

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

# ВЕСТНИК

ПСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

*СЕРИЯ*  
*«Технические науки»*

*1/2015*

Псков  
2015

ББК 95  
В387

В387      **Вестник Псковского государственного университета. Серия «Технические науки».** Выпуск 1. — Псков : Псковский государственный университет, 2015. — 124 с.

**Редакционная коллегия журнала «Вестник ПсковГУ» серии «Технические науки»:** Плохов И. В., д-р. техн. наук, проф., Псковский государственный университет (главный редактор); Гринёв Д. В., канд. техн. наук, Псковский государственный университет (заместитель главного редактора); Козырев И. Н., канд. техн. наук, доц., Псковский государственный университет (заместитель главного редактора); Вертешев С. М., д-р. техн. наук, проф., Псковский государственный университет; Журавлёв Ю. Н., д-р. техн. наук, проф., Псковский государственный университет; Josef Timmerberg, Prof. Dr.-Ing., Jade Hochschule, FB MIT; Andris Martinovs, Asoc. Prof., Dr. sc. ing., Rezekne Higher Education Institution; Забоин В. Н., д-р. техн. наук, проф., Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого; Богуславский И. З., д-р. техн. наук, проф., Санкт-Петербургский политехнический университет им. Петра Великого; Козярук А. Е., д-р. техн. наук, проф., Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Горный университет).

Адрес редакции: 180000, г. Псков, пл. Ленина, 2, каб. № 74.  
E-mail: [vestnik\\_soc@mail.ru](mailto:vestnik_soc@mail.ru)

© Коллектив авторов, 2015  
© Псковский государственный университет, 2015

## МЕТАЛЛУРГИЯ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКА

УДК 621

Ю. И. Петров, М. А. Лукин

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРА ЯДРА СЕЧЕНИЯ

*Исследованы несколько вариантов аналитического определения ядра поперечного сечения. В результате получены уравнения контура ядра сечения. В качестве примера продемонстрирована методика определения ядра сечения эллипса и сложного сечения специального вида. Полученные результаты можно использовать для решения задачи о построении контура сечения по известному ядру.*

**Ключевые слова:** сопротивление материалов, сечение, ядро сечения.

При разработке конструкции деталей машин, зданий и сооружений часто приходится учитывать специфику стержней из материалов, плохо сопротивляющихся растяжению (чугун, бетон). Несущие конструкции из таких материалов могут надёжно работать лишь в случае, когда всё поперечное сечение нагружено исключительно сжимающими напряжениями. Этого можно достигнуть только при условии, что приложенные к таким конструкциям сжимающие силы расположены внутри ядра сечения. Таким образом определение ядра сечения при известной геометрии всего поперечного сечения является первостепенной задачей конструктора и проектировщика.

Целью настоящего исследования является вывод аналитических соотношений, связывающих между собой уравнения контура сечения и его ядра.

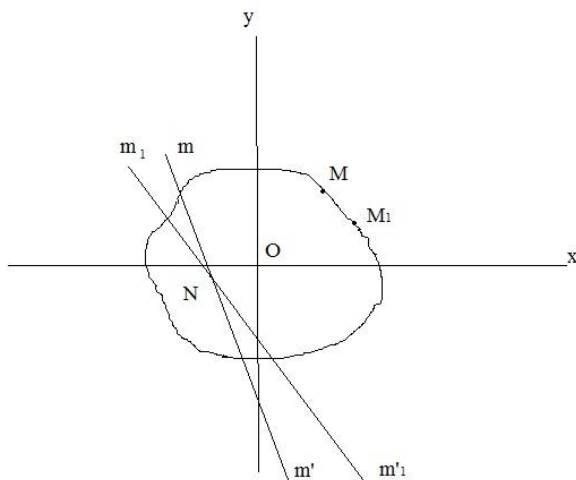
Рассмотрим выпуклый контур (рис.1), уравнение которого задано параметрически:

$$\begin{aligned}\xi &= \xi(t) \\ \eta &= \eta(t)\end{aligned}\tag{1}$$

где  $\xi, \eta$  — текущие координаты контура (или его участка);  $t$  — параметр.

В случае явной зависимости, роль параметра может играть одна из декартовых координат  $\xi$  или  $\eta$ .

Зафиксируем параметр  $t$  и примем точку  $M \{ \xi(t), \eta(t) \}$  контура за полюс.



**Рис. 1.** Выпуклый контур

Тогда уравнение нейтральной оси  $mm^1$  имеет вид

$$\frac{x\xi}{i_y^2} + \frac{y\eta}{i_x^2} + 1 = 0 \quad (2)$$

Здесь  $i_x, i_y$  — радиусы инерции сечения относительно главных центральных осей инерции;  $x, y$  — текущие координаты нулевой линии.

