ад}$ зависит от средне-статистического пробега шины, категории и условий эксплуатации транспортного средства, и определяется зачастую экспериментальным путём.

Вследствие этого для определения нормы эксплуатационного пробега шины по рельсам $L_{ш}^{жд}$ целесообразно рекомендовать также экспериментальный метод с обоснованием соответствующих коэффициентов эксплуатации шины.

При этом представляется целесообразным введение в нормативную документацию, описывающую классификацию условий эксплуатации, данных о виде поверхности, взаимодействующей с автомобильным колесом (металлический рельс), плане и профиле железнодорожной колеи (руководящие уклоны, допустимые радиусы кривых) и иных условий работы рельсомобилей (маневровая работа с вагонами, иная грузовая или пассажирская работа).

Ввиду отсутствия в настоящее время сведений о среднестатистическом пробеге шины $L_{ш}^{жд}$ при эксплуатации ДРТС на железнодорожных рельсах в расчёте использовались данные по пробегу шины по автомобильной дороге.

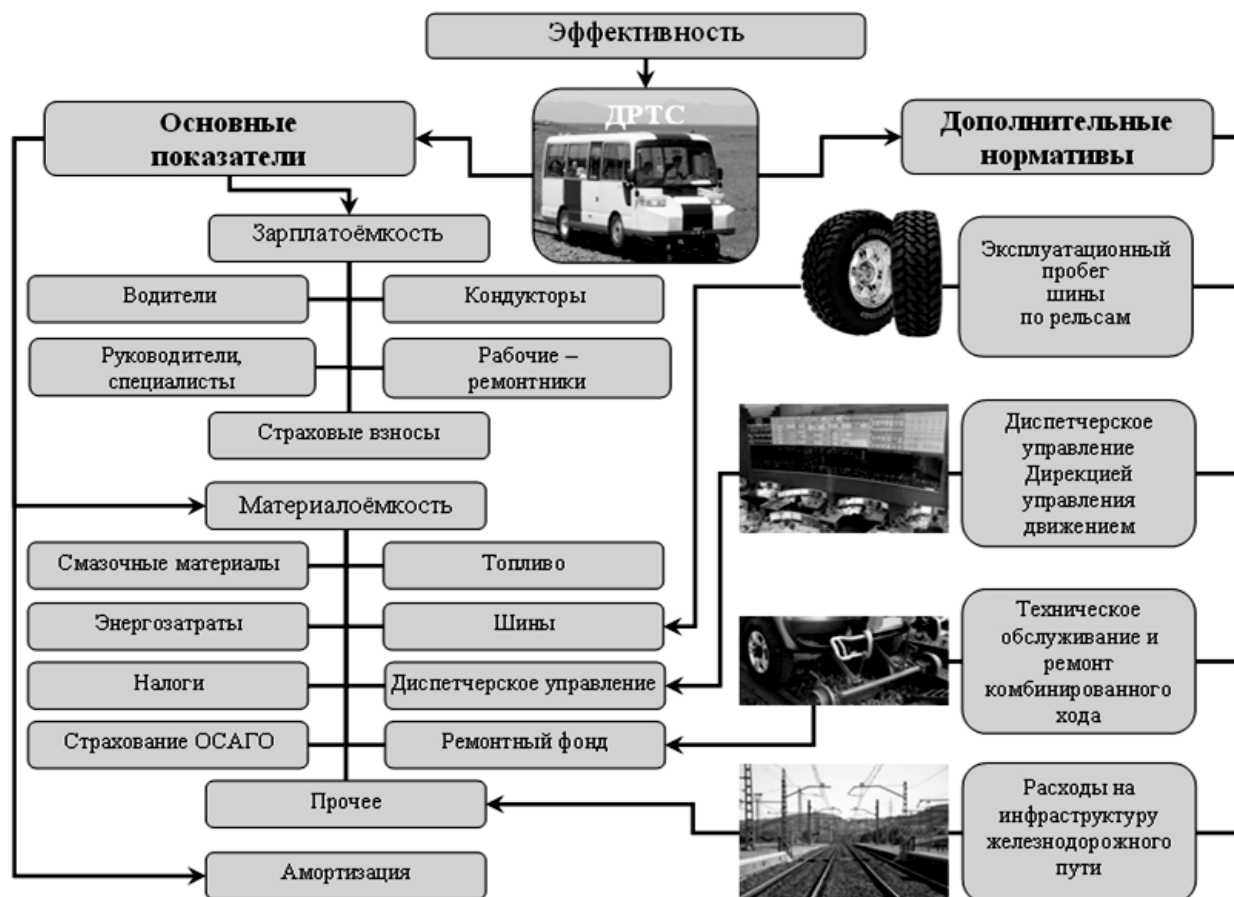


Рис. 1. Структура нормативов затрат на эксплуатацию дорожно-рельсовых транспортных средств

Норматив затрат на диспетчерское управление движением ДРТС и обеспечение безопасности перевозок $C_{об}$ следует определять с учётом необходимости диспетчерского управления движением рельсомобиля не только со стороны соответствующей автотранспортной организации ($C_{об}^{ад}$), но и со стороны Дирекции управления движением по железной дороге ($C_{об}^{жд}$):

$$C_{об} = C_{об}^{ад} + C_{об}^{жд}, \text{ руб./км.} \quad (13)$$

Норматив затрат на ремонтный фонд $C_{рф}$ необходимо определять с учётом затрат на техническое обслуживание и ремонт не только базового шасси автомобиля $C_{рф}^{авт}$, но и комбинированного хода $C_{рф}^{кх}$:

$$C_{рф} = C_{рф}^{авт} + C_{рф}^{кх}, \text{ руб./км.} \quad (14)$$

Отдельной статьёй расходов при эксплуатации дорожно-рельсовых транспортных средств являются расходы на использование инфраструктуры железнодорожного пути. Особенностью осуществления пассажирских перевозок рассматриваемыми транспортными средствами является возможный неоднократный их переход с автомобильных дорог на железнодорожные рельсы и обратно. Это, в свою очередь указывает на необходимость обоснования норматива затрат, основанного на повременном использовании инфраструктуры и базируемого на способе учёта расстояния нахождения подвижного состава на рассматриваемом участке инфраструктуры (в рамках маршрута перевозки).

В случае использования затрат на инфраструктуру $R_{инфр}^{уч}$ (руб.) для протяжённого участка железнодорожного пути длиной $L_{уч}$ (км) затраты на использование инфраструктуры при эксплуатации дорожно-рельсовых транспортных средств предлагается определять как:

$$R_{инфр}^{авт} = R_{инфр}^{уч} \cdot \frac{L_{авт}}{L_{уч}}, \text{ руб.}, \quad (15)$$

где $L_{авт}$ – расстояние, пройденное рельсомобилем на рассматриваемом участке железной дороги, км.

В случае использования норматива затрат на инфраструктуру $C_{инфр}$ (руб./км) затраты на использование инфраструктуры при эксплуатации дорожно-рельсовых транспортных средств:

$$R_{инфр}^{авт} = C_{инфр} \cdot L_{авт}, \text{ руб.} \quad (16)$$

С учётом вышеизложенных рекомендаций производилось определение экономической эффективности применения дорожно-рельсовых транспортных средств для пригородных пассажирских перевозок на малодеятельном участке железнодорожного пути Хава – Анна (Воронежская область), протяжённостью 63 км.

Курсирование по маршруту было принято ежедневное, с выполнением одного рейса (туда и обратно) за 3 часа.

Общий пробег за период эффективной эксплуатации одного ДРТС вычислялся с учётом нормативной производственной программы в автомобиле-часах на единицу подвижного состава 919,8 авт.·час и средней скорости передвижения транспортного средства 40 км/ч. С учётом этого общий пробег ДРТС за год был определён в 36800 км.

Количество перевезённых пассажиров принималось исходя из предположения о номинальной заполняемости дорожно-рельсового транспортного средства (20 чел.) за один полу-рейс. Количество рейсов принималось равным нормативному количеству автомобиле-дней в эксплуатации в течение года ($AD_i^9 = 306$ дней, определённое с учётом нормативного значения коэффициента выпуска автомобилей на линию $\alpha_6 = 0,84$).

Планируемые доходы от продажи проездных билетов определялись с учётом приказа Управления по регулированию тарифов Воронежской области от 03.07.2014 № 29/2 [5], в соответствии с которым тариф на перевозку пассажиров автомобильным транспортом в пригородном сообщении составляет 1,70 руб. за 1 пасс/км.

Фонд оплаты труда водителей и кондукторов принимался с учётом тарифной 18-разрядной сетки и соответствующих межразрядных коэффициентов.

Затраты на топливо и смазочные материалы принимались с учётом средней цены за летнее и зимнее дизельное топливо в 34,4 руб./л, а также необходимости включения отопителя салона в зимний период работы.

При расчёте энергозатрат учитывались затраты предприятия (на одно дорожно-рельсовое транспортное средство) на тепловую энергию, на электроэнергию, а также на потребляемую и сточную воду.

Амортизационные отчисления определялись с учётом принятой стоимости транспортного средства в 15 млн руб. В соответствии с Общероссийским классификатором основных фондов ОКОФ рассматриваемые в данном проекте ДРТС были отнесены к пятой амортизационной группе (срок амортизации до 10 лет).

Ввиду отсутствия в настоящее время нормативов на повременное (покилометровое) использование инфраструктуры железнодорожного транспорта соответствующие расходы принимались по данным, приведённым в [2].

Общий анализ экономической эффективности использования дорожно-рельсовых транспортных средств для пригородных перевозок представлен в таблице.

Анализ экономической эффективности использования
дорожно-рельсовых транспортных средств

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Величина
1	Курсирование по маршруту	дни	Ежедневно
2	Общий пробег	км	36800
3	Перевезено пассажиров	чел.	12200
4	Доходы от продажи билетов	тыс. руб.	1306
5	Расходы, в том числе	тыс. руб.	1304
5.1	Фонд оплаты труда всего, в том числе	тыс. руб.	338,2
	Водители	тыс. руб.	159,6
	Кондукторы	тыс. руб.	108,5
	Отчисления на социальные нужды	тыс. руб.	70,1
5.2	Материалоёмкость всего, в том числе	тыс. руб.	642,1
	Топливо	тыс. руб.	485,7
	Смазочные и прочие эксплуатационные материалы	тыс. руб.	68,1
	Шины	тыс. руб.	19,5
	Энергозатраты	тыс. руб.	68,8
5.3	Налоги и платежи всего, в том числе	тыс. руб.	20,1
	Транспортный налог	тыс. руб.	5,5
	Вменённый доход	тыс. руб.	12,1
	ОСАГО	тыс. руб.	2,5
5.4	Амортизационные отчисления	тыс. руб.	1500
5.5	Накладные расходы	тыс. руб.	84,5
5.6	Расходы инфраструктуры	тыс. руб.	219,1

Анализ экономической эффективности использования дорожно-рельсовых транспортных средств в пригородном движении показал следующее.

Наибольшая величина расходов приходится (как и следовало ожидать) на статью «Материалоёмкость» (49,2%). Однако при этом в случае использования транспортного средства, работающего на газе (например, установив газодизельный двигатель), существует возможность снижения затрат по статьям «Топливо» и «Смазочные материалы» на 40%.

Определённый резерв снижения затрат есть по фонду оплаты труда (25,9% всех расходов), а именно по статье «Кондукторы» на 50% в случае возложения на водителя-машиниста дорожно-рельсового транспортного средства обязанностей по взиманию и контролю оплаты за проезд.

Расходы на использование инфраструктуры железнодорожного пути составили 16,8% всех расходов. Однако при этом необходимо учесть, что к расчёту был принят маршрут следования дорожно-рельсового транспортного средства исключительно по железнодорожной колее. В соответствии с этим существует определённый резерв уменьшения расходов по данной статье за счёт частичного (50%) использования железнодорожной пути при следовании по установленному маршруту, учитывающему при этом интересы жителей региона.

В целом доходы от продажи билетов превысили понесённые расходы, однако такое превышение является весьма не существенным. Тем не менее с учётом реализации вышеприведённых возможностей по оптимизации затрат на пригородные перевозки дорожно-рельсовыми транспортными средствами существует возможность получения превышения доходов над расходами на 250...300 тыс. руб., в том числе при сохранении расходов на использование инфраструктуры железнодорожного пути.

Таким образом, с учётом вышесказанного можно сделать следующий вывод. Ввиду продолжающегося сокращения пригородных перевозок железнодорожным транспортом с

планируемой заменой его автомобильным транспортом представляется целесообразным внедрение для пригородного пассажирского движения современных инновационных транспортных средств на комбинированном ходу, полностью соответствующих при этом внедряемой государством Концепции развития пригородных пассажирских перевозок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галлямова Ю. Пассажиры высаживают из электричек // Коммерсант-Воронеж. Ежедневная общенациональная деловая газета. 2014. № 44 (5316).
2. Матвеева С.Л. Экономическая эффективность использования рельсовых автобусов в пригородном сообщении // Наука и техника транспорта. 2010. № 4. С. 71-73.
3. Платонов А.А. К вопросу классификации дорожно-рельсовых транспортных средств // Воронежский научно-технический Вестник. 2014. № 1 (7). С. 45-51.
4. Постановление от 28 сентября 2012 года № 492-п «Об утверждении Методики формирования тарифов на перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом на территории Красноярского края».
5. Приказ УРТ Воронежской обл. от 03.07.2014 № 29/2 «Об установлении предельных тарифов на перевозки пассажиров и багажа автомобильным транспортом на пригородных, внутриобластных, межобластных (межреспубликанских в пределах Российской Федерации) маршрутах Воронежской области» // Воронежский курьер. 2014. № 52.
6. РД 3112199-1085-02. Временные нормы эксплуатационного пробега шин автотранспортных средств.
7. Федеральный закон № 212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования» от 24.07.2009 г.

Платонов Алексей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Московского государственного университета путей сообщения (Воронежский филиал)

Aleksey A. Platonov – PhD in Technics, Associate Professor, Department of Traction rolling stock, Moscow State University of Railway Engineering (Voronezh Branch)

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

УДК 621.7.011

А.В. Королев, А.А. Королев, А.Ф. Балаев, С.А. Савран

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Представлено описание метода удаления остаточных напряжений длинномерных деталей путем многоциклового деформационного воздействия. Разработана математическая модель для расчета необходимой для релаксации остаточных напряжений общей потребной энергии упругих деформаций детали за один цикл деформации. На основе математической модели энергии деформирования получено выражения для расчета потребного времени обработки.

Остаточные напряжения, релаксация, виброобработка

A.V. Korolev, A.A. Korolev, A.F. Balaev, S.A. Savran

TECHNOLOGY REMOVING RESIDUAL STRESSES

The description of the method of removing the residual stress long length parts by cycle deformation effects. Mathematical model developed for the calculation of the necessary energy relaxation of residual stresses and needs of the elastic deformation part. Expression for the calculation of required processing time to obtain on the basis of a mathematical model of deformation energy.

Residual stress, relaxation, vibration processing

Для того, чтобы удалить остаточные напряжения в материале, необходимо определить наличие этих напряжений и их величину. Поэтому перед началом вибромеханической обработки необходимо замерить остаточные напряжения. Зная распределение остаточных напряжений в материале изделия можно рассчитать его возможную деформацию, которая произойдет после удаления напряжений.

Для измерения остаточных напряжений существует множество приборов, но они имеют высокую цену и доступны не всем промышленным предприятиям. При отсутствии прибора величину остаточных напряжений можно определить обратным путем, а именно путем измерения деформации детали. Поэтому у нескольких деталей можно удалить остаточные напряжения любым известным способом – пролеживанием на открытом воздухе, низкотемпературным отпуском, пробной вибромеханической обработкой. А по величине деформации детали можно рассчитать величину остаточных напряжений. Приведем пример определения остаточных напряжений по величине деформации цилиндрической детали (рис. 1).

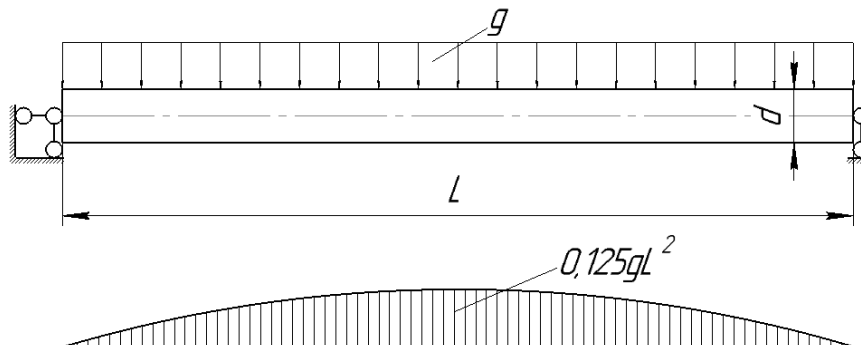


Рис. 1. Схема деформации длиномерной цилиндрической детали

Из курса сопротивления материалов несложно определить деформацию цилиндрической детали, закрепленной на концах шарнирно и находящейся под равномерно распределенным вдоль ее оси напряжением

$$v = \frac{q}{24EJ} (2Lz^3 - z^4 - L^3z), \quad (1)$$

где q – внешние давление на поверхность детали, Н/мм; L – длина детали, мм; z – расстояние от левой опоры, мм; E – модуль упругости материала детали, МПа; J – момент инерции, мм⁴, равный

$$J = \frac{\pi}{32} d^4;$$

d – диаметр детали, мм.