Возьмем близкую к точке  $M(\xi, \eta)$  точку  $M_1(\xi_1, \eta_1)$  контура (рис. 1)

$$\begin{aligned} \xi_1 &= \xi(t + \Delta t) \\ \eta_1 &= \eta(t + \Delta t) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\Delta t$  — малое приращение параметра  $t$ .

Уравнение нейтральной  $m_1 m_1^1$  оси для полюса  $M_1$

$$\frac{x\xi_1}{i_y^2} + \frac{y\eta_1}{i_x^2} + 1 = 0 \quad (4)$$

Решив совместно систему (2) и (4) найдем координаты точки  $N$  пересечения прямых  $m m'$  и  $m_1 m_1^1$ :

$$\begin{aligned} x &= \frac{\eta_1 - \eta}{\xi_1 \eta - \eta_1 \xi} i_y^2 \\ y &= \frac{\xi_1 - \xi}{\eta_1 \xi - \xi_1 \eta} i_x^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Или, в развернутом виде

$$\begin{aligned}x &= \frac{\eta(t + \Delta t) - \eta(t)}{\xi(t + \Delta t)\eta(t) - \eta(t + \Delta t)\xi(t)} i_y^2 \\y &= \frac{\xi(t + \Delta t) - \xi(t)}{\eta(t + \Delta t)\xi(t) - \xi(t + \Delta t)\eta(t)} i_x^2\end{aligned}\quad (5a)$$

Будем плавно стремиться вдоль контура точку  $M_1$  к  $M$ , что равносильно предельному переходу  $\Delta t \rightarrow 0$ . Тогда точка  $N$  займет свое предельное положение, а ее координаты определятся после реализации данного перехода из уравнений (5a)

$$\begin{aligned}x &= \frac{\dot{\eta} i_y^2}{\dot{\xi} \eta - \dot{\eta} \xi} \\y &= \frac{\dot{\xi} i_x^2}{\dot{\eta} \xi - \dot{\xi} \eta}\end{aligned}\quad (6)$$

Здесь точками обозначено дифференцирование по параметру  $t$ .

Уравнения (6) и являются искомыми уравнениями контура ядра (или его участка). К нему можно прийти, рассматривая ядро как огибающую семейства нейтральных линий, которые представляют собой однопараметрическое семейство прямых (1).

Дифференцируя (1) по параметру  $t$ .

$$\frac{x \dot{\xi}}{i_y^2} + \frac{y \dot{\eta}}{i_x^2} = 0 \quad (7)$$

и решая совместно уравнения (1) и (7) как систему, опять приходим к уравнениям (6).

В иллюстративных целях получим уравнения (6) еще одним способом. Будем рассматривать в уравнении (1) точку  $(x, y)$  как полюс. Тогда нейтральная линия будет касаться контура сечения в некоторой точке с координатами  $(\xi, \eta)$ . Запишем ее уравнение

$$\frac{\tilde{\xi} - \xi}{\dot{\xi}} = \frac{\tilde{\eta} - \eta}{\dot{\eta}} \quad (8)$$

Здесь  $\tilde{\xi}, \tilde{\eta}$  — текущие координаты касательной.

Приведем уравнение (8) к виду

$$\frac{\tilde{\xi} \dot{\eta}}{\xi \eta - \dot{\eta} \xi} + \frac{\tilde{\eta} \dot{\xi}}{\dot{\eta} \xi - \dot{\xi} \eta} + 1 = 0 \quad (9)$$

Сравнивая (1) и (9), имеем

$$\begin{aligned}\frac{x}{i_y^2} &= \frac{\dot{\eta}}{\xi \eta - \dot{\eta} \xi} \\ \frac{y}{i_x^2} &= \frac{\dot{\xi}}{\dot{\eta} \xi - \dot{\xi} \eta}\end{aligned}\quad (9a)$$

Из (9а) сразу следует (6).

Отметим, что полученные результаты легко распространяются на случаи невыпуклых сечений, сечений с нарушением сплошности, а также на тот случай, если контур сечения (или его часть) описывается неявной функцией.

Некоторые особенности возникают в случае, если контур сечения (или его часть) ограничен отрезками прямых. В этом случае огибающая вырождается в точку, вокруг которой вращаются нулевые линии при перемещении полюса вдоль контура сечения. Для построения границ ядра достаточно соединить эти точки отрезками прямых. Можно уравнения этих отрезков получить из уравнения (1), подставив туда граничные значения параметра. Впрочем, случай многоугольных сечений подробно рассматривается в учебной литературе [1], [2].

Проиллюстрируем изложенные результаты конкретными примерами.

Рассмотрим сечение в форме эллипса с полуосями  $a$ ,  $b$  (рис. 2)

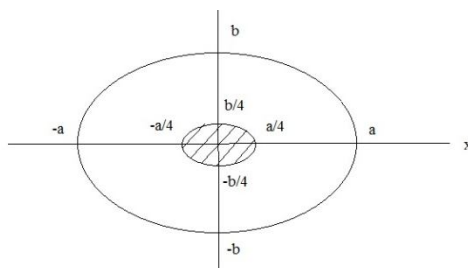


Рис. 2. Сечение в форме эллипса

Уравнение контура сечения

$$\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1, \quad i_x^2 = \frac{b^2}{4}, \quad i_y^2 = \frac{a^2}{4}.$$

Простейшее параметрическое представление

$$\xi = a \cos t, \quad \eta = b \sin t, \quad 0 \leq t < 2\pi.$$

Имеем  $\dot{\xi} = -a \sin t$ ,  $\dot{\eta} = b \cos t$

Подставляя  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\dot{\xi}$ ,  $\dot{\eta}$  в (6), получим параметрическое представление ядра сечения.

$$x = -\frac{a}{4} \cos t, \quad y = -\frac{b}{4} \sin t.$$

Исключая  $t$ , получаем явное уравнение

$$\frac{x^2}{(a/4)^2} + \frac{y^2}{(b/4)^2} = 1.$$

Таким образом, получили известный результат: ядром сечения является эллипс, подобный эллипсу контура, с полуосями вчетверо меньшими полуосями контура. На рисунке ядро заштриховано.

В качестве 2-го примера рассмотрим контур, изображенный на рис. 3 и состоящий из дуги окружности и 3-х отрезков прямых.

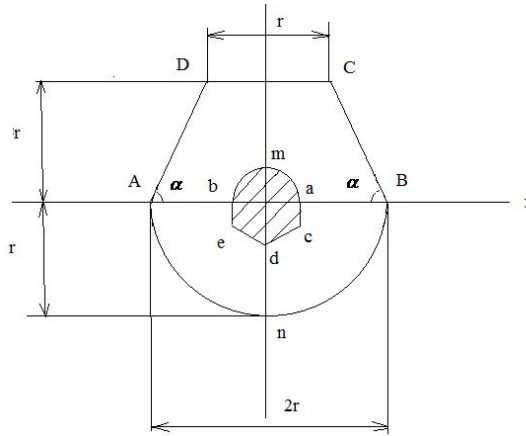


Рис. 3. Контур

ABCD — равнобочная трапеция с острым углом  $\alpha = \arctg 2$ . Размеры подобраны так, что начало координат совпадает с центром тяжести сечения. Элементарный подсчет дает для радиусов инерции  $i_x$ ,  $i_y$  следующие значения:

$$i_x^2 = \frac{3\pi + 10}{12(\pi + 3)} r^3 \cong 0,26r^2, \quad i_y^2 = \frac{2\pi + 5}{8(\pi + 3)} r^2 = 0,23r^2.$$

Участок контура A и B

$$\begin{aligned} \xi &= r \cos t, \\ \eta &= r \sin t, \quad \pi \leq t \leq 2\pi. \end{aligned}$$

Имеем  $\dot{\xi} = -r \sin t$ ,  $\dot{\eta} = r \cos t$

Подставляем  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\dot{\xi}$ ,  $\dot{\eta}$  в систему (6)

Получим

$$\begin{aligned} x &= -0,26r \cos t, \\ y &= -0,23r \sin t, \quad \pi \leq t \leq 2\pi. \end{aligned}$$

Это уравнение верхней половины эллипса с полуосями 0, 26r и 0, 23r (дуга amb на рис. 3)

Уравнение отрезка AD  $\eta = 2\xi + 2r$  ( $-r \leq \xi \leq -\frac{r}{2}$ ) можно представить в параметрической форме следующим образом

$$\xi = t, \quad \eta = 2t + 2r, \quad -r \leq t \leq -\frac{r}{2}$$

Имеем  $\dot{\xi} = 1$ ,  $\dot{\eta} = 2$ . Подставляя  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\dot{\xi}$ ,  $\dot{\eta}$  в уравнение (6), получаем  $x = 0,23r$ ;  $y = -0,13r$ .

На рисунке (3) эта точка помечена буквой с.

Отрезок CD описывается уравнениями

$$\xi = t, \eta = r, -\frac{r}{2} \leq t \leq \frac{r}{2}.$$

Имеем  $\dot{\xi} = 1$ ,  $\dot{\eta} = 0$  и из (6) получаем  $x=0$ ,  $y = -0, 26r$  (точка d на рис. 3).

Отрезку BC, описываемому уравнениями  $\xi = t$ ,  $\eta = -2t + 2r$  ( $\frac{r}{2} \leq t \leq r$ ) соот-

ветствует точка с координатами  $X = -0, 23r$ ,  $y = -0, 13r$  (на рис. 3 точка e). Соединяя полученные точки, получаем окончательную форму ядра сечения (на рис. 3 эта область заштрихована). Разумеется можно было построить нейтральные линии для угловых точек A, B, C, D, линии пересечения которых дали бы угловые точки части контура ядра сечения acdeb.