Максимальное напряжение возникает в плоскости симметрии детали:

$$v_m = -\frac{5qL^4}{384EJ}.$$

Энергия деформация изгиба детали (рис. 1) равна

$$e_o = \int_0^{0,5L} \frac{q^2 \cdot z^2 (L-z)^2 \cdot dz}{8 \cdot E \cdot J} + \int_0^{0,5L} \frac{q^2 \cdot (L-2z)^2 dz}{8 \cdot G \cdot F}, \quad (2)$$

где σ_z – напряжение изгиба в сечении z , МПа; F – площадь поперечного сечения, мм².

Выразим внешнюю нагрузку через максимальные напряжения, возникающие в сечении детали:

$$q = 8 \cdot \frac{\sigma_m W}{L^2}, \quad (3)$$

где σ_m – максимально напряжение, действующее в плоскости симметрии детали, МПа; W – момент сопротивления изгибу, мм³, равный

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32}.$$

Подставляя выражение (3) в равенство (2), после преобразований получим

$$\begin{aligned} e_o &= \frac{8 \cdot \sigma_m^2 \cdot W^2}{EJL^2} \int_0^{0,5L} z^2 (L-z)^2 dz + \frac{8\sigma_m^2 \cdot W^2}{G \cdot F \cdot L^2} \int_0^{0,5L} (L-2z)^2 dz = \\ &= \frac{4 \cdot \sigma_m^2 \cdot W^2 L}{30EJ} \left(1 + \frac{10EJ}{L^2 G \cdot F} \right). \end{aligned} \quad (4)$$

Равенство (4) определяет энергию упругой деформации детали. Если приложить к детали эту энергию, а потом освободить от нагрузки, то деталь восстановит свою форму.

В отличие от этого деформация детали под действием внутренних напряжений осуществляется за счет пластической деформации, происходящей на границах между зёрнами. Поэтому эта деформация является пластической. Смоделировать действие внутренних напряжений возможно, если приложить к детали усилие, вызывающее ее пластическую деформацию, причем такое, чтобы после разгрузки детали она имела остаточную деформацию, определяемую равенством (1).

Так как напряжения, возникающие в поперечном сечении детали, имеют зависимость от внешней нагрузки в виде

$$\sigma = \frac{q}{2W} z(L-z),$$

для создания напряжения, равного пределу текучести, по всей длине детали или ее части, необходимо к ней приложить нагрузку, равную

$$q_t = \theta \frac{2\sigma_t W}{L^2}, \quad (5)$$

где σ_t – предел текучести материала детали, МПа.

Эта нагрузка вызовет деформацию в центре симметрии детали, равную

$$v_t = \frac{5q_t L^4}{384EJ}. \quad (6)$$

Энергию этой деформации определим по формуле (2), подставив в нее вместо внешней нагрузки q нагрузку q_t

$$e_t = \int_0^{0,5L} \frac{q_t^2 \cdot z^2 (L-z)^2 \cdot dz}{8 \cdot E \cdot J} + \int_0^{0,5L} \frac{q_t^2 \cdot (L-2z)^2 dz}{8 \cdot G \cdot F}. \quad (7)$$

После разгрузки детали произойдет ее упругая деформация, равная

$$v_u = -\frac{10\sigma_u WL^2}{384EJ}, \quad (8)$$

где σ_u – предел упругости материала детали, МПа.

Исходя из условия

$$v_m = v_t - v_u,$$

из равенств (1), (6) и (8) найдем

$$q_t = \frac{2WL^2}{L^4} (4\sigma_m + \sigma_u). \quad (9)$$

Следовательно, для обеспечения остаточной деформации детали на величину v_m необходимо создать нагрузку q_t и затратить энергию деформации, равную e_t .

Режим вибромеханической стабилизации выбирают из условия, чтобы энергия деформации детали e_u за время обработки превышала энергию e_o , необходимую для стабилизации напряжений с учетом ее потерь:

$$e_u \geq e_t, \quad (10)$$

где K_p – коэффициент потери энергии при ее передачи от источника ультразвуковых колебаний к детали.

Энергия деформации детали зависит от способа вибромеханической стабилизации. В качестве примера рассмотрим схему вибромеханической обработки, приведенной на рис. 2. Один конец детали жестко закреплен в приспособлении, а к другому ее концу прикладывают изгибающий момент M . Далее придают вращение вокруг ее оси.

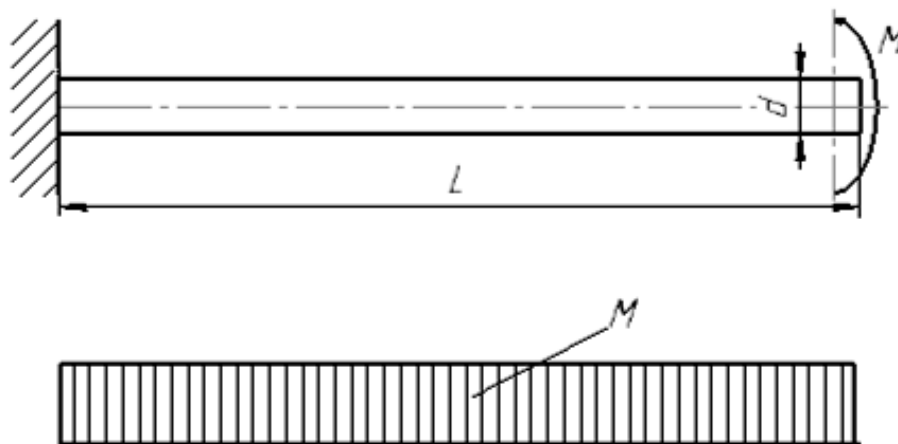


Рис. 2. Схема деформации длинномерной цилиндрической детали при ее вибромеханической стабилизации

При такой схеме вдоль оси детали возникает равномерно распределенный изгибающий момент.

Деформация детали равна

$$v(z) = \frac{Mz^2}{2EJ},$$

а энергия деформации

$$e_v = \frac{M^2 \cdot L}{4 \cdot E \cdot J}. \quad (11)$$

Приложенный к детали момент вызывает в ней напряжения изгиба, равные

$$\sigma_i = \frac{M}{W}.$$

Отсюда, задаваясь допустимыми напряжениями изгиба, определяем требуемый изгибающий момент. Подставляя полученное значение в равенство (11), находим

$$e_v = \frac{[\sigma]^2 \cdot W^2 \cdot L}{4 \cdot E \cdot J}, \quad (12)$$

где $[\sigma]$ – допустимые напряжения изгиба, МПа.

Из равенства (12) видно, что от допустимых напряжений изгиба существенно зависит энергия деформации. Поэтому ее значение следует выбирать максимально возможное. Но, понятно, что эти напряжения не могут превышать предел прочности. Если напряжения превышают предел текучести σ_t , то в поверхностном слое произойдет пластическая деформация и поверхностные напряжения вызовут упрочнение поверхностного слоя. Часто это оказывает положительное влияние на работоспособность детали. Если упрочнение поверхностного слоя не допустимо, то $[\sigma] < \sigma_t$.

Равенство (12) определяет энергию однократной деформации. Если же заготовке сообщить вращение с частотой n , то за время τ будет затрачена энергия деформации детали, равная

$$e_v(\tau) = \frac{[\sigma]^2 \cdot W^2 \cdot L}{4 \cdot E \cdot J} n \cdot \tau. \quad (13)$$

Эта энергия будет равномерно распределена вдоль оси детали и в равной степени будет снимать напряжения в ее материале. Подставляя равенство (13) в выражение (10), после преобразований определим требуемое время обработки:

$$\tau = \frac{(4\sigma_m + \sigma_u)^2}{30[\sigma]^2 \cdot n} \left(1 + \frac{10E \cdot J}{G \cdot FL^2} \right). \quad (14)$$

Как видно из (14), требуемое время на стабилизацию геометрических параметров деталей очень сложно зависит от множества факторов. К их числу относятся геометрическая форма детали, ее материал, физико-механические свойства материала, остаточные напряжения детали, способ вибромеханической обработки, требования, предъявляемые к детали после вибромеханической стабилизации.

Существующие модели вибромеханической стабилизации эти факторы не учитывают, и поэтому они не обеспечивают требуемых показателей качества обработки.

Королев Альберт Викторович –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Королев Андрей Альбертович –
доктор технических наук, профессор
кафедры «Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Балаев Андрей Федорович –
Кандидат технических наук,
доцент кафедры «Схемотехника»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Савран Сергей Александрович –
аспирант кафедры
«Технология машиностроения»
Саратовского государственного технического
университета имени Гагарина Ю.А.

Albert V. Korolev –
Dr. Sc., Professor Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Andrey A. Korolev –
Dr. Sc., Professor Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Andrey F. Balaev –
Ph. D., Associate Professor
Department of Circuit Technology
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Sergey A. Savran –
Postgraduate Department of Technology
of Mechanical Engineering
Yuri Gagarin State Technical University
of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 631.171:004.946

С.А. Иванов, И.Ю. Квятковская

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ХОЛЬТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

Рассматривается использование модели Хольта для прогнозирования изменения температуры в закрытом грунте. Полученный прогноз может использоваться в системе управляющих коэффициентов, регулирующих включение разного вида отопления в теплице. Исследованы модели Хольта и Хольта – Винтерса и определена оптимальная модель для прогнозирования изменения температурного режима.

Модель Хольта, система управляющих коэффициентов, комбинированное отопление

S.A. Ivanov, I.Yu. Kvyatkovskaya

HOLT USE MODEL TO PREDICT THE CHANGES IN TEMPERATURE IN THE GREENHOUSE

This article describes how to use the model to predict Holt temperature changes indoors. The resulting forecast can be used in the system of control factors governing the inclusion of a different type of heating in the greenhouse. Abstract model Holt and Holt-Winters and determined the optimal model to predict changes in temperature.

Model Holt, the system of control factors, combined heating

Введение

Современные технологии выращивания овощей, рассады, цветов требуют непрерывного поддержания определённого микроклимата в системах закрытого грунта – автоматизированных теплицах. Любая автоматизированная теплица представляет собой объект управления температурно-влажностным режимом, сложность работы с которым заключается в неустойчивости параметров:

1. Температура воздуха.
2. Относительная влажность.
3. Температура почвы.
4. Концентрации углекислого газа (CO₂).
5. Интенсивность освещения.

При рассмотрении вопроса поддержания наиболее оптимального микроклимата в теплице для успешного генеративного развития растений важным параметром является обеспечение температуры воздуха и почвы.

Для управления системой комбинированного отопления необходимо использовать систему управляющих коэффициентов. Эти коэффициенты зависят как от статических дан-

ных – количества тепла, выделяемого системой освещения, вентиляции и так далее. Но основной изменяющийся во времени параметр, влияющий на работы комбинированной системы отопления – температура снаружи теплицы.

1. Исследование моделей прогнозирования изменения управляющих коэффициентов.

При разработке методики расчета управляющих коэффициентов, необходимо спрогнозировать изменения температуры на период разогрева систем газового или водяного отопления. В подобранной системе датчиков измерения температуры [1] погрешность измерения температуры составляет 2°C при диапазоне измерения $0-50^{\circ}\text{C}$. Частота сканирования указанного датчика 1 раз/с. Вычисление корректирующих систему коэффициентов в среднем должно происходить раз в минуту. То есть за это время датчик может снять 60 значений температуры внутри теплицы и за её пределами.

Перед включением одного из видов отопления, необходимо составить прогноз на период времени T , в течение которого оборудование перейдет в фазу полноценной работы. Такой прогноз необходим для минимизации затрачиваемых ресурсов, так как в некоторых случаях для увеличения температуры в определенном диапазоне экономически выгодно использовать менее мощную систему газового отопления.

Общий вид прогнозного уравнения [2]:

$$y(t) = A_0 + A_1 \cdot t, \quad (1)$$

где A_0 и A_1 – текущие оценки коэффициентов адаптивного полинома первого порядка.

Рассмотрим двухпараметрическую модель Хольта, оценка параметров которой представлена следующим образом [2]:

$$\begin{aligned} A_0(t) &= \alpha \cdot y(t) + (1 - \alpha) \cdot (A_0 + A_1) \\ A_1(t) &= \beta \cdot (A_0 - A_1) + (1 - \alpha) \cdot A_1, \end{aligned} \quad (2)$$

где α и β – параметры экспоненциального сглаживания и параметры адаптации, причем $0 < \alpha, \beta < 1$. Текущие оценки коэффициентов адаптивного полинома первого порядка могут быть также представлены в виде:

$$\begin{aligned} A_0(t) &= A_0(t-1) + A_1(t-1) \cdot k + \alpha \cdot \varepsilon(t) \\ A_1(t) &= A_1(t-1) + \alpha \cdot \beta \cdot \varepsilon(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\varepsilon(t) = y(t) - y_{расч}(t)$ – ошибка прогноза (ряд остатков).

Для решения проблемы изменения температуры и предсказания значения к моменту начала полноценной работы системы обогрева необходимо использовать модель Хольта – усовершенствованную модель экспоненциального сглаживания с добавленным в неё трендом. Метод Хольта используется для прогнозирования временных рядов, когда есть тенденции к росту и падению значений временного ряда, а также для рядов, когда есть данные за неполный цикл [3].

Необходимо отметить также усовершенствованную модель Хольта – Винтерса, которая включает в себя параметр сезонности, который позволяет прогнозировать значения, к примеру, по месяцам за весь год. Модель Хольта – Винтерса имеет следующий вид:

$$Y_p(t+k) = [a(t) + k \cdot b(t)] \cdot F(t+k-L), \quad (4)$$

где k – период упреждения; $Y_p(t)$ – расчетное значение показателя для t -го периода; $a(t)$, $b(t)$, $F(t)$ – коэффициенты модели; L – период сезонности (к примеру, для квартальных данных $L = 4$, для ежемесячных $L = 12$ и т.д.).

Значение $F(t + k - L)$ является значением коэффициента сезонности того периода, для которого рассчитывается показатель. Очевидно, что для малых значений t аргумент функций F будет отрицательным.

Уточнение коэффициентов модели проводится по формулам:

$$a(t) = a_1 \frac{Y(t)}{F(t-L)} + (1 - \alpha_1) [a(t-1) + b(t-1)], \quad (5)$$

$$b(t) = a_3 [a(t) - a(t-1)] + (1 - a_3) + b(t-1), \quad (6)$$

$$F(t) = a_2 \frac{Y(t)}{a(t)} + (1 - \alpha_2) F(t-L). \quad (7)$$

В случае прогнозирования изменения температуры нет необходимости учитывать фактор сезонности, поэтому модель Хольта – Винтерса включает излишние параметры для решения рассматриваемой задачи. Для прогнозирования изменения температуры достаточно использовать модель Хольта.

2. Разработка модели прогноза.

Метод Хольта включает следующие этапы:

1. Расчет экспоненциально-сглаженного ряда.
2. Определение значения тренда.
3. Прогнозирование.

Расчет экспоненциально-сглаженного ряда происходит по формуле:

$$L_t = k \cdot Y_t + (1 - k) \cdot (L_{t-1} - T_{t-1}), \quad (8)$$

где L_t – сглаженная величина на текущий период; K – коэффициент сглаживания ряда; Y_t – текущее значение ряда; L_{t-1} – сглаженная величина за предыдущий период; T_{t-1} – значение тренда за предыдущий период.

Значение тренда определяется по формуле:

$$T_t = b \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \cdot T_{t-1}, \quad (9)$$

где T_t – значение тренда на текущий период; b – коэффициент сглаживания тренда; L_t – экспоненциально сглаженная величина за текущий период; L_{t-1} – экспоненциально сглаженная величина за предыдущий период; T_{t-1} – значение тренда за предыдущий период.

Прогноз на некоторое количество p периодов времени равен

$$Y_t + p = L_t + p \cdot T_t, \quad (10)$$

где Y_{t+p} – прогноз по методу Хольта на p период; L_t – экспоненциально сглаженная величина за последний период; p – порядковый номер периода, на который делается прогноз; T_t – тренд за последний период.

Итоговый вариант модели Хольта выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} L_t = k \cdot Y_t + (1 - k) \cdot (L_{t-1} - T_{t-1}) \\ T_t = b \cdot (L_t - L_{t-1}) + (1 - b) \cdot T_{t-1} \\ Y_t + p = L_t + p \cdot T_t. \end{cases} \quad (11)$$

3. Пример расчета прогноза.

Проведем эксперимент по составленной модели Хольта для прогнозирования изменения температуры. Возьмем ряд значений, собранных за 10 секунд:

Время, с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура, °С	24	24,5	24,7	24,8	25	25,6	25,9	26,2	26,8	27,5

Коэффициент сглаживания ряд примем как $k = 0,5$.