В заключение отметим, что полученные результаты можно использовать для решения задачи о построении контура сечения по известному ядру, при этом координаты  $x$ ,  $y$  будут иметь смысл текущих координат контура, а  $\xi, \eta$  — координат ядра и должны быть заданы радиусы инерции, а полученные формулы остаются в силе. Полученные результаты исследования могут быть использованы при изучении курсов механики, сопротивления материалов, теории упругости и теории пластичности.

#### Литература

1. Беляев Н. М., Сопротивление материалов. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976 г., 608 с.
2. Дарков А. В., Шпиро Г. С. Сопротивление материалов. Издательство: Москва «Высшая Школа». 1975 год, 657 с.

#### Об авторах

**Петров Юрий Иванович** — старший преподаватель кафедры теории машин и механизмов, механико-машиностроительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

**Лукин Михаил Анатольевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры теории машин и механизмов, механико-машиностроительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: mishalukin@pochta.ru

*Yu. I. Petrov, M. A. Lukin*

## ANALYTICAL DETERMINATION OF THE CONTOUR OF THE NUCLEUS CROSS SECTION

*Explore several options for the analytical determination of the nucleus cross section. The result obtained by the equation contour core section. As an example, demonstrated technique for determining the core section of the ellipse and complicated cross-*



*section of a special kind. The results can be used to solve the problem of constructing the circuit section from the known to the kernel.*

**Key words:** Strength of materials, cross-section, the core section.

*About the Authors*

**Petrov Yuriy Ivanovich**, Senior Lecturer of the Department of Theory of machines and mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

**Lukin Michael Anatolievich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of Theory of machines and mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

E-mail: mishalukin@pochta.ru

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН

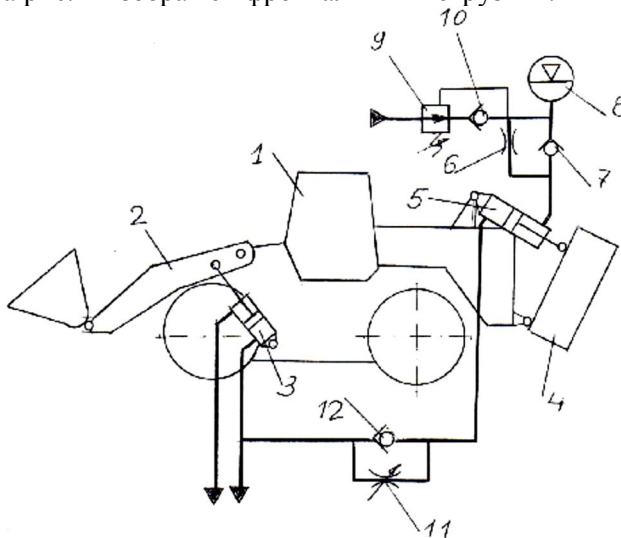
*Рассматриваются возможности повышения надежности грузоподъемных машин за счет снижения динамических нагрузок и увеличения производительности за счет возрастания скорости перемещения путем улучшения плавности хода.*

**Ключевые слова:** долговечность, энергия, фронтальный погрузчик.

Недостатком некоторых грузоподъемных машин и в частности фронтальных погрузчиков является низкая надежность вследствие действия больших динамических нагрузок и низкая производительность вследствие ограниченной скорости передвижения погрузчика из-за неудовлетворительной плавности хода. При движении по неровной опорной поверхности возникают угловые колебания погрузчика относительно его центра масс. Вертикальные составляющие сил инерции противовеса и рабочего оборудования, расположенных консольно и имеющих большие массы, достигают больших величин.

Указанные вертикальные составляющие сил инерции передаются через консоли на базовую машину, что снижает ее долговечность. Кроме того жесткая консольная установка рабочего оборудования и противовеса увеличивает амплитуду колебаний погрузчика и ухудшает плавность хода, что ограничивает скорость его передвижения, а следовательно и производительность.

Ниже, на примере фронтального погрузчика, рассматриваются возможности повышения надежности за счет снижения динамических нагрузок и повышения производительности за счет возрастания скорости путем улучшения плавности хода погрузчика. На рис. 1 изображен фронтальный погрузчик.



**Рис. 1.** Фронтальный погрузчик

Фронтальный погрузчик содержит базовую машину 1, стрелу 2 с ковшом, гидроцилиндр 3 привода стрелы. В задней части погрузчика установлен шарнирно и наклонно противовес 4 с возможностью продольного и вертикального смещения его центра тяжести с помощью гидроцилиндра 5 привода противовеса, корпус которого шарнирно закреплен на остова машины. Полость подъема гидроцилиндра 5 привода противовеса соединена через параллельно включенные дроссель 6 и обратный клапан 7 с гидроаккумулятором 8, который соединен с напорной гидролинией через гидроклапан 9 и обратный клапан 10.

Полость опускания гидроцилиндра 5 соединена через регулируемый дроссель 11 и обратный клапан 12 с полостью подъема гидроцилиндра 3 привода стрелы.

Фронтальный погрузчик работает следующим образом.

В состоянии покоя положение стрелы и противовеса находится в равновесном состоянии, причем величина отклонения противовеса зависит от величины внешней нагрузки на рабочее оборудование. При увеличении внешней нагрузки на рабочее оборудование увеличивается давление рабочей жидкости в полости подъема гидроцилиндра 3 привода стрелы, которое передается в полость опускания гидроцилиндра 5. Поршень и шток гидроцилиндра 5, под действием давления рабочей жидкости, выдвигаются и поворачивают противовес, удаляя его центр тяжести в продольном направлении от центра тяжести базовой машины. Рабочая жидкость из полости подъема гидроцилиндра 5 вытесняется через дроссель 6 в гидроаккумулятор 8 и сжимает газ, находящийся в газовой полости до такой величины давления, которая опять обеспечивает равновесное положение рабочего оборудования и противовеса.

В случае движения погрузчика по неровной опорной поверхности возникают его угловые колебания. Пусть в некоторый момент времени поступательного движения погрузчика он наезжает передними колесами на препятствие, тогда в полости подъема гидроцилиндра 3 привода стрелы резко повышается давление рабочей жидкости, которое через дроссель 11 и обратный клапан 12 передается в полость опускания гидроцилиндра 5.

Поршень и шток гидроцилиндра 5 воздействуют на противовес, а корпус гидроцилиндра 5 на остова погрузчика. Усилие, передаваемое от корпуса гидроцилиндра 5 на остова погрузчика, является по направлению восстанавливающим, способствующим уменьшению амплитуды колебаний погрузчика относительно опорной поверхности. Рабочая жидкость из полости подъема гидроцилиндра 5 поступает через дроссель 6 в гидроаккумулятор 8, который в данном случае выполняет функции демпфера и поглощает кинетическую энергию колебаний рабочего оборудования.

При наезде задних колес погрузчика на препятствие в полости подъема гидроцилиндра 5 привода противовеса резко повышается давление рабочей жидкости, которая через дроссель 6 вытесняется в гидроаккумулятор 8.

Гидроаккумулятор 8 поглощает кинетическую энергию противовеса и замедляет его перемещение относительно остова погрузчика, что уменьшает силу инерции противовеса, передаваемую на остова погрузчика. Полость опускания гидроци-

линдра 5 заполняется рабочей жидкостью из полости подъема гидроцилиндра 3 через обратный клапан 12 и дроссель 11.

Обратные клапаны 7 и 12 обеспечивают беспрепятственное заполнение рабочей жидкостью полостей подъема и опускания гидроцилиндра 5, а дроссели 6 и 11 соответственно задают скорость движения противовеса и рабочего оборудования. Гидроклапан 9 и обратный клапан 10 поддерживают заданную минимальную величину давления рабочей жидкости в гидроаккумуляторе 8.

Таким образом, предлагаемое устройство обеспечивает автоматическое регулирование устойчивости погрузчика путем изменения продольного положения противовеса в зависимости от величины внешней нагрузки на рабочее оборудование. Кроме того, в предлагаемом устройстве, достигается уменьшение сил инерции противовеса, передаваемых на базовую машину за счет шарнирного и наклонного крепления противовеса и возможности поглощения гидроаккумулятором кинетической энергии противовеса при его колебательных движениях во время перемещения погрузчика по неровностям опорной поверхности. Шарнирное крепление противовеса и наклонная его установка позволяет ввести упругую связь по вертикали между остовом машины и противовесом в виде гидроаккумулятора. Указанная упругая связь допускает вертикальное перемещение центра тяжести противовеса относительно остова, что уменьшает амплитуду колебаний погрузчика относительно опорной поверхности и повышает плавность хода. Повышение плавности хода улучшает условия труда машиниста, позволяет увеличить скорость передвижения погрузчика, а следовательно и его производительность.

#### **Литература**

1. Авторское свидетельство № 516635, кл. В 66 F 9/06, Фронтальный погрузчик, 1977.
2. Патент США 3.796.336 и. с. с.1.214/762.
3. Глебов В. Д. Энергосберегающая гидросистема погрузочной машины. Вестник Псковского государственного университета. Серия «Экономические и технические науки» 6. Выпуск 1. Псков: Псков ГУ, 2012. 280 с., С. 181–184.