Значение тренда для первого периода $T_1 = 0$.

Коэффициент сглаживания тренда примем как $b = 0,5$.

Составим прогноз значений температуры на следующие 10 секунд:

Время, с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура, °С	27,9	28,7	29,4	29,9	30,3	30,8	31,6	32,0	32,6	33,2

Полученные данные иллюстрируют изменение температуры в закрытом грунте. Также есть возможность учитывать ошибку прогноза для более точного управления системой комбинированного отопления.

Исходя из расчетов, можно сделать вывод, что использование прогнозирования по методу Хольта в системе управления комбинированным отоплением ведет к минимизации затрачиваемых ресурсов.

При разработке модели управления процессом отопления необходимо ввести параметры времени полноценного нагрева до нужной температуры водяной или газовой системы обогрева и исходя из прогнозирования изменения температурного ряда включать первый или второй вид отопления [4].

Заключение

Использование модели Хольта для прогнозирования изменения температуры в закрытом грунте необходимо для разработки системы управления комбинированным отоплением. Прогнозирование температуры позволяет определить эффективность использования водяного или газового отопления ввиду разного времени, необходимого для полноценной работы системы обогрева. Учет погрешности прогнозирования и прогнозирования в целом на небольшой период времени позволяет повысить энергоэффективность автоматизированной теплицы. Также для более точного прогноза в промышленных теплицах необходимо использовать ряд датчиков для более точного определения температуры в закрытом грунте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов С.А., Чишиев Э.Р. Автономная система полного цикла поддержки роста и развития растений в тепличных условиях // Международный электронный журнал. Устойчивое развитие: наука и практика. 2014. Вып. 2 (13). С. 158-163.
2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие. М.: Статистика, 2003. 416 с.
3. Умеров А.Н., Шуршев В.Ф. Методы и программные средства аппроксимации экспериментальных данных // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2005. № 1. С. 97-104.
4. Светульников И.С. Методы социально-экономического прогнозирования. Т. 1. Теория и методология. М.: Юрайт, 2015. С. 30.

Иванов Сергей Александрович – аспирант кафедры «Автоматизированные системы обработки информации и управления» Астраханского государственного технического университета

Sergey A. Ivanov – postgraduate student of the Department «Automated Systems of Information Processing and Management» Astrakhan State Technical University

Квятковская Ирина Юрьевна –
доктор технических наук, профессор,
директор Института информационных
технологий и коммуникаций
Астраханского государственного
технического университета

Irina Yu. Kvyatkovskaya –
Ph.D., Professor, Director of the Institute
of Information Technologies
and Communications
Astrakhan State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 32.019.51

В.В. Колпаков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Информационно-телекоммуникационная сеть «Интернет» является базой для влияния на общественное мнение и формирования нового типа политической культуры. Варианты использования ресурсов сети «Интернет» разнообразные: официальные сайты, аккаунты в социальных сетях, Интернет-телевидение. Отдельное внимание – подбору кадров на должности государственной и муниципальной службы с помощью онлайн. Важный критерий использования всех возможностей сети – доступ в Интернет.

Политическая культура, Интернет, аккаунт, видеохостинг, Wi-Fi

V.V. Kolpakov

USING INFORMATION TECHNOLOGY TO INFORM THE SOCIETY

Information and Telecommunications network “Internet” is the basis for influencing public opinion and forming a new type of political culture. Use of resources “Internet” different: official web sites, accounts in social networks, Internet TV. Special attention – recruitment for the posts of government and municipal civil service by going online. An important criterion for the use of all network capabilities – access to the Internet.

Political culture, Internet, account, videohosting, Wi-Fi

XXI век – это время высоких технологий, а информационно-коммуникационный сектор занимает одно из ведущих мест. Страны, которые сделали ставку на информационно-коммуникационный сектор и технопарки, смогли вывести свои экономики на новый уровень. В то время как в некоторых государствах информационно-коммуникационный сектор в валовом внутреннем продукте составляет до 30%, у нас это всего лишь 5,2%, а технопарков решено открыть пока всего семь [5, с. 412].

Информационное общество в нашей стране уже давно перешагнуло из разряда виртуального в разряд реального. Интернет постепенно затягивает всех россиян. И Правительство Российской Федерации решило, что граждане вполне готовы общаться с властью через компьютер.

Вполне уместно вспомнить ситуацию, когда правительство Ульяновской области искало министра информационных технологий в Интернете [10]. Соответствующая вакансия была размещена на рекрутинговом сайте SuperJob.ru. Работодатель был готов рассмотреть кандидатуры и из других регионов, которые были готовы переехать в Ульяновск. Соискателям обещали заработную плату до шестидесяти тысяч рублей, медицинское обслуживание, жилье, ежемесячные вознаграждения и иные выплаты.

Я думаю, что подобного порядка проведения поэтапного отбора кандидата на должность министра отечественный опыт не знает, впрочем, как и аналогов в зарубежной практике не имеется. В число этапов отбора входит:

- публичное собеседование с отобранными кандидатами в личном блоге «Живого журнала»;
- подготовка аналитической записки «Развитие IT-кластера Ульяновской области и инновационные возможности космических и геоинформационных технологий для социально-экономического развития региона»;
- отбор в режиме online-конференции «Задай вопрос кандидату в IT-министры» на сайте ulgov.ru;
- собеседование в режиме online;
- психологический тест через сервис Интернет-телефонии Skype.

Примечателен тот факт, что граждане активно откликнулись на данную информацию – за несколько недель через сайт свои заявки подали более 3000 кандидатов, еще 250 отправили информацию о себе по электронной почте, формальный отбор прошло 261 резюме. Это уже не первая попытка Правительства Ульяновской области найти кандидатов на пост министра с помощью Интернет-сервиса – аналогичным образом Ульяновская область искала министра искусства и культуры области [6].

По словам губернатора Ульяновской области Сергея Морозова, вакансия министра искусства и культуры области была открыта в рамках работы по модернизации региона. «С помощью современных Интернет-технологий мы ищем креативных управленцев, менеджеров в сфере культуры, которые знают, как решить проблемы данной сферы и могут предложить свои варианты стратегии развития отрасли в регионе. Тем самым мы подтверждаем взятый нами курс на открытость власти. Кадровая политика должна быть предельно открытой» – отметил губернатор Ульяновской области [12].

Вполне возможно предположить, что практика размещения информации о вакансиях на рекрутинговых сайтах станет объективным требованием о проведении конкурса на замещение государственных должностей. В будущем, в процесс отбора кандидатов на государственные должности предполагается включить Интернет-голосование. Об этом сообщила заместитель Председателя Правительства Ульяновской области, руководитель аппарата Губернатора и Правительства Ульяновской области Светлана Опеньшева. «Поиск кандидатов через Интернет вполне оправдал себя и станет традиционным. Мы оценили удобство работы с рекрутинговым порталом. Его сервисы позволили нам оперативно рассмотреть резюме кандидатов со всей России и отобрать лучших» – сказала Светлана Владимировна.

В последнее время настоящим трендом стала регистрация аккаунтов в социальных сетях, но не только на просторах русскоязычного Интернета, но и на зарубежных сервисах. Так Министерство иностранных дел значительно расширило свое присутствие на цифровых просторах. Внешнеполитическое ведомство Российской Федерации зарегистрировало официальный аккаунт в социальной сети Facebook. Основной целью данного шага, по сообщению представителей департамента информации и печати, станет размещение актуальной информации о российской внешней политике, архивных материалов об истории отечественной ди-

пломатической службы, а также сведений в помощь соотечественникам и находящимся за рубежом россиянам. При этом российские дипломаты высказали надежду на то, что аккаунт станет популярной площадкой интерактивного общения [7].

По мнению экспертов, Министерство иностранных дел Российской Федерации, создав страницу в Facebook, сможет значительно увеличить число аккаунтов дипломатов в сети. Экспансия присутствия в Интернет-пространстве, прежде всего, связана с исполнением приказа Владимира Путина о технологии мягкой политики на территории России. На совещании послов Российской Федерации Президент Российской Федерации заявил, что необходимо разъяснять позицию государства на разных платформах, чтобы представители Европы и Америки знали о миссии России в мире.

На сегодняшний день у Министерства иностранных дел сорок два аккаунта в сервисе микроблогов Twitter, на который подписано более шестидесяти тысяч человек. Министерство требует, чтобы все посольства показали себя в социальных сетях.

Стоит отметить, что Министерство иностранных дел также открыло свой канал на международном видеохостинге YouTube. Ведомство каждый день выкладывает видеозаписи и активно обновляет свою страницу [7].

Непристойное поведение государственных служащих в Интернете к сожалению, стало своего рода нормой – отрицательной стороной информатизации. Достаточно вспомнить федерального судью Ирину Левандовскую, которая после публикации в Интернете ее частных фотографий, в частности с алкоголесодержащей продукцией в руках, была уволена после заседания Комиссии по судебной этике при совете судей, т.к. нарушила нормы профессиональной этики [9].

Показательным является также случай, когда пресс-секретарь Росмолодежи Анна Бирюкова покинула свой пост после скандала, связанного с записью в ее микроблоге «Twitter». Сообщение о том, что Бирюкова заплатила две тысячи рублей в качестве взятки за то, что ее не лишили водительских прав, был опубликован в блоге чиновницы. «2000 за нелишение прав, счастлива, отмечаю выпиванием кофе на любимой заправке», – говорилось в записи [4].

Вышеуказанными действиями государственные служащие порочат не только честь государственной службы, но и дискредитируют ту структуру, где проходят службу и государственный аппарат в целом. В Государственной Думе Российской Федерации не раз звучала инициатива о написании Кодекса моральной жизни государственного служащего. Очевидно, что данный кодекс нужен и необходимо, чтобы он заработал в тот момент, когда человек решил проходить государственную службу. Но, к сожалению, дальше разговоров, дело не продвинулось.

Сегодня влияние Интернета на население колоссально – это подтверждают многочисленные социологические исследования. Число пользователей Интернета в России за последнее десятилетие выросло, так значительно, что это ощущается уже по способу получения информации. Интернет является основным источником информации для 24% россиян – таковы данные фонда «Общественное мнение» и не использовать его как площадку для информирования населения и формирования политической культуры было бы ошибкой [8].

Достаточная пропускная способность позволяет транслировать в Интернете телеканалы. В конце апреля 2014 года в тестовом режиме был запущен парламентский телеканал «Вместе-РФ». Главная цель данного проекта – дальнейшее повышение открытости Совета Федерации для российского общества. «Вместе-РФ» информирует зрителей о событиях в регионах и работе Совета Федерации, комитетов, сенаторов. Телеканал транслирует заседания Совета Федерации, парламентские слушания, рассказывает о законотворческой деятельности сенаторов. Новостные выпуски выходят ежедневно в прямом эфире.

Данный проект направлен на создание площадки для обсуждения вопросов государственной и муниципальной службы, законотворчества и работы сенаторов. Основные акценты в работе – просветительская деятельность для последующего формирования правовой

культуры. Основной платформой распространения сигнала телеканала является сеть Интернет. Планируется, что при заинтересованности населения данным проектом в будущем телеканал будет включен в пакет спутникового вещания «Триколор-ТВ».

Чтобы воспользоваться онлайн-ресурсами необходимо, прежде всего, иметь доступ к Интернету. Сегодня это реализуется посредством как проводного, так и беспроводного соединения. Беспроводной доступ рассматривается как наиболее приоритетный, так как сегодня действует несколько программ для обеспечения доступа в Интернет посредством Wi-Fi соединения:

- оснащение общественного транспорта [2];
- оснащение образовательных учреждений [11];
- оснащение парков, библиотек, музеев [13].

Депутат фракции ЛДПР Михаил Дегтярев и председатель комитета по делам общественных объединений и религиозных организаций, парламентарий от ЛДПР Ярослав Нилов вносили на рассмотрение Государственной Думы законопроект, согласно которому во всех высших учебных заведениях страны должен был быть обеспечен бесплатный беспроводный доступ к сети Интернет посредством Wi-Fi. Ранее депутаты уже вносили поправку в закон «Об образовании» и предлагали установить бесплатный доступ в Интернет, используя технологию Wi-Fi в школах, высших учебных учреждениях и студенческих общежитиях. Поправка была отклонена, однако за ее принятие проголосовали 167 депутатов.

Следуя новому законопроекту, воспользоваться бесплатным доступом в Интернет смогут только студенты и преподаватели высших учебных заведений. Доступ будет открыт на всей территории учебного заведения, включая студенческое общежитие. Финансирование установки беспроводного подключения предполагается осуществлять за счет внебюджетных средств образовательных учреждений, получаемых, например, от оказания платных образовательных услуг [3]. Утверждать и контролировать порядок доступа к сети будет Правительство Российской Федерации. По мнению разработчиков законопроекта, внедрение бесплатного доступа в сеть посредством Wi-Fi позволит установить в каждом студгородке официальное подключение к сети Интернет и тем самым облегчить жизнь студентам, а также улучшить качество их образования.

За прошедшее десятилетие Россия вошла в рейтинг крупнейших Интернет-держав по целому ряду показателей. Россия занимает первое место среди европейских стран по числу пользователей Интернета [1]. В последнее время в стране наблюдается бурный рост широкополосного доступа в Интернет, обеспечения услугами связи новых населенных пунктов, внедрения эффективных высокоскоростных технологий мобильной связи, прежде всего технологии LTE. По числу доменов второго уровня в национальных доменах RU и РФ Россия также занимает лидирующие позиции в сегменте доменов в Европе и мире.

Быстрорастущий российский Интернет-сегмент является ключевым фактором инновационного развития страны, роста ее экономического развития, расширения функций электронного правительства, повышения конкурентоспособности России на международной арене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арис Б. Продажи в Интернете стремительно растут // Российская газета. 2012. 13 марта.
2. Батова С. Сеть сверху // Российская газета. 2013. 7 февраля.
3. Благовещенский А. Законопроект о бесплатном Wi-Fi в вузах внесен в Госдуму // Российская газета. 2013. 11 февраля.

4. Благовещенский А. Пресс-секретарь Росмолодежи уволилась после «твита» о взятке // Российская газета. 2012. 16 октября.
5. Граждан В.Д. Государственная гражданская служба: учебник для (бакалавров). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2013. 641 с. Сер. Бакалавр. Углубленный курс.
6. Гурина Н. В Интернете размещена вакансия Министра культуры // РБК daily. 2010. 17 ноября.
7. Гуцин Э. МИД вышел в Facebook // Российская газета. 2013. 22 февраля.
8. Деньги просятся в Рунет // Российская Бизнес-Газета: Инновации. 2011. 6 декабря.
9. Зарипова А. Фейсбук-контроль // Российская газета. 2012. 18 сентября.
10. Исайков В. Тянутся к сети // Российская газета. 2010. 1 ноября.
11. Медведев Ю. Бесплатный Интернет для студентов // Российская газета. 2013. 14 февраля.
12. Чернышева В. За министрами пошли в интернет // Российская газета. 2012. 4 сентября.
13. Шулепова Е. В тульских парках появился Wi-Fi – на очереди общественный транспорт // Российская газета. 2012. 18 июля.

Колпаков Владимир Владимирович – аспирант кафедры «Политические науки», специалист научного отдела Балаковского филиала Поволжского института управления имени П.А. Столыпина – филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Vladimir V. Kolpakov – a postgraduate student of the department of political science, specialist of science Department of Balakovo Branch Povolzhsky Institute of Administration named after P.A. Stolypin, a branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Saratov)

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 004.67

Г.А. Попов, Р.М. Муратов

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДАТЧИКОВЫХ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ

Рассматривается схема классификаций основных экстремальных ситуаций, возникающих при вождении автомобиля, и затем составленный на её основе тренажер.

Экстремальные ситуации на дороге, классификация ситуаций на дороге, тренажёр для обучения водителей

G.A. Popov, R.M. Muratov

FORMATION OF A SYSTEM OF SENSOR DEVICES FOR AUTOMATED CONTROL BY MOTOR VEHICLE

In the article considers the main classification scheme of extreme situations arising while driving a car, and the trainer compiled on this basis.

Extreme situations on the road, the classification of situations on the road, simulator for driver training

Введение

За последние два десятилетия в России произошел резкий рост количества транспортных средств (рис. 1). Однако, пропускная способность транспортной инфраструктура страны и, прежде всего, в крупных городах за тот же период не получила адекватного роста. Практически все средние и крупные города России все в большей степени задыхаются от транспортных пробок, особенно в часы пик. Как следствие, передвижение по дорожным магистралям страны становится все более сложным и опасным занятием. От рядового водителя требуется наличие все более высокого уровня квалификации и, что особенно важно, умения максимально адекватно и быстро реагировать на неожиданные экстремальные ситуации, которые могут возникнуть в процессе нахождения на транспортных линиях. Проблема усугубляется наличием еще ряда факторов, связанных с возникновением аварийных ситуаций; в частности недисциплинированностью части водителей, многие из которых позволяют себе выезжать на транспортные магистрали в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, плохим состоянием дорог, не всегда должной квалификацией водителей, более сложными по сравнению с другими странами погодными условиями.