#### **Об авторе**

**Глебов Вадим Дмитриевич** — кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог, инженерно-строительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: glevadi17@yandex.ru

## INCREASE OF RELIABILITY AND PRODUCTIVITY OF LOAD-LIFTING CARS

*Describes the possibility of increasing the reliability of load-lifting machines by reducing the dynamic loads and increase productivity by increasing the speed by improving smoothness.*

**Key words:** *load-lifting machines, reducing the dynamic loads, increase productivity.*

### *About the author*

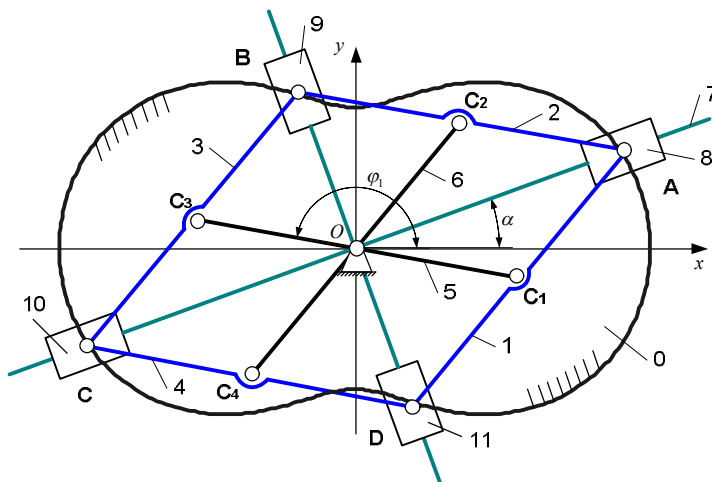
**Glebov Vadim Dmitriyevich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Highways, Faculty of Construction Engineering, Pskov State University, Russia.

E-mail: [glevadi17@yandex.ru](mailto:glevadi17@yandex.ru)

**Ключевые слова:** механизм, структура, избыточная связь, заменяющий механизм, кинематическая пара.

Не смотря на ряд существенных достоинств таких машин, их распространение в технике крайне ограничено. Одна из основных причин — недостатки механизма преобразования неравномерного движения лопастей в равномерное вращение выходного вала.

Одним из перспективных решений в данной области является четырёхзвенный рычажно-кулачковый механизм преобразования движения (рис. 1) [1].



Механизм состоит из вращающегося ромбоида и неподвижного кулачка. Ромбоид состоит из четырех шарнирно связанных звеньев одинаковой длины (1 —  $DA$ , 2 —  $AB$ , 3 —  $BC$ , 4 —  $CD$ ). К серединам звеньев шарнирно прикреплены рычаги лопастей (5 —  $C_1C_3$  и 6 —  $C_2C_4$ ).

Движение точек  $A, B, C, D$ , определяемое профилем кулачка, через линейные подшипники передается на выходной вал, а ромбоид снабжен роликами для снижения потерь на трение и повышения долговечности узлов.

Целью статьи является анализ структуры данного механизма на наличие избыточных связей и лишних степеней свободы и разработка заменяющего механизма.

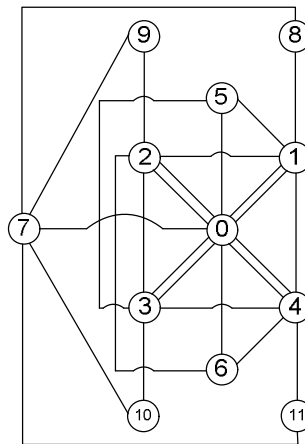
Рычажно-кулачковый четырехзвенный механизм представляет собой сложную замкнутую кинематическую цепь. Все звенья движутся в одной плоскости, оси параллельны друг другу и перпендикулярны плоскости механизма. Поэтому данный механизм является плоским. Механизм имеет одно входное звено: рычаг — лопасть 5 —  $C_1C_3$  и одно выходное — маховик 7, прикрепленный к выходному валу.

Из геометрических соображений следует, что механизм имеет одну степень свободы, а именно, вращение маховика 7 вокруг стойки.

Синтезированный рычажно-кулачковый механизм включает в себя одиннадцать подвижных звеньев: четыре звена ромбоида (2 —  $AB$ , 3 —  $BC$ , 4 —  $CD$ , 1 —  $DA$ ), два рычага — лопасти (5 —  $C_1C_3$ , 6 —  $C_2C_4$ ), четыре ползуна (линейные подшипники 8 —  $A$ , 9 —  $B$ , 10 —  $C$ , 11 —  $D$ ), один маховик выходного вала (крест 7 —  $AC-BD$ ), а также девятнадцать низших кинематических пар пятого класса: четыре сопряжения в точках  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ ; три сопряжения в точке  $O$ , двенадцать — в вершинах ромбоида  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и четыре высшие кинематические пары четвертого класса, образуемые линейным контактом роликов в вершинах ромбоида  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  с кулачком.

Проведем структурный анализ механизма преобразования методом графов согласно алгоритму, предложенному в [2]. В графе звенья соответствуют вершинам, а кинематические пары — ребрам. Номер звена совпадает с номером вершины. Число ребер, соединяющих смежные вершины, равно подвижности кинематической пары. Анализ выполняем в следующей последовательности.

1. Строим граф механизма (рис. 2).