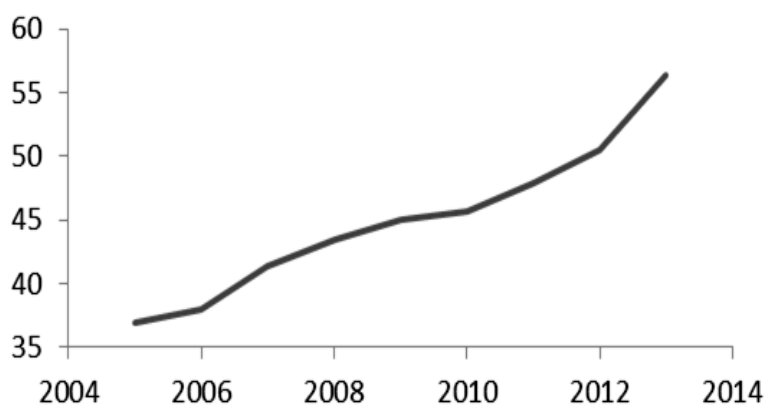


Рис. 1. Статистика по количеству транспортных средств в России

Таким образом, современное состояние транспортного трафика на дорогах России требует от водителя готовности к адекватным действиям при возникновении любых нестандартных ситуаций на дорогах, что традиционно связано с большим практическим опытом вождения. Отметим, что даже при наличии большого опыта относительно большие перерывы в вождении требуют определенного периода адаптации водителя – особенно для водителей больших или ответственных транспортных средств: грузовых машин, автобусов, карет скорой медицинской помощи, полиции, МЧС. Кроме того, накопление подобного опыта требует времени, что делает дорожное движение еще более опасным для начинающих водителей. Возможными выходами из подобной ситуации могли бы стать, во-первых, внедрение средств автоматизации управления автотранспортным средством, и, во-вторых, проведение тренингов по нестандартным ситуациям на дорогах с использованием различных автотренажеров. Для решения обеих указанных задач необходимо, прежде всего, сформировать подсистему подготовки входных данных на основе съема данных с датчиков, датчиковых устройств и данных, полученных с использованием «бортового компьютера» автотранспорт-

ного средства. При этом эффективность управления зависит от того, насколько полны и точны эти данные. Здесь под датчиковыми устройствами понимается совокупность простейших датчиков, функционирующих под управлением микропроцессора.

В настоящее время большинство ведущих производителей автотранспортных средств активно внедряют микропроцессорные и компьютерные технологии в процесс управления различными компонентами автомобиля. Однако, работ по системному анализу и формированию относительно полной совокупности входных данных, требуемых для эффективного управления автомобилем, найти не удалось. Применительно к повышению уровня подготовленности водителей, укажем, что в различных сферах активно внедряются компьютерные тренажеры, основанные на виртуальной симуляции требуемых ситуаций. Применительно к транспортному движению основной задачей, решаемой с помощью подобных компьютерных тренажеров, должна быть задача выработки требуемых практических навыков и умения у водителя в различных нестандартных и экстремальных ситуациях, которые могут возникнуть на дороге. Работа посвящена формированию системы входных данных, требуемых для эффективного управления автомобилем, на основе методов системного анализа. Полученная система входных характеристик использована в составе компьютерного тренажера, общий алгоритм функционирования которого также приведен в работе. Основная особенность предлагаемого тренажера – нацеленность на выработку навыков вождения в нестандартных и экстремальных ситуациях. Работ по указанной тематике в открытой литературе найти не удалось. Представляет интерес работа [1], где перечисляются полторы сотни проблемных дорожных ситуаций. Наиболее близкими являются работы [2-4], в которых рассматриваются задачи поведения водителя в различных критических ситуациях, построения виртуальных тренажеров для обучения вождению, но не действиям в экстремальных ситуациях.

1. Системная классификация факторов, определяющих ситуационное поведение автомобиля на дороге.

Одним из наиболее важных этапов разработки как автоматизированной системы управления автомобилем, так и тренажера является формирование системы анализа (в непрерывном режиме) дорожных ситуаций с целью выявления нестандартных, экстремальных и аварийных ситуаций. На основе результатов анализа автоматизированная система должна выработать соответствующие адаптивные управляющие воздействия. Эти ситуации должны быть также включены в состав тренажера. Здесь под нестандартной понимается дорожная ситуация, которая встречается в практике типового водителя достаточно редко, не позволяя выработать устойчивые навыки и умения действий в подобных ситуациях; примером может быть появление на дорожной полосе животных. Под экстремальной понимается ситуация, при которой возможные действия водителя предсказуемы и логичны, но требуют точности и быстроты исполнения – в противном случае ситуация может перерасти в аварийную; примером может быть нарушение разделительной полосы автомобилем из встречного потока. Под аварийной понимается такая ситуация, при которой авария может произойти с большой вероятностью, и от водителя требуется быстрота реакции и высокая точность действий с целью избегания аварии либо минимизации возможных ее последствий.

Для формирования множества ситуаций проведем системную классификацию факторов, определяющих поведение автомобиля на дороге, для чего, прежде всего, необходимо выбрать параметры классификации – относительно небольшое число характеристик, значения которых в целом определяют конкретную ситуацию. Предлагается следующий набор параметров: 1) состояние транспортного средства; 2) состояние водителя; 3) состояние дорожной системы; 4) внешние условия; 5) законодательные и нормативные требования и ограничения. Каждая из этих характеристик детализируется и уточняется по составляющим следующим образом.

1. Состояние транспортного средства.

1.1. *Состояние работоспособности (исправности) автотранспортного средства* (исправность автомобиля). Включает, в частности, следующие показатели: а) состояние тормозной системы; б) состояние системы управления автомобилем; в) исправность двигателя; г) состояние приборов панели управления; д) количество и качество горючего; е) показатели, контролируемые при техосмотре.

1.2. *Степень загрязнения окружающей среды* (степень экологичности). Включает следующие показатели: а) тип горючего (бензин, солярка, газ, биотопливо, электроэнергию) и его марка, потребляемая двигателем; б) показатели содержания вредным отходов в выхлопных газах; в) степень загрязнения внешней среды выхлопными газами.

1.3. *Наличие всех необходимых документов на автотранспортное средство* (юридический статус): а) документы, подтверждающие законность прав водителя на управление автотранспортным средством (документы владения, доверенность на управление автомобилем); б) документы на право управлять автотранспортным средством (права водителя, соответствующие классу автотранспортного средства); в) документы о техническом состоянии автомобиля (результаты техосмотра); г) страховые документы; д) другие документы, требуемые для управления автомобилем (например, при наличии у водителя инвалидности).

2. Состояние водителя.

2.1. *Физическое состояние* водителя. Наличие физических травм, повреждений, заболеваний, которые противопоказаны для управления транспортным средством. Включает медицинские показатели, зафиксированные в Министерством здравоохранения [], наличие которых запрещает субъекту управлять транспортным средством.

2.2. *Психоэмоциональное состояние* водителя. Включает такие показатели как: а) повышенная возбудимость, нервозность, психическая неуравновешенность; в частности при возникновении дорожных проблем (стояние в дорожной пробке; готовность и даже стремление выяснить отношение с «обидчиком» в неприятном дорожном эпизоде); б) общий высокий уровень эмоционального состояния (возбужденность); в) отсутствие психических и нервных заболеваний у водителя.

2.3. *Наличие признаков алкогольного, наркотического или психотропного опьянения*. Включает показатели: а) степени алкоголя в организме водителя; б) наличие наркотических веществ в организме; в) повышенное содержание лекарственных препаратов, способных оказать опьяняющее или другое нежелательное воздействие на головной мозг водителя; г) следы потребления токсичных веществ бытовой химии, способность вызвать галлюцинации и психические расстройства.

2.4. *Знание правил дорожного движения и правил безопасности*. Включает знание: а) правил дорожного движения; б) методов оказания первой медицинской помощи; в) правил и способов поведения при возникновении различных нежелательных и опасных инцидентов и событий на дороге.

3. Состояние дорожной системы.

3.1. *Встречный транспорт*: а) тип транспортного средства; б) скорость движения; в) полоса движения; г) стабильность движения и поведение, адекватно текущему состоянию на дороге.

3.2. *Попутный транспорт*: а) типы транспортных средств спереди и сзади; б) скорости движения транспортных средств спереди и сзади; в) полоса движения каждого из транспортных средств вокруг автомобиля; г) стабильность движения и поведение, адекватно текущему состоянию на дороге.

3.3. *Поперечный транспорт*: а) типы транспортных средств на поперечной дороге; б) скорости движения транспортных по поперечной дороге; в) выполнение поперечным транспортом требований правил дорожного движения по въезду на поперечные дороги и выезду с них.

3.4. *Транспортные средства специального назначения:* а) специальный автотранспорт скорой медицинской помощи, пожарной службы, полиции; б) служебные транспортные средства руководства государства и региона; в) автомобили и колонны автомобилей, сопровождаемые дорожной полицией (военные колонны, перевозка детей); г) перевозка тяжелых и негабаритных грузов.

3.5. *Посторонние предметы на дороге:* а) твердые предметы достаточно легкие для того, чтобы быть отброшенными автотранспортом при столкновении с ними или при попадании под колеса движущегося автотранспорта (например, деревянные и пластмассовые предметы); б) твердые тяжелые предметы, при столкновении с которыми автомобиль не может отбросить их и происходит его повреждение (например, каменные, бетонные и металлические изделия); в) сыпучие материалы, при наезде на которые автомобиль может резко замедлить движение (песок, мелкая щебенка); г) жидкие вещества на дорожном полотне, при наезде на которые автомобиль может потерять управляемость.

3.6. *Переходы для пешеходов:* а) количество переходов; б) степень их наблюдаемости со стороны водителей и технической оснащенности; в) наличие инженерных и иных изменений поверхности дороги на переходах (более высокий уровень покрытия, «лежачий полицейский»), вынуждающих водителей снизить скорость движения.

3.7. *Дорожное полотно.* Включает следующие показатели: а) ширина дорожного полотна и количество полос по каждому направлению; б) тип покрытия (асфальт, грунтовое, галечное покрытие) в) качество дорожного покрытия (степень гладкости, наличие выбоин и неровностей); г) горизонтальная кривизна дороги; д) вертикальная кривизна; е) угол бокового наклона; ж) характеристики туннелей; з) характеристики мостовых сооружений и технических средств (например, паромных переправ), предназначенных для преодоления водных преград.

3.8. *Перекрестки и съезды:* а) оснащенность светофорами; б) установление статусов главных магистралей и вспомогательных дорог; в) характеристики двухуровневых перекрестков; г) наличие технических средств, препятствующих движению на съездах (например, шлагбаумы на въездах на платные дороги); д) оснащенность пересечений с железнодорожными путями.

3.9. *Дорожная планировка и разметка.* Включает: а) количество полос по каждой полосе движения; б) наличие или отсутствие тротуаров, пешеходных и велосипедных полос; в) наличие дорожной разметки (разделительных полос между полосами встречного и попутного движения, пешеходных переходов, стоянок); г) наличие мест остановок и стоянок автотранспорта вдоль дорог.

3.10. *Разделительные и защитные ограждения:* а) наличие элементов, разделяющих полосы встречного движения (разделительные линии, каменные и бетонные бордюры, растительные насаждения, пешеходные бульвары); б) защитные ограждения вдоль дорог, препятствующие проникновению на дорогу людей и животных; в) защитные ограждения дорог на опасных участках движения (например, горных).

3.11. *Средства наблюдения и контроля:* а) наличие средств освещения и/или средств сигнализации для движения в темное время суток и при плохих погодных условиях; б) средства контроля состояния дорожного покрытия; в) средства контроля скорости движения автотранспорта (датчиковые системы, средства видеонаблюдения); г) техническая оснащенность дороги средствами регулирования транспортного потока (светофоры, система «бегущая волна», системы на основе систем позиционирования GPRS, ГЛОНАСС).

4. Внешние условия.

4.1. *Погодно-климатические условия:* а) температура; б) влажность; в) наличие осадков (дождь, снег); г) сильный ветер; д) природные катаклизмы (ураганы разных видов, град, сильная жара, проливные дожди, наводнения); е) время суток.

4.2. *Животные или насекомые на проезжей части.* Включает характеристики следующих вариантов показателя: а) крупные дикие животные (лоси, медведи); б) мелкие дикие животные (зайцы, лисицы и др.); в) домашние животные – одиночные и стада; г) большие скопления насекомых (например, саранчи).

4.3. *Дорожная полиция.* Включает характеристики состава патрульной группы и ее местонахождения: а) в стационарных пунктах; б) вдоль автотрасс; в) на патрульном автотранспорте; г) на вертолетах.

4.4. *Страховые кампании:* а) статус (государственная компания, частная); б) уровень престижа на рынке страховых услуг; в) условия страхования.

5. Законодательные и нормативные требования и ограничения.

5.1. *Законодательство в дорожно-транспортной сфере:* а) права и обязанности всех участников; б) ответственности всех сторон; в) требования и правила страхования.

5.2. *Нормативные требования:* а) правила дорожного движения; б) ограничения, установленные региональными органами дорожной полиции.

5.3. Скоростные и иные ограничения на дорогах.

5.4. Ограничения, установленные местными органами власти.

Таким образом, сформирована система из 5 показателей первого уровня, 26 показателей второго уровня и из не менее 93 показателей третьего уровня (некоторые требуют уточнения), охватывающая все основные аспекты формирования дорожной ситуации в каждый момент времени. Значения подавляющей части этих показателей могут быть в принципе получены с помощью различных датчиков и датчиковых устройств – получены либо в настоящее время, либо в ближайшем будущем. Таковыми являются следующие показатели: практически все показатели группы 1, групп 2.3, часть показателей групп 2.2 и 2.4, почти все показатели групп 3 и 4. Остальные показатели оцениваются на основе обследований, тестовых методов и выбираются из соответствующей справочной и нормативной документации. Конкретная технология реализации указанной системы сбора исходных и входных данных в составе автоматизированной систем требует дальнейших разработок.

2. Общая структура компьютерного тренажера

В данном разделе рассматривается вторая из описанных выше задач – задача разработки компьютерного тренажера, предназначенного для обучения водителей действиям в нестандартных и чрезвычайных ситуациях. Общая блок-схема алгоритма приведена на рис. 2.

Приведем более подробные пояснения.

В систему включены три возможные услуги, упомянутые выше:

1) просмотр теории, относящейся к конкретной дорожной ситуации, либо по конкретной тематике, связанной с дорожным движением – блок 8 алгоритма;

2) тренинг либо по конкретной дорожной ситуации, представляющей интерес для пользователя, либо по ситуации, выбираемой тренажером на основе статистического материала, связанного с пользователем, либо на основе общестатистического материала – блок 9;

3) проведение тестирования на знание законодательных норм и правил дорожного движения по конкретной дорожной ситуации – блок 10.

Предварительно происходит регистрация пользователя. При этом если он входит в систему в первый раз, то должен ввести свои аутентификационные данные (блоки 1 и 3), данные об одном или нескольких автосредствах – своих или тех, на которых он хотел бы отшлифовывать и совершенствовать свои навыки вождения (блок 5). Все перечисленные данные заносятся в соответствующую базу данных (блок 6). Если же пользователь работает с системой не в первый раз, то есть его данные имеются в базе данных системы, то он проходит процедуру аутентификации (регистрации) – блок 2, и, по желанию пользователя, ему выдается информация, связанная с его работой в системе в прошлом (блок 4).

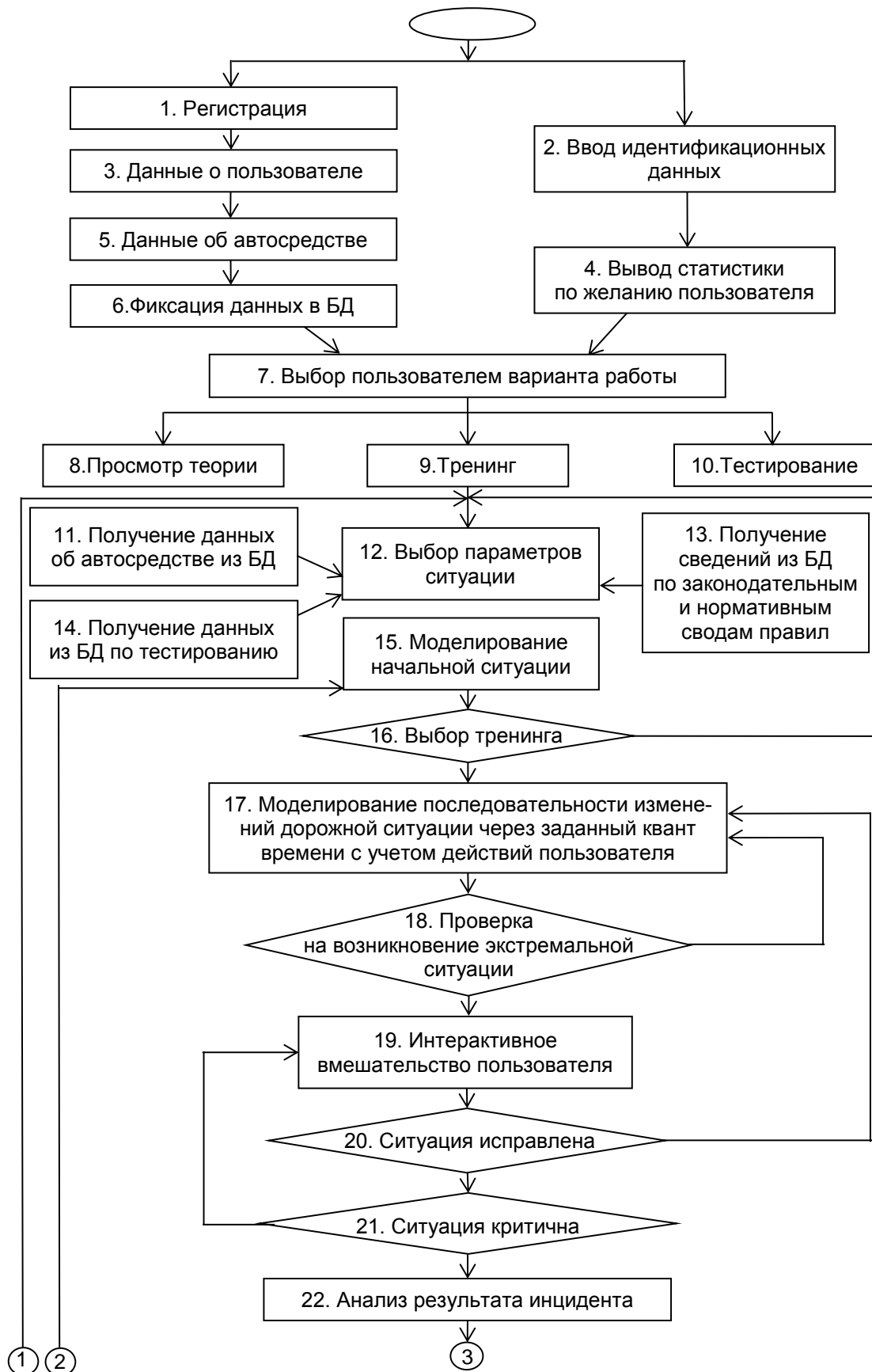


Рис. 2. Общая блок-схема алгоритма (начало)

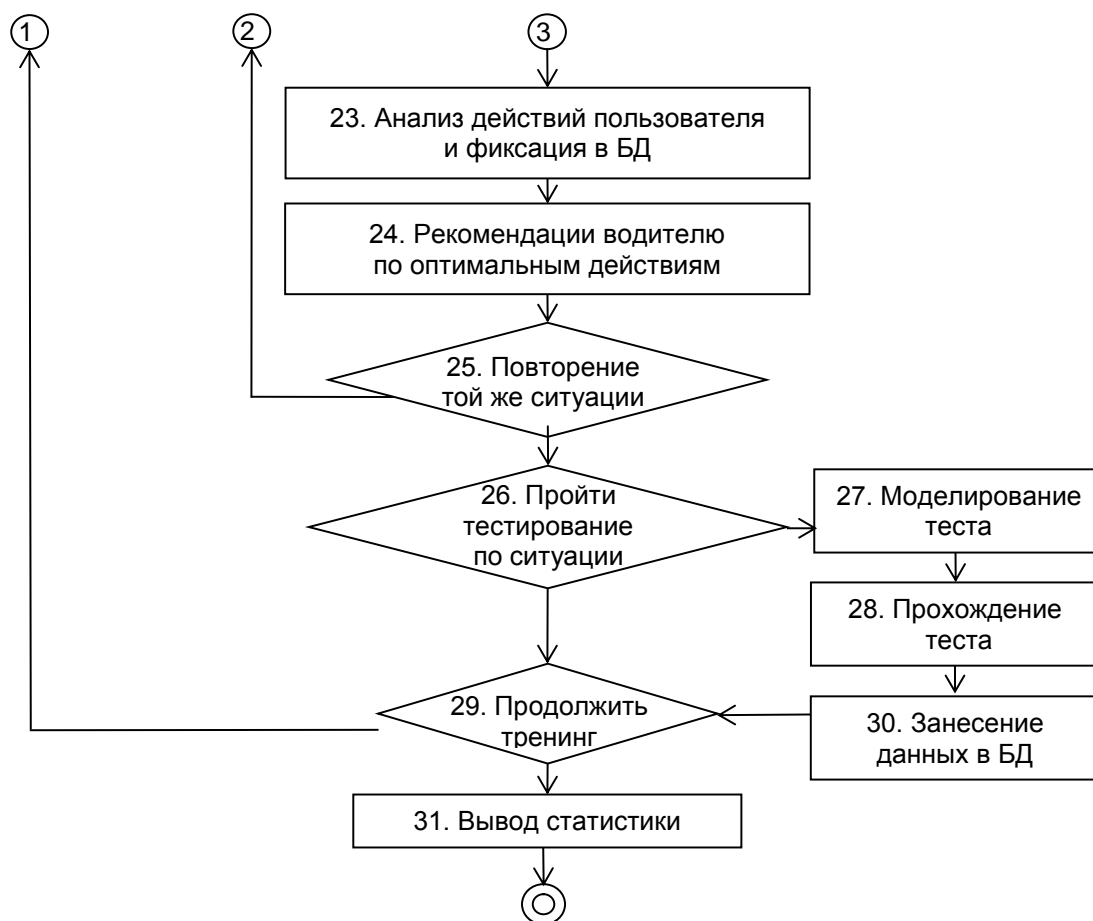


Рис. 2. Общая блок-схема алгоритма (окончание)

Вся последующая часть алгоритма посвящена основной услуге – тренингу. Именно, если пользователь выбрал услугу «тренинг» (блок 7), то, прежде всего, происходит формирование соответствующей нестандартной ситуации либо уточнение ее характеристик (блок 12). При этом учитываются параметры того транспортного средства, которое зафиксировано за пользователем (либо одного из этих средств, если их много), либо пользователь выбирает сам транспортное средство из списка тех, которые имеются в базе данных системы (блок 11). Учитываются также результаты предыдущего опыта тренинга пользователя в данной или в схожих ситуациях (блок 14) для того, чтобы в процессе проведения тренинга пользователь более целенаправленно устранял недостатки в своих навыках. Кроме того, пользователю может быть предоставлена нормативно-справочная информация, связанная с данной ситуацией с целью оценки пользователем своих действий и действий других участников дорожного происшествия. Процесс подготовки заканчивается формированием начальной ситуации (блок 15); при этом если полученная ситуация, по мнению пользователя, требует определенных изменений, то он может возвратиться к блоку 12 с целью изменения параметров ситуации.

Непосредственно моделирование последовательных изменений дорожной ситуации осуществляется в блоке 17, где с учетом текущих параметров всех автотранспортных средств и других параметров через равные кванты времени происходит перерасчет этих параметров с учетом, в том числе, интерактивных действий пользователя и по результатам вычислений – визуализация новой ситуации. При этом каждая вновь сформированная ситуация классифицируется либо как нормальная, либо как нестандартная, экстремальная или аварийная (блок 18). При возникновении нестандартных ситуаций дальнейшее развитие ситуации определяется действиями (или бездействием) пользователя (блоки 19, 20). Дальнейшее развитие

ситуации может привести к аварии; в этом случае процесс моделирования прекращается и проводится анализ действия пользователя в аварийной ситуации (блоки 22, 23) выявлением неоптимальных действий и ошибок, а также выработка рекомендаций пользователю по повышению эффективности поведения в подобных ситуациях.

Далее пользователь может выбрать либо повторное проведение тренинга (блок 29), в том числе и по той же ситуации, либо пройти тестирование по правилам дорожного движения и нормативным требованиям, имеющим непосредственное отношение к возникшей нестандартной ситуации (блоки 27, 28, 30). При выходе из системы пользователю предоставляется отчет о параметрах и результатах его работы в текущей сессии.

Итак, приведенный алгоритм включает порядка тридцати блоков, которые относительно независимы и поэтому могут реализовываться и совершенствоваться независимо друг от друга.

Заключение

В работе получены следующие результаты:

1. Проведена системная классификация всех основных факторов, которые могут оказать влияние и воздействие на текущую дорожную ситуацию. В работе приведено три уровня иерархической классификации факторов. Данная классификация особенно актуальна применительно к чрезвычайным и аварийным ситуациям. Знание всех основных факторов, которые формируют конкретную ситуацию на дороге, позволяет сформировать систему датчиковых устройств, которые обеспечивали сбор данных по всем перечисленным факторам, что является необходимой основой для построения автоматизированной системы контроля ситуации, в которой находится автосредство в каждый текущий момент времени, и даже обеспечить автоматизированное управление автомобилем.

2. Приведена общая блок-схема алгоритма программной системы, предназначенной для проведения тренингов по развитию навыков и умений, связанных с поведением водителя в различных нестандартных ситуациях на дороге.

Дальнейшие исследования связаны, прежде всего, с формированием начального варианта проекта размещения в автосредстве различных датчиковых устройств, обеспечивающих сбор всех перечисленных в работе данных. Также представляет интерес задача формирования автоматизированной системы выработки возможных управляющих воздействий в различных ситуациях, что может быть реализовано аналогично [5]. Применительно к компьютерному тренажеру необходимо выполнить разработку, программно реализующую приведенную на рис. 2 блок-схему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесниченко Д. 150 ситуаций на дорогах, которые должен уметь решать каждый водитель. М.: АСТ, Прайм-Еврознак, 2009. 309 с.
2. Цыганков Э.С. Скоростное руление в критических ситуациях: учебник. Сер. Высшая школа водительского мастерства. М., Транспорт, 2002. 47 с.
3. Клочанов Н.И. Безопасное управление автомобилем. М.: Феникс, 2003. 377 с.
4. Цыганков Э.С. Экстренное маневрирование. М.: Транспорт, 1993. 69 с.
5. Попов Г.А., Попова Е.А. Формирование состава методов, минимизирующих суммарные затраты на решение задач управления // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Управление, вычислительная техника и информатика. 2012. № 2 (август). С. 156-160.

Муратов Роман Маратович – магистр 2 курса Астраханского государственного университета Россия, г. Астрахань

Roman M. Muratov – 2nd year master's degree in Astrakhan state University, Russia, Astrakhan

Попов Георгий Александрович –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационная
безопасность» Астраханского
государственного университета

Georgiy A. Popov –
doctor of technical Sciences, Professor,
head of the Department "Information security"
of Astrakhan State University

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 621.45: 519. 816

Г.М. Чуркин, В.И. Шиловский

ВЫБОР СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПО КАНАЛУ РАСХОДА НЕФТИ

Формируется информационная модель описания средств автоматизации по каналу расхода нефти. Задача выбора средств автоматизации по техническому заданию рассматривается как задача гипервекторного ранжирования. Решение проводится методом идеальной точки в пространстве критериев.

Средства автоматизации, задачи выбора, ранжирование

G.M. Churkin, V.I. Shilovskiy

CHOICE OF MEANS OF AUTOMATION IN CHANNEL FLOW OF OIL

There is forming an information model of descriptions of automation via the flow of oil. The task of choosing automation equipment under the technical project is seen as a problem hypervector ranking. The solution is carried out by an ideal point in space criteria.

Automation, the problem of choice, ranking

Введение. Многие нефтеперерабатывающие производства имеют непрерывный характер технологического процесса, обеспечивающего многоступенчатую переработку нефтяного сырья в продукты массового потребления. Для эффективной организации этих производств необходимо постоянно контролировать и управлять как количеством откачанного сырья, так и количеством закаченного.

Для реализации повышенных требований к точности учета количества жидких продуктов при проведении различных технологических процессов и товарно-сырьевых операций используют высокоточные измерители расхода жидкостей, называемые интеллектуальными датчиками расхода [1].

В данной работе решается задача выбора средств автоматизации контроля и управления по каналу расхода на этапе проектирования. Суть задачи заключается в том, что из заданного множества образцов средств автоматизации указанных выбирается образец, который соответствует требованиям технического задания и требует минимальных затрат на приобретение и эксплуатацию.

Поставленная задача рассматривается как частный случай задачи выбора индивидуальных средств автоматизации АСУ ТП [2]. Решение задачи как задачи гипервекторного ранжирования (ГВР) проводится *методом идеальной точки в пространстве критериев* [3, 4].

Постановка задачи. Пусть в качестве *идеальной точки в пространстве критериев* для решения задачи выбора индивидуальных средств автоматизации по каналу расхода нефти будем рассматривать требования технического задания (ТЗ) на выбор образцов технического средства (ТС). Тогда, в соответствии с работой [2], это означает, что из множества функциональных признаков, предлагаемых ГОСТ 21.404-85 [5] определено множество необходимых функциональных признаков

$$O^T = \{ O_v^T \}; \quad v = \overline{1, \psi}, \quad (1)$$

где O_v^T – оценка v -го признака ТС в техническом задании выбора.

Множество O^T представим в виде последовательности кортежей

$$O^T = \left\langle \left\langle \varepsilon_1^T, O_1^T, \theta_1 \right\rangle, \dots, \left\langle \varepsilon_v^T, O_v^T, \theta_v \right\rangle, \dots, \left\langle \varepsilon_\psi^T, O_\psi^T, \theta_\psi \right\rangle \right\rangle, \quad (2)$$

где $\left\langle \varepsilon_v^T, O_v^T, \theta_v \right\rangle$ – кортеж, в котором ε_v^T – логическая переменная, соответствующая наличию v -го функционального признака у выбираемого технического средств; θ_v – коэффициент важности v -го признака ТС технического задания.

Оценку v -го признака технического средства в техническом задании выбора O_v^T представляется в виде последовательности кортежей

$$O_v^T = \left\langle \left\langle c_{v1}^T, O_{v1}^T, \theta_{v1} \right\rangle, \dots, \left\langle c_{vs}^T, O_{vs}^T, \theta_{vs} \right\rangle, \dots, \left\langle c_{vm}^T, O_{vm}^T, \theta_{vm} \right\rangle \right\rangle, \quad (3)$$

где $\left\langle c_{vs}^T, O_{vs}^T, \theta_{vs} \right\rangle$ – кортеж, в котором c_{vs}^T – логическая переменная, соответствующая наличию s -го свойства v -го функционального признака у технического средств ТЗ; O_{vs}^T – оценка s -го свойства v -го функционального признака ТС технического задания, θ_{vs} – коэффициент важности s -го свойства v -го функционального признака ТС технического задания.

Каждый параметр свойства O_{vs}^T имеет порядковую шкалу количественных оценок. Оценки параметров свойств могут быть:

а) точечными ($L_s^T = x_s, x_s \in R, R$ – множество вещественных чисел);

б) интервальными ($P_s^T = \left[\underline{y}_{s1}^T, \overline{y}_{s1}^T \right] \in R$ – интервалы);

Здесь $\underline{y}_i^T, \overline{y}_i^T$ – вещественные значения нижней и верхней границ параметра y_i^T соответственно. Случай нечетких оценок не рассматривается.

Множество L^T представляется в виде последовательности кортежей

$$L_s^T = \left\langle \left\langle l_{s1l}^T, x_{s1l}^T, \gamma_{s1l}, \theta_{s1l} \right\rangle, \dots, \left\langle l_{sli}^T, x_{sli}^T, \gamma_{sli}, \theta_{sli} \right\rangle, \dots, \left\langle l_{slk}^T, x_{slk}^T, \gamma_{slk}, \theta_{slk} \right\rangle \right\rangle, \quad \kappa \leq m_s, \quad (5)$$

где $\left\langle l_{sli}^T, x_{sli}^T, \gamma_{sli}, \theta_{sli} \right\rangle$ – кортеж, в котором l_{sli}^T – логическая переменная, соответствующая наличию li -го параметра s -го свойства у выбираемого технического средств;

$$l_{sli}^T = \begin{cases} 1 - \text{наличие } i - \text{го параметра } l s - \text{го свойства,} \\ 0 - \text{отсутствие } i - \text{го параметра } l s - \text{го свойства;} \end{cases}$$

x_{sli}^T – численное значение li -го параметра s -го свойства, больше или меньше которого не должен быть параметр выбираемого ТС; γ_i – конкретизирует понятия «больше», «меньше», т.е.

$$\gamma_{sli} = \begin{cases} -1 & \text{при } x_{sli} \leq x_{sli}^T, \\ 0 & \text{при } l_{sli}^T = 0, \\ 1 & \text{при } x_{sli} \geq x_{sli}^T; \end{cases}$$

x_{sli} – оценка параметра l_{si} выбираемого ТС; θ_{sli} – коэффициент важности параметра x_{sli}^T s -го свойства ТС технического задания.