**Рис. 2.** Граф механизма преобразования движения

2. Определяем число независимых контуров графа как разность между числом кинематических пар механизма  $P$  и числом подвижных звеньев  $N$ :

$$K = P - N. \quad (1)$$

При  $P = 23$  и  $N = 11$  имеем число независимых контуров  $K = 23 - 11 = 12$ .

3. Рассматриваемый механизм является плоским.

4. Определяем число степеней подвижности механизма по формуле

$$W = R - 3(P - N), \quad (2)$$

где  $R$  — общее число подвижностей кинематических пар. В рассматриваемом механизме одиннадцать подвижных звеньев и неподвижное звено 0 (кулачок) образуют девятнадцать одноподвижных и четыре двухподвижные кинематические пары. Тогда  $R = \sum_s sP_s = 2 \cdot 4 + 1 \cdot 19 = 27$ , где  $s$  — подвижность кинематической пары.

Подставляя числовые показатели кинематической схемы, получаем

$$W = 27 - 3(23 - 11) = -9.$$

5. Проверяем условие существования нормального механизма:  $W = n$ , где  $n$  — число входов механизма. В рассматриваемом случае  $n = 1$ . Значит,  $W \neq n$ .

Таким образом, число степеней подвижности оказалось отрицательным. Система является статически неопределимой. Это означает, что среди связей, наложенных на движение звеньев кинематическими парами, имеются избыточные, устранение которых не влияет на кинематику механизма.

Заменяющий механизм (рис. 3) содержит неподвижный кулачок — стойку  $O$  (кулачок выполнен в виде паза равной ширины для того, чтобы создать удерживающую связь), два рычага — лопасти (5 —  $OC_2$  и 6 —  $OC_1$ ), два плеча ромбоида с длиной  $L/2$  (1 —  $AC_1$  и 2 —  $AC_2$ ), кулису (7 —  $OA$ ), связанную жестко с выходным валом, ползун (8 —  $A$ ).

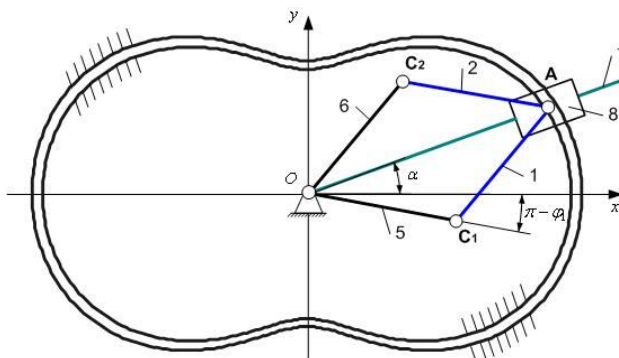


Рис. 3. Кинематическая схема заменяющего механизма

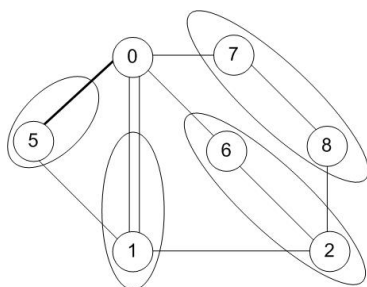
При такой замене относительные движения входных и выходных звеньев механизма сохраняются.

Проведем структурный анализ заменяющего механизма преобразования движения методом графов.

1. Граф механизма представлен на рис. 4.

2. Определяем число независимых контуров графа по формуле (1). При  $P = 9$  и  $N = 6$  имеем число независимых контуров  $K = 9 - 6 = 3$ .





**Рис. 4.** Граф заменяющего механизма преобразования

3. Определяем число степеней подвижности по формуле (2). В заменяющем механизме шесть подвижных звеньев и неподвижное звено  $O$  (кулачок) образуют восемь одноподвижных и одну двухподвижную кинематические пары. Тогда  $R = \sum_s sP_s = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 8 = 10$ .

Подставляя числовые показатели кинематической схемы, получаем

$$W = 10 - 3(9 - 6) = 1.$$

4. Проверяем условие существования нормального механизма:  $W = n = I$ .

Таким образом, заменяющий механизм при одной степени подвижности избыточных связей не имеет.

5. Ребро, соединяющее вершины 0 и 5, и вершина 5 соответствуют однозвенной одноподвижной группе, присоединяемой к стойке.

Зафиксируем входную координату механизма  $\varphi_1$  — угол поворота звена 5. Теперь механизм должен распадаться на структурные группы, у которых суммарное число подвижностей кинематических пар  $R$  кратно трем  $R = 3K$ .

6. Рассмотрим систему независимых контуров

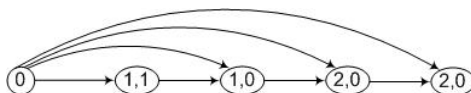
1) 0, 1, 0; 2) 0, 1, 2, 6, 0; 3) 0, 7, 8, 2, 6, 0.