Множество P_s^T представляется в виде последовательности кортежей

$$P_s^T = \left\{ \left\langle p_{sp1}^T, \left[\underline{y_{sp1}^T}, \overline{y_{sp1}^T} \right], \theta_{sp1} \right\rangle, \dots, \left\langle p_{spi}^T, \left[\underline{y_{spi}^T}, \overline{y_{spi}^T} \right], \theta_{spi} \right\rangle, \dots, \left\langle p_{spf}^T, \left[\underline{y_{spf}^T}, \overline{y_{spf}^T} \right], \theta_{spf} \right\rangle \right\}, f \leq m_s, \quad (6)$$

где $\left\langle p_{spi}^T, \left[\underline{y_{spi}^T}, \overline{y_{spi}^T} \right], \theta_{spi} \right\rangle$ – кортеж, в котором p_{spi}^T – логическая переменная, соответствующая наличию pi -го параметра s -го свойства у выбираемого технического средств, и принимающая значения аналогично переменной l_{sli}^T ; $\underline{y_{spi}^T}, \overline{y_{spi}^T}$ – вещественные значения нижней и верхней границ параметра y_{spi}^T соответственно; θ_{spi} – коэффициент важности параметра y_{spi}^T ТС технического задания.

Аналогично формализуем характеристик образцов ТС для выбора.

Количество функциональных признаков у каждого образца ТС A_j множества $A = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A_n\}$ допустимых образцов технического средства. различно, т.е.

$$O^{A_j} = \{ O_v^{A_j} \}; \quad v = 1, \overline{\Psi_{A_j}}; \quad j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где Ψ_{A_j} – количество функциональных признаков.

Множество O^{A_j} представим в виде последовательности кортежей

$$O^{A_j} = \left\{ \left\langle \varepsilon_1^{A_j}, O_1^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle \varepsilon_v^{A_j}, O_v^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle \varepsilon_{\Psi}^{A_j}, O_{\Psi}^{A_j} \right\rangle \right\}, \quad (8)$$

где $\left\langle \varepsilon_v^{A_j}, O_v^{A_j} \right\rangle$ – кортеж, в котором ε_v^T – логическая переменная, соответствующая наличию v -го функционального признака у выбираемого технического средств.

Оценку v -го признака технического средства техническом задании выбора $O_v^{A_j}$ представляется в виде последовательности кортежей

$$O^{A_j} = \left\{ \left\langle c_1^{A_j}, O_1^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle c_s^{A_j}, O_s^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle c_h^{A_j}, O_h^{A_j} \right\rangle \right\}, \quad (9)$$

где $\left\langle c_s^{A_j}, O_s^{A_j} \right\rangle$ – кортеж, в котором $c_s^{A_j}$ – логическая переменная, соответствующая наличию s -го свойства у A_j образца выбираемого технического средств; $O_s^{A_j}$ – векторная оценка s -го свойства A_j образца.

Оценку какого-либо свойства образца технического средства ТЗ представим в виде

$$O_s^{A_j} = L_s^{A_j} \cup P_s^{A_j}, \quad (10)$$

где $L_s^{A_j}, P_s^{A_j}$ – множества оценок s -го свойств A_j , принимающих вещественные и интервальные значения соответственно.

Формальное описание множеств оценок s -го свойства A_j образца технического средства $L_s^{A_j}, P_s^{A_j}$ аналогично описанию множества оценок L_s^T, P_s^T технического задания соответственно и имеет вид

$$L_s^{A_j} = \left\{ \left\langle l_{s1l}^{A_j}, x_{s1l}^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle l_{sli}^{A_j}, x_{sli}^{A_j} \right\rangle, \dots, \left\langle l_{s\kappa k}^{A_j}, x_{s\kappa k}^{A_j} \right\rangle \right\}, \kappa \leq h_s, \quad (11)$$

$$P_s^{A_j} = \left\{ \left\langle p_{sp1}^{A_j}, \left[\underline{y_{sp1}^{A_j}}, \overline{y_{sp1}^{A_j}} \right] \right\rangle, \dots, \left\langle p_i^T, \left[\underline{y_{spi}^{A_j}}, \overline{y_{spi}^{A_j}} \right] \right\rangle, \dots, \left\langle p_{spf}^{A_j}, \left[\underline{y_{spf}^{A_j}}, \overline{y_{spf}^{A_j}} \right] \right\rangle \right\}, f \leq h. \quad (12)$$

Описание элементов кортежей выражений (11)-(12) совпадает с описанием элементов кортежей выражений (5)-(6) и относится к параметрам свойств A_j образца ТС.

Удовлетворение требований по параметрам s -го свойств (5)-(6) каждого образца оценим по критериям:

– для точечных оценок

$$\delta_{sli}^{A_j} = \begin{cases} 1, \text{ если } D_{sli} = \left(l_{sli}^T \wedge l_{sli}^{A_j} \right) \wedge \left[\left(x_{sli}^{A_j} \leq x_{sli}^T \right) \wedge (\gamma_{sli} = -1) \right] \vee \left[\left(x_{sli}^{A_j} \geq x_{sli}^T \right) \wedge (\gamma_{sli} = 1) \right], \\ 0, \text{ если } \overline{D_{sli}} = \left(l_{sli}^T \wedge l_{sli}^{A_j} \right) \wedge \left[\left(x_{sli}^{A_j} \leq x_{sli}^T \right) \wedge (\gamma_{sli} = -1) \right] \vee \left[\left(x_{sli}^{A_j} \geq x_{sli}^T \right) \wedge (\gamma_{sli} = 1) \right]; \end{cases} \quad (13)$$

– для интервальных оценок

$$\delta_{spi}^{A_j} = \begin{cases} 1, \text{ если } D_{spi} = \left(p_{spi}^T \wedge p_{spi}^{A_j} \right) \wedge \left[\underline{y_{spi}^{A_j}}, \overline{y_{spi}^{A_j}} \right] \subset \left[\underline{y_{spi}^T}, \overline{y_{spi}^T} \right], \\ 0, \text{ если } \overline{D_{spi}} = \left(p_{spi}^T \wedge p_{spi}^{A_j} \right) \wedge \left[\underline{y_{spi}^{A_j}}, \overline{y_{spi}^{A_j}} \right] \not\subset \left[\underline{y_{spi}^T}, \overline{y_{spi}^T} \right]. \end{cases} \quad (14)$$

Оценки (13)-(14) будем рассматривать как скалярные критерии.

Оценку свойства функционального признака s образца ТС A_j будем рассматривать как оценку векторного критерия. В качестве оценки используем норму вектора, т.е.

$$\|I_s^{A_j}\| := \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(a_{sli}^{A_j} \delta_{sli}^{A_j} \right)^2 + \sum_{i=1}^f \left(a_{spi}^{A_j} \delta_{spi}^{A_j} \right)^2}. \quad (15)$$

В выражениях (15) $a_{sli}^{A_j}, a_{spi}^{A_j}$ – коэффициенты важности соответственно точечных и интервальных оценок скалярных критериев для каждого свойства s , причём

$$\sum_{i=1}^k a_{sli}^{A_j} + \sum_{i=1}^f a_{spi}^{A_j} = 1.$$

Удовлетворение требований по совокупности свойств каждого функционального признака I_v^{Aj} образца оценим нормой вектора оценок по свойствам

$$\|I_v^{Aj}\| := \sqrt{\sum_{s=1}^m \left(a_s^{Aj} \|I_s^{Aj}\| \right)^2}, \quad v = \overline{1, \psi}; \quad \sum_{s=1}^m a_s^{Aj} = 1, \quad (16)$$

где a_s^{Aj} – коэффициент важности свойства s функционального признака v образца A_j ; m – количество свойств функционального признака.

Удовлетворение требований по совокупности функциональных признаков I^{Aj} образца A_j будем оценивать по критерию

$$\|I_v^{Aj}\| := \sqrt{\sum_{v=1}^{\Psi} \left(a_v^{Aj} \|I_v^{Aj}\| \right)^2}; \quad \sum_{v=1}^{\Psi} a_v^{Aj} = 1, \quad (17)$$

где a_v^{Aj} – коэффициент важности функционального признака v образца A_j ; Ψ – количество функциональных признаков.

Для требований ТЗ, определяемых (1)-(6), необходимо построить упорядоченное множество эффективных образцов ТС (кортеж Парето), описание которых задано (7)-(12), и выбрать наилучший образец для практического использования по критериям (13-17). Элементы кортежа $P = \{A_1^0, \dots, A_j^0, \dots, A_n^0\}$ должны быть ранжированы в соответствии с решающими правилами так, чтобы выполнялось условие $A_1^0 \succ \dots \succ A_j^0 \succ \dots \succ A_n^0$, где « \succ » – знак отношения доминирования.

Пример. Постановка задачи. Заданы требования технического задания на выбор индивидуальных средств автоматизации по каналу расхода нефти (табл. 1) и исходное множество образцов в количестве 7 шт. (табл. 2).

В табл. 1 параметры функциональных признаков описываются векторными критериями K_1 - K_4 , составляющими которых являются соответственно скалярные критерии K_{11} - K_{16} , K_{21} - K_{22} , K_{31} - K_{32} , K_{41} - K_{42} .

Таблица 1

Виды критериев технического задания

Векторные критерии	Скалярные критерии	Наименование параметров свойств	Оценки скалярных критериев
K_1 – измерение	K_{11}	Диапазон потока, м/с	0,1-6,5
	K_{12}	Диапазон температур, °С	-40-120
	K_{13}	Максимальное давление, бар	100
	K_{14}	Размер трубы, мм	15-300
	K_{15}	Направление	двунаправленный
	K_{16}	Дополнительно измеряемые величины	Температура
K_2 – сигнализация	K_{21}	Наличие отображения информации	Дисплей
	K_{22}	Интерфейс передачи данных	RS-485
K_3 – регистрация	K_{31}	Погрешность, %	$\pm 0,5$
	K_{32}	Максимальное значение расхода, м ³ /ч	3000
K_4 – надежность	K_{41}	Гарантийный срок эксплуатации, мес.	18
	K_{42}	Степень защиты	IP 67

Таблица 2

Характеристики параметров функциональных признаков

Номер образца	Образцы						
	1	2	3	4	5	6	7
Скалярные критерии	Модель						
	Krohne OPTIMASS 2000	Днепр-7	Siemens SITRANS FUM1010	ТОКYO KEIKI UFL-30	Rosemount 8800d	ЭМИС-ВИХРЬ 200	ЭМИС-ДИО 230
K_{11}	0,2-10	0,1-10	-12-12	-30-30	0,22-7,6	0,1-10	0,1-6,5
K_{12}	-45...130	-50...150	-40...120	-20...60	-20...85	-40...460	-20...250
K_{13}	180	200	250	200	250	40	65
K_{14}	100-250	50-1600	6.4-9140	25-6000	15-300	15-300	8...400
K_{15}	Одно-направленный	Одно-направленный	Двунаправленный	Двунаправленный	Однонаправленный	Однонаправленный	Двунаправленный
K_{16}	Плотность, масс. расход, температура	Нет	Плотность, масс. расход	Нет	Нет	Нет	Нет
K_{21}	Дисплей	Дисплей	Дисплей	Дисплей	Дисплей	Дисплей	Дисплей
K_{22}	RS-485	RS-232	RS-232	RS-232	HART, FF	HART, RS-485	RS-485
K_{31}	$\pm 0,1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 0,05\%$	$\pm 1\%$	$\pm 0,65\%$	$\pm 0,75\%$	$\pm 0,5\%$
K_{32}	1200	3171	9999,9	6578	2002	2370	1700
K_{41}	12	12	12	12	12	18	18
K_{42}	IP67	IP54	IP 65	IP 65	IP 65	IP 65	IP 65
K_{51}^*	200130	177810	1 064 877	650000	390105	171000	238000

* K_{51} – стоимость образца.

Примечание. В качестве показателей свойств можно рассматривать стоимость K_5 , которая, например, может включать в себя закупочную стоимость K_{51} и стоимость эксплуатации K_{52} . Данные по затратам на эксплуатацию приведенных образцов в табл. 2 не представлены.

Используя выражения (13)-(14), получим оценки удовлетворения по скалярным критериям (см. табл. 3).

Таблица 3

Номер образца	Скалярные критерии											
	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	K_{21}	K_{22}	K_{31}	K_{31}	K_{41}	K_{42}
1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1
2	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
4	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
5	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
6	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0
7	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0

Оценка удовлетворения скалярных критериев требованиям ТЗ

Оценки по функциональным признакам (векторным критериям), полученные по выражению (16) при коэффициентах важности $a_s^{A_j}$ равных единице, представлены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка критериев по функциональным признакам

Функциональные признаки	Номер образца						
	1	2	3	4	5	6	7
Измерение	1,732	1,732	2,45	1,732	1,414	1,732	2
Сигнализация	1,414	1	1	1	1	1,414	1,414
Регистрация	1	1	1,414	1	0	0	1
Надежность	1	0	0	0	0	1	1

В табл. 5 приведены оценки по общему критерию (17) для заданных образцов 1-7 при a_{ν}^A равных единице.

Таблица 5

Оценки общего критерия по образцам

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7
Общий критерий	2,645	2,236	3	2,236	1,732	2,45	2,83

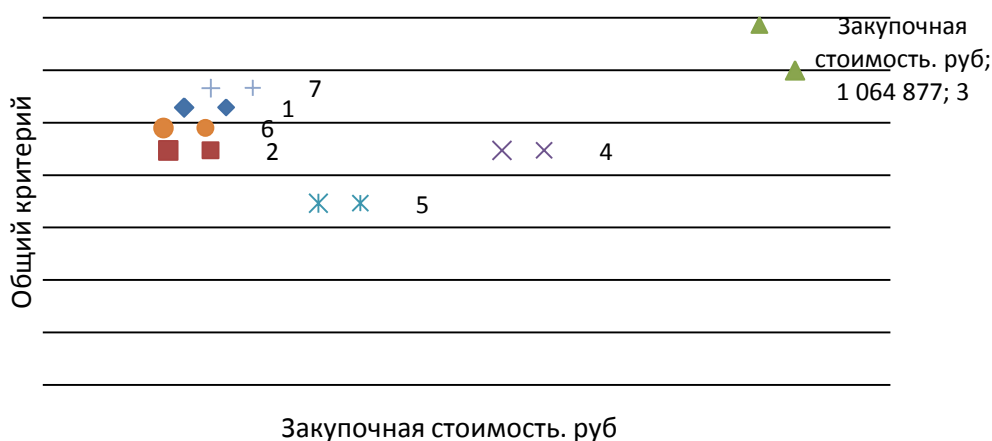
Из табл. 5 кортеж предпочтений Парето:

$$P = \{3, 1, 7, 6, (2, 4), 5\},$$

где выражение (2, 4) указывает на то, что объекты 2 и 4 по общему критерию эквивалентны.

Наиболее полно удовлетворяет требованиям ТЗ образец 3 – Siemens SITRANS FUI1010. Меньше всего удовлетворяет требованиям ТЗ образец 5 – Rosemount 8800d.

Отообразим оценки удовлетворения требованиям ТЗ по образцам в координатах плоскости Цена/Общий критерий (удовлетворение требованиям ТЗ) на рисунке.



Зависимость удовлетворения технических характеристик образцов требованиям ТЗ от закупочной стоимости

Заключение

1. Решение задачи выбора средств автоматизации по каналу расхода нефти как задачи гипервекторного ранжирования методом идеальной точки позволяет упорядочить представленные образцы по удовлетворению техническим требованиям ТЗ.

2. Использование предлагаемого подхода позволяет проектантам быть более объективными в выборе средств автоматизации по каналу расхода нефти для конкретного набора образцов.

3. Использование графического представления соотношения закупочная стоимость / удовлетворение технических характеристик образцов требованиям ТЗ позволяет определить стоимостные затраты по упорядоченным образцам.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.673-2009: Государственная система обеспечения единства измерений. Датчики интеллектуальные и системы измерительные интеллектуальные. Основные термины и определения. М.: Стандартинформ, 2010. 12 с.

2. Чуркин Г.М., Великанов А.М., Тырин Е.А. К вопросу о выборе средств автоматизации АСУ ТП // Вестник СГТУ. 2013. № 2 (70). С. 151-158.

3. Сафронов В.В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования: монография. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.

4. Сафронов В.В. Гипервекторное ранжирование сложных систем // Информационные технологии. 2003. № 5. С. 23-26.

5. ГОСТ 21.404-85: Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ, 2007. 12 с.

Чуркин Геннадий Максимович – доцент кафедры «Радиоэлектроника и телекоммуникации» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Gennady M. Churkin – Associate Professor of Radio-electronics and telecommunications” Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Шиловский Владислав Игоревич – студент Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Vladislav I. Shilovskiy – Student of the Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

УДК 004.032.24

Г.М. Чуркин, Н.О. Пинюгин

К ФОРМИРОВАНИЮ КОНЦЕПЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Предлагается в качестве компонент при формировании концепций АС использовать концепции ресурсов информационных технологий с концепциями её структурных элементов. Для АСУ ТП при формировании концепций системы или её компонент используются ресурсы типовых информационных процессов, формирующих управление и соответствующих функциональным признакам стандарта ГОСТ 21404-85.

Концепция, проектирование, автоматизированные системы

G.M. Churkin, N.O. Pinyugin

TOWARDS THE FORMATION OF THE CONCEPT OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS

Offered as component at forming of conceptions AC to use conceptions of resources of information technologies with conceptions of its structural elements. For ASU TP at forming of conceptions of the system or its component it is suggested to use the resources of model informative processes, formings a management and proper the functional signs of standard GOST 21404-85.

The concept, design, the automated systems

Введение. Стандарты на создание автоматизированных систем (АС) и систем, интенсивно использующих программное обеспечение (Software Intensive Systems, SIS), имеют стадии концептуального проектирования [1,2].

От качества решений стадии концептуального проектирования зависит как эффективность системы, так и экономическая составляющая её создания. Более того, неэффективный вариант выбранной концепции не может быть исправлен в дальнейшем.

Несмотря на важность результатов этого этапа проектирования, разработка концепции АС на сегодня часто находится в области интуиции и опыта проектировщиков.

Концепция АС, как концепция системы, представляет собой определенную систему связанных между собою и вытекающих один из другого взглядов на её архитектуру [2, 3]. По определению IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) архитектура – это базовая организация системы, воплощённая в её компонентах, их отношениях и взаимодействиях между собой и окружением, а также принципы функционирования и развития системы [2, 3].

Формализованную задачу выбора концепции АС предлагается рассматривать как задачу выбора процесса принятия решения. Последнее означает необходимость формирования одного из важных компонентов постановки задачи выбора – конечного множества альтернативных вариантов концепции АС [9,10].

При формировании концепций для выбора элементов систем (в том числе и АС) в работах [4-7, 17] используется морфологический синтез. В работах [8, 16] для учёта концепций элементов АС, их взаимодействий и отношений, принципов функционирования и развития предлагается использование других комбинаторно-логических методов структурного синтеза.

Эти и другие публикации по обсуждаемой теме не позволяют ответить на вопрос: какие процессы и какие ресурсы этих процессов необходимо использовать как компоненты при формировании концепции АС?

В статье приводится:

- выбор типовых информационных процессов АСУ ТП по стандартизированным функциональным признакам,
- использование стандартизированных ресурсов информационных процессов как основных компонентов системы,
- использование комбинаторно-логических методов структурного синтеза для формирования концепций АС.

Формированию альтернативных вариантов концепции АС

Формирование конечного множества альтернатив концепции АС, которые реально реализуемы среди возможных, – необходимая часть формализации процесса принятия решений. Эти альтернативы могут быть либо заданы, либо их нужно сформировать.

Процесс формирования вариантов концепции представляют как использование возможных, различных по природе средств создания, концептуальных идей их использования с учётом требований пользователя (рис. 1) [11].

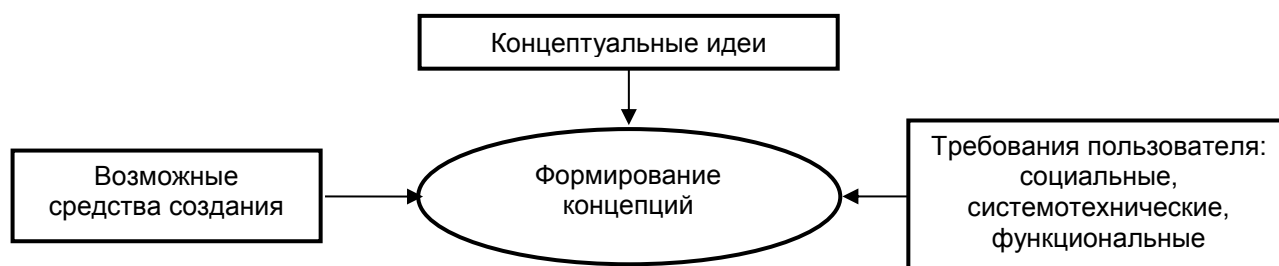


Рис. 1. Схема формирования концепций АС

В качестве возможных средств создания могут быть использованы не только средства вычислительной техники [4], но и, например, автоматические устройства различной природы, включаемые в АС.

Согласно работе [11], концептуальные идеи по отношению к АС можно разделить на четыре группы (рис. 2):

1. Автоматизация функциональных действий и процессов (индивидуализация).
2. Информатизация процессов автоматизации (информатизация).
3. Совершенствование уровня решения задач автоматизации (интеллектуализация).
4. Совершенствование взаимодействия элементов автоматизации (интеграция, системобразование).

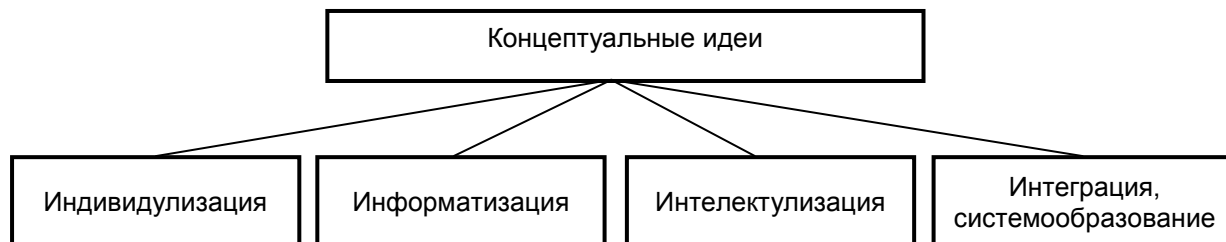


Рис. 2. Группы концептуальных идей

Концептуальные идеи использования возможных средств создания формируются на основе опыта, знаний и интуиции. Этот процесс открытый, так как под воздействием развития науки, практики и запросов пользователей концептуальные идеи возникают и исчезают.

Первоначально при формировании концепции АС, как любой системы, рассматривают конечное множество процессов, её реализуемых. В работах [1-4] в качестве таких процессов рассматривают информационные процессы с их различными информационными технологиями.

Видов АС по функциональному признаку достаточно много. Каждый вид для реализации назначения системы может иметь основные и вспомогательные процессы со своими определёнными ресурсами. Например, в стандарт СОБИТ [12] для целей аудита определены 34 шт. типовых процессов, сгруппированных в 4 домена (сферы деятельности).

Выделяемые в стандарте [12] типовые процессы предлагается использовать как исходное множество процессов при формировании концепций АС управления предприятием, которые в России называют АСУ П.

Стандартное выделение процессов для АСУ ТП отсутствует, хотя эти процессы отражены функциональными признаками средств автоматизации, выделяемых ГОСТ 21404-85

[15]. В качестве таких процессов предлагается использовать типовые процессы формирования управления информационным путём:

- получение информации,
- преобразование формы информации,
- передача информации.
- получение новой информации,
- хранение информации,
- преобразование информации в действие.

Функциональные признаки этих процессов совпадают с функциональными признаками средств автоматизации, выделяемых ГОСТ 21404-85 [15]:

- показание (измерение) – получение информации,
- дистанционная передача – передача информации,
- сигнализация, автоматическое регулирование, управление, вычислительные функции – получение новой информации,
- регистрация – хранение информации,
- преобразование – преобразование информации в действие.

Отсюда следует, что функциональные признаки могут быть положены в определение перечня типовых информационных процессов формирования управляющего воздействия в АСУ ТП. При этом эти процессы могут быть ручными, автоматизированными или автоматическими.

Формирование концепции АС реализуется через выбор концепций (способов реализации) её элементов и выбора их организации по взаимодействиям и отношениям. В работе [4] при декомпозиции АС в качестве компонент АС рассматривают:

- организационно-функциональную структуру,
- функции,
- режимы функционирования,
- виды обеспечения.

Предлагаемая декомпозиция АС по отношениям «включение» не учитывает в полной мере иерархию элементов АС и их концепции. Учёт концепций компонент (элементов) системы и их организаций позволяют сформировать концепцию любого элемента и концепцию системы в целом.

Предлагается для формирования концепций АС, учитывая информационный характер процессов, использовать в качестве компонент стандартизированные ресурсы управления информационных технологий предприятия [17]:

- *Приложения* – прикладные системы и ручные процедуры для обработки информации.
- *Информация* – данные в любой форме, введенные, обработанные и выведенные информационными системами в любой используемой форме.
- *Инфраструктура* – это технология и устройства (например, аппаратное обеспечение, операционные системы, системы управления базами данных, сетевое оборудование, мультимедиа, а также та среда, в которой все это находится и поддерживается), которые обеспечивают работу приложений.
- *Персонал* – люди, необходимые для проведения работ этапов жизненного цикла АСУ ТП.

Компоненты АС стандарта ГОСТа 34.601-90 являются либо целостным ресурсом управления информационных технологий стандарта [12], либо его частью (элементом), т.е. предлагаемые виды ресурсов стандартизированы и российским стандартом.

Указанные ресурсы имеют структурные элементы и их концепции (способы реализации) должны быть использованы при формировании концепции ресурсов и системы в целом.

Учёт организации взаимодействий и отношений между элементами можно произвести использованием графовых моделей [16].

Формирование концепции АСУ ТП как подмножества АС, определяются ресурсами процессов формирующих управление. Виды ресурсов этих процессов совпадают с видами ресурсов информационных технологий, рассмотренных выше.

Формирование какой-либо концепции будем рассматривать как процесс формирования какой-либо определённой архитектуры. Процесс представляет собой проектную процедуру, целью которой является выбор элементов разных уровней по функциональному назначению, взаимодействиям и отношений между ними для формирования компонента или системы как единого целого. При этом необходимо учитывать общесистемные принципы и специфические условия функционирования АС. Называют этот процесс синтезом [17]. Для решения задач синтеза предлагается использование комбинаторно-логических методов структурного синтеза [16].

Заключение

1. Предлагается в качестве компонент при формировании концепций АС использовать концепции стандартизированных ресурсов информационных технологий с концепциями её структурных элементов.

2. Для АСУ ТП при формировании концепций системы или её компонент предлагается использовать ресурсы типовых информационных процессов, формирующих управление и соответствующих функциональным признакам стандарта ГОСТ 21404-85.

3. Предлагается использование комбинаторно-логических методов структурного синтеза для учёта организации взаимодействий и отношений между элементами АС при выборе её концепции.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 34.601-90. Информационные технологии. Автоматизированные системы. Стадии создания. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1990. 21 с.
2. IEEE. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Sept. 2000. IEEE Std 1471-2000.
3. Соснин П.И. Архитектурное моделирование систем, интенсивно использующих программное обеспечение: электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005651/62328e1-st15.pdf>, -93.
4. Самохвалов Ю.Я., Науменко Е.М., Бурба О.И. Методические аспекты автоматизированных систем // Реєстрація, зберігання і обробка даних. 2012. Т. 14. № 4. С. 73-80.
5. Норенков И.П. Подходы к проектированию автоматизированных систем // Наука и образование: электронное научное издание. 2005. № 6 Июнь.
6. Marka D.A., McGovan K.L. SADT: Structured Analysis and Design Technique. N.Y.: McGraw Hill, 1988.
7. Кудрявцев А.В. Обзор методов создания новых технических решений: электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/00435/00435.html>.
8. Божко А.Н. Структурный синтез как задача дискретной оптимизации: электронное науч.-техн. издание «Наука и Образование». 2010. № 09.
9. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. М.: Наука, 1982. 328 с.
10. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М.: Физматлит, 2002. 144 с.
11. Скурихин В.И. О формировании концепций. Концепция «четырёх И» // Управляющие системы и машины. 1989. № 2. С. 7-12.
12. COBIT: A Business Framework for the Governance and Management of Enterprise IT. Режим доступа: <http://www.isaca.org/cobit/pages/default.aspx>.

13. Ингланд Роб. Овладевая ИТЛ; пер. с англ. М.: Лайвбук, 2011. 200 с.

14. Microsoft Operations Framework. Режим доступа: <http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc506049.aspx>.

15. ГОСТ 21.404-85. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. М.: Стандартинформ, 2007. 12 с.

16. Чуркин Г.М. Использование комбинаторно-логических методов структурного синтеза при выборе концепции технического обеспечения автоматизированных систем // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2014. № 3 (76). С. 97-104.

17. Божко А.Н., Толпаров А.Ч. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью: электронное науч.-техн. издание «Наука и Образование». 2004. № 5.

Муратов Роман Маратович –
магистр 2 курса
Астраханского государственного
университета

Roman M. Muratov –
2nd year master's degree
Astrakhan State University

Попов Георгий Александрович –
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Информационная
безопасность» Астраханского
государственного университета

George Popov –
Dr. Sc., Professor,
head of the Department
«Information security»
Astrakhan State University

Статья поступила в редакцию 15.02.16, принята к опубликованию 15.06.16

ЭНЕРГЕТИКА

УДК 536.2:532.517.4
УДК 624.014, 621.311.1

И.Н. Хамидуллин, Л.С. Сабитов, В.К. Ильин, И.Л. Кузнецов

К ВОПРОСУ О НАДЕЖНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Рассматривая показатели надежности воздушной линии электропередачи сделан статистический анализ потока отказов элемента ВЛ. Приведен пример отказа ВЛ 110 кВ из-за разрушения железобетонной опоры с расчетом ущерба. Для возможности повышения надежности ВЛ результирующая нагрузка, ставшая причиной разрушения опоры, смоделирована на стальной многогранной опоре.

Надежность воздушной линии электропередачи, ущерб от отказа, опора линии электропередачи; напряженно-деформированное состояние стойки ЛЭП

I.N. Khamidullin, L.S. Sabitov, V.K. Ilyin, I.L. Kuznetsov

FOR THE RELIABILITY OF OVERHEAD POWER LINES

Considering the reliability overhead power line made a statistical analysis of the flow element is failure. An example of the failure of 110 kV overhead due to the destruction of concrete support with the calculation of damages. To be able to improve the reliability of overhead lines resulting load, which caused destruction of bearings, modeled on the steel multifaceted support.

Reliability overhead power line, the damage caused by the refusal, suspension power line; the stress-strain state of the rack lines

Основная часть воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) 35-500 кВ, функционирующее в настоящее время, была построена в 60-70-х годах прошлого столетия. И износ основных фондов является основной причиной технологических нарушений ВЛЭП. Важно отметить, что нормы проектирования 30-40 лет назад имели существенное отличие от нынешних (переход правил устройства электроустановок (ПУЭ-7) на период повторяемости в 25 лет увеличил нормативные ветровые нагрузки на 20-30%, а нормативную толщину стенки льда на 5 мм [1]).

Достижение необходимого уровня надежности возможно, воздействуя на единичные показатели комплексной системы надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, устойчивоспособность, режимная управляемость, живучесть и безопасность [2].

Данные единичные свойства надежности могут быть классифицированы по классу объекта, поскольку одни свойства характеризуют надежность только элементов, другие – только систем в целом (совокупность элементов), а третьи – как элементов, так и систем. Связи с элементом «Безотказность», показывают, что прямо или косвенно снижение уровня долго-

вечности и сохраняемости, устойчивоспособности и живучести, ремонтпригодности, управляемости и безопасности, может в конечном счете привести к снижению безотказности. Поэтому безотказность – наиболее общее из всех единичных свойств [3].

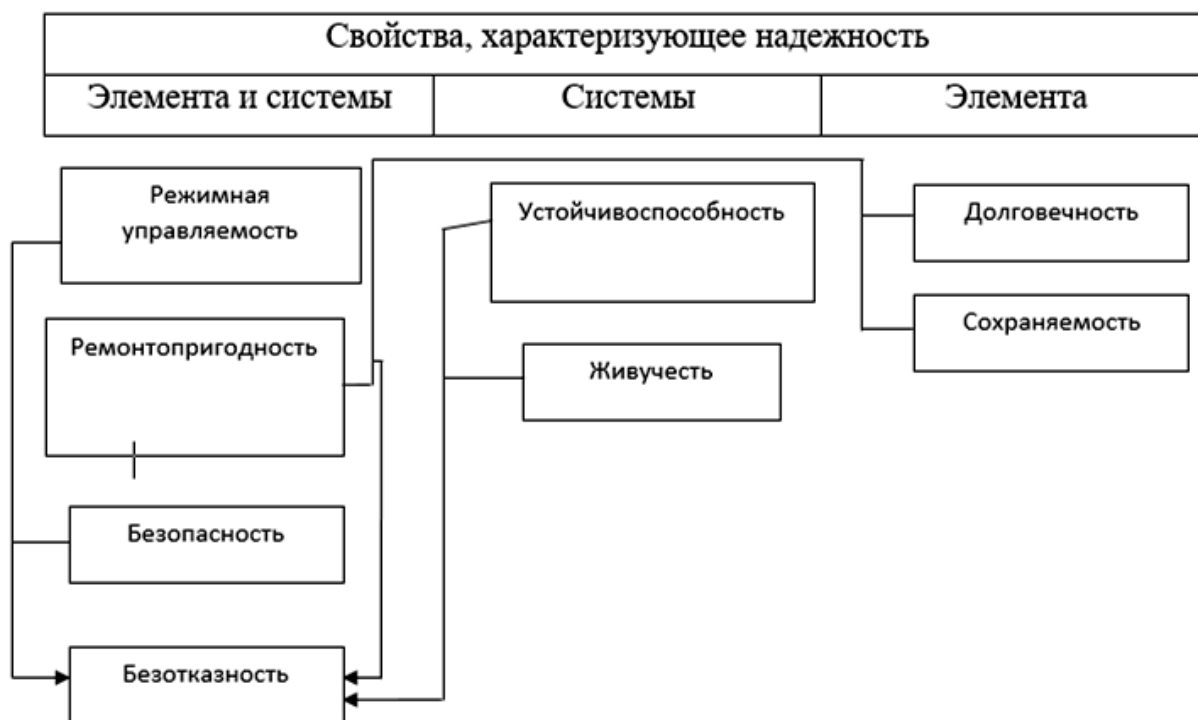


Рис. 1. Классификация единичных свойств надежности

Воздушные линии электропередачи, являясь элементом системы электроснабжения, при этом, однако, состоят из нескольких основных элементов (звеньев), основными из которых, являются опора ВЛ, электропроводящий провод, диэлектрические изоляторы, траверсы и элементы крепления. Обеспечение надежности системы необходимо выполнять:

– по критериям устойчивоспособности всех элементов конструкции, для функционирования в нормальном режиме при расчетных нагрузках.

– по критериям живучести, когда улучшаются технические показатели того или иного элемента для функционирования при нерасчетных нагрузках. В этом случае и возможна оптимизация конструкции ВЛ, так как разные элементы влияют на показатели надежности системы в разной степени и существует вариативность улучшения элемента или нескольких элементов по условиям возможных воздействующих нагрузок.

И если взять, что p_{on} – надёжность одного элемента (опоры ВЛ), p_{np} , $p_{уз}$, $p_{арм}$ – других (провода, изоляторов, арматуру,) то вероятность того, что все элементы будут работать безотказно в течение времени t [4]:

$$\begin{aligned}
 p_{носл}(t) &= p_{on}(t)p_{уз}(t)p_{np}(t)p_{ар}(t) = \\
 &= \exp\left[-\int_0^t \lambda_{on} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{уз} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{np} dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{ар} dt\right], \quad (1)
 \end{aligned}$$

где λ_{on} , $\lambda_{уз}$, λ_{np} , $\lambda_{ар}$ – интенсивности отказов элементов, которые могут быть постоянными или переменными во времени.

Тогда вероятность того, что один или оба элемента откажут:

$$\begin{aligned}
 q_{\text{носл}}(t) &= q_{\text{он}}(t) + q_{\text{нр}}(t) + q_{\text{уз}}(t) + q_{\text{арм}}(t) = \\
 &= 1 - p_{\text{он}}(t) + 1 - p_{\text{уз}}(t) + 1 - p_{\text{нр}}(t) + 1 - p_{\text{арм}}(t) - [1 - p_{\text{он}}(t)] \times \\
 &\times [1 - p_{\text{уз}}(t)] [1 - p_{\text{нр}}(t)] [1 - p_{\text{арм}}(t)] = 1 - p_{\text{носл}}(t).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Потенциально отказ любого из этих элементов может привести к отказу всей системы (к прекращению электроснабжения). Однако каждый элемент имеет свою вероятность отказа и степень тяжести последствия отказа. Так, например, наиболее тяжелые последствия для линий электропередачи имеют разрушения опор, приводящие к большим затратам, связанным с восстановлением ВЛ и недоотпуском электроэнергии. Другими словами, повышая надежность именно этого элемента, возможно наиболее существенно снизить затраты на восстановления ВЛ в случае отказа.

Статистика отказов элементов ВЛ [5]

Наименование элемента ВЛ	Поток отказов, % от общего количества		
	РФ (СССР)	США	Германия
Опоры	13	29	16
Провода и тросы	52	33	53
Изоляторы	31	30	37
Арматуры	4	8	4

Как видно из таблицы, доля отказов ВЛ 35-500 кВ из-за опор составляет 13% (для РФ (СССР)). Более того, согласно статистическому анализу ОГРЭС за 1966-1989 годы, удельное число отказов железобетонных опор составило 0,034, в то время как для металлических этот показатель равняется 0,022 [5]. То есть можно сделать вывод, что металлические опоры имеют меньшую интенсивность отказов, чем железобетонные.

Основная причина значительной разницы в повреждаемости между металлическими и железобетонными опорами заключается в сильной зависимости несущей способности последних от качества заделки их в грунте. Часто железобетонные опоры под действием внешних нагрузок приобретают крен. Это создает дополнительный изгибающий момент в стойке опоры, вызванный значительной собственной массой конструкции, способствующий дальнейшему увеличению наклона. В результате этого несущая способность железобетонных опор резко снижается, что приводит к их разрушению.

Главный же недостаток металлических опор ЛЭП из уголкового проката – большое количество сборочных единиц и, как следствие, увеличенные трудозатраты при монтаже. Сроки монтажа решетчатых стальных опор ВЛ в 6 раз больше, чем у аналогичных железобетонных или стальных многогранных [6]. Учитывая тот факт, что пролетные расстояния у решетчатых и многогранных опор приблизительно равны и в 1,5-2 раз больше железобетонных, можно сделать вывод, что строительство ВЛ на стальных многогранных опорах имеет преимущество по скорости строительства, а следовательно и менее тяжелые последствия в случае отказа, перед стальными многогранными и железобетонными опорами.

Кроме того, стальные многогранные стальные опоры технологичны при изготовлении и монтаже, позволяют в короткие сроки строить и восстанавливать ВЛ. Долговечны за счет обтекаемой формы, отсутствия мест скопления влаги и невозможности проявления фактора вандализма. При проведении комплексного технического перевооружения предлагается создание унифицированных опор. За основу конструктивных решений по унификации металлических опор предлагаются многогранные опоры на базе одного модуля, позволяющего собирать одностоечные и порталные свободностоящие опоры и на оттяжках для ВЛ напряжением 35-750 кВ. Именно данное решение позволит повысить надежность элемента ВЛ, имеющего наиболее тяжелые последствия в случае отказа.

Рассмотрим конкретный случай отказа воздушной линии электропередачи. На территории РТ вследствие прохождения шквалистого порыва ветра с дождем и градом (зафиксировано прохождение активного атмосферного фронта, сопровождаемого грозой с градом и дождем, шквалистым усилением ветра локально до 28,4 м/с), произошел отказ ВЛ 110 кВ из-за разрушения железобетонных опор, выполненных из стоек СК-1. Данный отказ привел к значительному финансовому ущербу, вызванному затратами на восстановительные работы и недоотпуском электроэнергии потребителям.

Ущерб от отказа воздушной линии складывается из трех составляющих:

$$U = U_T + U_3 + U_C, \quad (3)$$

где U_T – технологический ущерб, включающий издержки от недоотпуска электроэнергии; U_3 – ущерб, вызванный затратами на замену поврежденного оборудования; U_C – системный ущерб, обусловленный простоем оборудования.

Определим величину технологического ущерба

$$U_T = 1,13(\tau_\phi + \tau_\partial) \cdot \alpha \cdot P = 1,1 \cdot 0,6(64 - 0) \cdot 0,1 \cdot 31190 = 131,74 \text{ тыс. руб.}, \quad (4)$$

где Z – приведенные затраты на получение единицы продукции (себестоимость 1 кВт·ч); τ_ϕ, τ_∂ – фактическая и допустимая длительность простоя; α – доля потерь за час простоя; P – среднесуточный выпуск продукции.

$$U_3 = 1,1C_1(1 - \rho \cdot t_\phi) = 1,2 \cdot 4922,248(1 - 0,01 \cdot 31) = 2244,54 \text{ тыс. руб.}, \quad (5)$$

где C_1 – стоимость нового оборудования; ρ – приведенный норматив амортизационных отчислений; t_ϕ – фактический срок службы оборудования.

Величина системного ущерба:

$$U_C = C_3 \cdot P_H = 1,337 \cdot 83183 = 111,273 \text{ тыс. руб.}, \quad (6)$$

где C_3 – себестоимость электроэнергии; P_H – недоотпуск электроэнергии.

Таким образом, суммарный ущерб от отказа ВЛ

$$U = 131,74 + 2244,54 + 111,273 = 2487,559 \text{ тыс. руб.} \quad (7)$$

Причиной столь значительного ущерба стало повреждение опоры из-за дефекта арматуры и несоответствия расчетных нагрузок фактическим действовавшим. В этом случае имеет место быть отказ наиболее важного элемента механической части ВЛ, когда $\rho_{опора}$ оказалось меньше требуемого уровня, что привело к отказу всей воздушной линии. Следует отметить, что повреждение опоры ВЛ приводит к увеличению нагрузок на все оставшиеся элементы системы, что, в свою очередь, может привести к эффекту «домино», когда разрушается весь анкерный пролет ВЛ.

Для сравнения смоделируем те же нагрузки на опору ВЛ 110, выполненную из многогранной гнутой стойки. Для примера возьмем опору ПМ-110-1 [7].

Анализ напряженно-деформированного состояния стойки при заданных нагрузках проведем в программе Autodesk Simulation Mechanical, выполняющей моделирование методом конечных элементов.

При результирующей нагрузке $M_y = 35,03 \text{ т} \cdot \text{с} \cdot \text{м}$, при котором и произошло разрушение железобетонной опоры ВЛ, стойка опоры из многогранной гнутой стойки не подверглась неэластичной деформации. Допустимое отклонение вершины металлической опоры ВЛ от вертикальной оси вдоль и поперек оси линии составляет 1/200 высоты опоры [8], для рассматриваемой опоры. По результатам моделирования максимальное смещение – вдоль оси.

При этом моделирование показало, что при заданной нагрузке стойка имеет запас прочности, а следовательно и возможности для оптимизации конструкции стойки.



Рис. 2. Разрушение железобетонных опор ВЛ 110 кВ

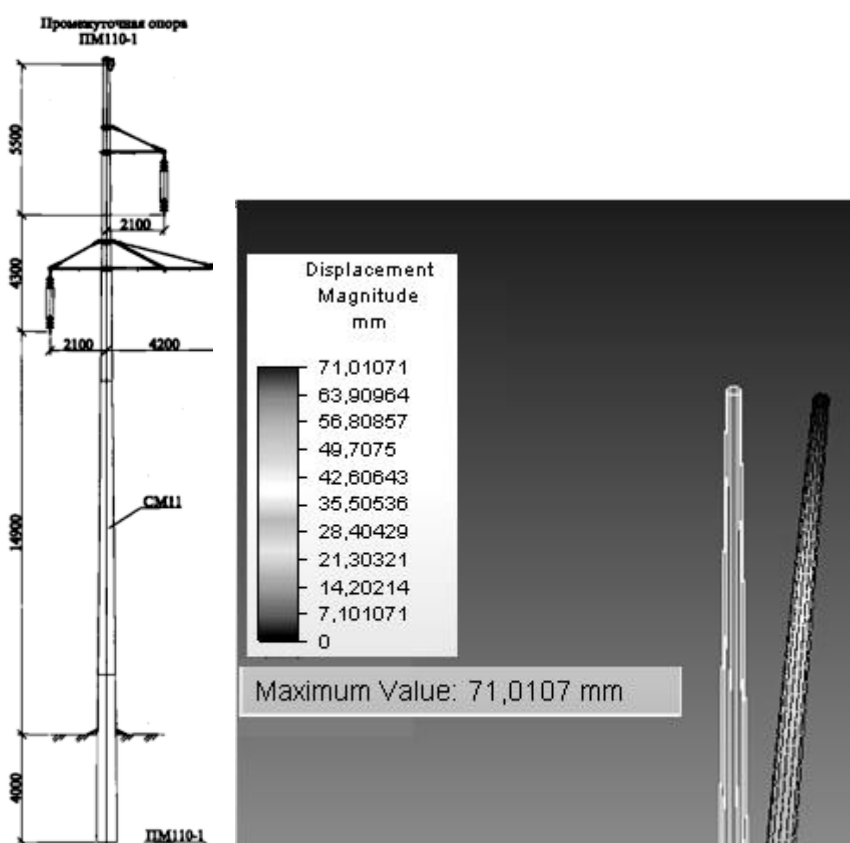


Рис. 3. Общий вид опоры ПМ-110-1 и показатели смещения вершины при моделировании нагрузки

Вывод. Отказ воздушных линий электропередачи в результате разрушения опор является наиболее тяжелым, затратным и долгим по времени восстановлению. С увеличением износа линий, находящихся в эксплуатации более 25 лет, число подобных отказов возрастает.

Авторами проанализирована статистика отказов ВЛ и разрушения опор. Проведен анализ конкретного отказа ВЛ на территории РТ с последующим моделированием тех же условий на опоре из металлической гнутой стойки. По результатам моделирования сделан вывод, что данная опора не только имеет более высокие прочностные характеристики, но и имеет определенный запас прочности, позволяющий оптимизировать конструкцию опоры, то есть при сохранении требуемой степени надежности (безотказной работы ВЛ) удешевить опорную конструкцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цейтлин М.А. Опыт проектирования и применения опор ВЛ со стальными многогранными стойками // Прогрессивные решения в электросетевом строительстве: сб. науч. тр., посвященный памяти А.И. Курносова. М.: Энергосетьпроект, 1988. С. 112-123.
2. Руденко Ю.Н. Надежность систем энергетики. Терминология: сб. рекомендуемых терминов. Вып. 95. М.: Наука, 1980. 44 с.
3. Руденко Ю.Н., Чельцов М.Б. Надежность систем энергетики. Новосибирск, 1989. 28 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. М.: Энергия, 1977. 536 с.
5. Яковлев Л.В., Каверина Р.С., Дубнич Л.А. Комплекс работ и предложений по повышению надежности ВЛ на стадии проектирования и эксплуатации: сб. науч. трудов // Линии электропередачи-2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс. Новосибирск, 2008. 28 с.
6. Звенин А.А., Константинова Е.Д. Основные положения методики расчета проводов и нагрузок на опоры ВЛ на основе метода предельных состояний // Линии электропередачи-2008: проектирование, строительство, опыт эксплуатации и научно-технический прогресс. Новосибирск, 2006. С. 183-193.
7. Ударов В.М. Стальные многогранные опоры ВЛ 110 кВ: рабочие чертежи. М.: ОАО РОСЭП, 2003. 17 с.
8. СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства. М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1985. 16 с.

Хамидуллин Искандер Наилевич – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань

Сабитов Линар Салихзанович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник Казанского государственного энергетического университета, г. Казань

Ильин Владимир Кузьмич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Энергообеспечение предприятий и энергоресурсосберегающих технологий» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань

Кузнецов Иван Леонидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлические конструкции и испытания сооружений» Казанского государственного архитектурно-строительного университета, Казань

Iskander N. Khamidullin – graduate student energy companies and energy-saving technologies Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Linar S. Sabitov– PhD., Associate Professor, Senior Researcher, Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Vladimir K. Ilyin – Dr. Sc., Professor, Head the Department of energy companies and energy-saving technologies Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Ivan L. Kuznetsov – Dr. Sc., Professor, Head the Department of metal structures and test facilities of the Kazan State Architectural University, Kazan, Russia

Статья поступила в редакцию 15.12.15, принята к опубликованию 10.06.16

Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Вестник СГТУ», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А 4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте vestnik@sstu.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать четкие выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности:

- инициалы и фамилии авторов,
- полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные),
- краткая (5-7 строк) аннотация (курсив),
- ключевые слова.

Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке.

Затем идет текст самой статьи и список литературы.

Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий; объем обзора – 25 страниц, 10 рисунков; объем краткого сообщения – не более 3 страниц, 2 рисунков.

Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, pcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение.

Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовок.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны в редакторе формул **Microsoft Equation 3.0**. Каждая формула должна иметь номер.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Список литературы должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц.

8. К статье прилагается экспертное заключение.

9. Рукопись статьи рецензируется ведущим ученым в данной области, как правило, доктором наук.

10. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

12. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются, рукописи и электронные носители авторам не возвращаются. Датой поступления рукописи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

13. Для публикации и своевременной подготовки журнала необходимо заполнить регистрационную карту участника, представляемую отдельным файлом. Высылается вместе с рукописью.

14. Плата с аспирантов за публикацию статьи не взимается.

Вестник Саратовского государственного технического университета

– рецензируемое научное периодическое издание по 2 отраслям науки (01.00.00 – Физико-математические науки, 05.00.00 – Технические науки), охватывающим по совокупности 5 групп специальностей (01.02.00 – Механика, 01.04.00 – Физика, 05.02.00 – Машиностроение и машиноведение, 05.13.00 – Информатика, вычислительная техника и управление, 05.14.00 – Энергетика).

Журнал имеет следующие соответствующие указанным группам специальностей разделы содержания:

- Математика и механика
- Физика
- Машиностроение и машиноведение
- Информационные технологии
- Энергетика

Журнал публикует статьи только по данным группам специальностей!

Регистрационная карта публикующегося в журнале «Вестник СГТУ»		
Фамилия	Имя	Отчество
Полное название статьи		
Ученая степень	Ученое звание	Должность с указанием кафедры, отдела, лаборатории
Электронная почта	Служебный телефон/факс	Домашний адрес и телефон
Наименование направляющей статью организации		
Группа специальностей, к которой относится статья		