Первый из этих контуров содержит три «тонких» ребра ( $R = 3$ ). Следовательно, звено 1 представляет собой однозвенную группу Ассура, содержащую одну высшую (точка  $A$ ) и одну низшую (точка  $CI$ ) кинематические пары.

Вершины 6 и 2 и три тонких ребра во втором независимом контуре, связанном с вершиной 0, характеризуют двухзвенную группу Ассура. Вершины 7 и 8 и три тонких ребра в третьем независимом контуре, связанном с вершиной 0, также характеризуют двухзвенную группу Ассура.

На рис. 5 показан структурный граф заменяющего механизма. В вершинах данного графа указано количество звеньев в группе и число ее степеней подвижности. Стрелки на графе указывают порядок присоединения групп.

Заменяющий механизм, обладая одной степенью подвижности, является статически определимым.



**Рис. 5.** Структурный граф заменяющего механизма

Так как исходный механизм является самоустанавливающимся, то для его сборки и осуществления возможности движения необходимо предъявлять повышенные требования к точности изготовления звеньев механизма и элементов его кинематических пар, а также использовать упругодеформируемые элементы. В шарнирных соединениях можно смонтировать тефлоновые подшипники скольжения, допускающие упругую деформацию. Это позволит обеспечить симметричное распределение нагрузок в вершинах ромбоида точках  $A, B, C, D$ , а значит, равномерный контакт роликов с кулачком.

Отметим, что избыточные связи повышают жесткость механизма, уменьшают деформации, вызванные передаваемыми силами. Кинематические характеристики эквивалентного механизма совпадают с характеристиками исходного механизма.

Выводы:

1. Проведён структурный анализ рычажно-кулачкового механизма преобразования движения.
2. Доказано наличие 10 избыточных связей.
3. Представлена кинематическая схема заменяющего механизма, который является статически определимым.

#### Литература

1. Авторское свидетельство №724850. Рычажно-кулачковый четырехзвенный механизм преобразования движения. Заявлено 30.05.78 / Лукьянов Ю. Н., Котляров В. Н. // Оpub. 30.03.80. Бюл. № 12.
2. Теория механизмов и машин: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / М. З. Коловский, А. Н. Евграфов, Ю. А. Семенов, А. В. Слоущ. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 560 с.

#### Об авторе

**Гринёв Дмитрий Владимирович** — кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии обработки материалов, факультет образовательных технологий и дизайна, Псковский государственный университет, Россия.

*D. V. Grinev*

## ELIMINATION REDUNDANT LINKS IN THE LEVER AND CAM MECHANISM OF THE ROTOR AND BLADED MACHINES

*The structural analysis of the lever and cam mechanism of the converter of the movement of the rotor and bladed car is carried out. The replacing mechanism without excess communications is offered.*

**Key words:** *the mechanism, structure, excess communication replacing the mechanism, kinematic couple.*

#### *About the author(s)*

**Grinev Dmitry Vladimirovich**, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Technologies of processing of materials, Faculty of Educational Technologies and Design, Pskov State University, Russia.

## ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ШВЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Рассматривается краткая история, классификация и особенности устройства современных машин для швейного производства. Предлагаемый обзор позволит сориентироваться в наиболее эффективном швейном оборудовании в соответствии с видами и масштабами производства.*

**Ключевые слова:** *оборудование, классификация, производство, универсальное и специальное действие, эффективность, автоматизация.*

Создание одежды и аксессуаров берет свое начало в незапамятные времена, когда человек впервые повязал набедренную повязку и создал чехол для простейших орудий и оружия, лука и стрел. Сегодня это уже высокотехнологический процесс, где имеется возможность выпускать оригинальные и яркие модели одежды и аксессуаров. Современная одежда поражает своим разнообразием. Это отличная возможность выразить свое «я», проявить индивидуальность. Производители стараются удивить новинками и оригинальными моделями. Такой эффект достигается благодаря новейшему швейному оборудованию. Его можно встретить повсеместно, как на больших производственных предприятиях, так и в маленьких ателье. А главным видом швейного оборудования является швейная машина.

### ***Из истории создания и развития швейной машины***

Первый проект швейной машины был предложен в конце XV века Леонардо да Винчи, но так и остался невоплощенным. Развитие машинного производства в середине XVIII века обусловило начало истории создания и развития швейной машины, а именно появление первых швейных машин.

В 1755 г. англичанин Ч. Ф. Вейзенталь открыл историю создания швейной машины и изобрел первую швейную машину, копирующую образование стежков вручную. В 1790 г. англичанин Т. Сент получил патент на швейную машину для пошива сапог. В конце XVIII в. немецкий профессор Вальтер изобрел швейную машину, в которой зубчатые колеса собирали материал на шов и протыкали иголку сквозь эти складки (стежки — «вперед иголку»). В 1829 г. француз Тимонье создал более совершенную машину однониточного цепного стежка, машина шила тамбурным швом. Строчка образовывалась одной ниткой и легко распускалась.

В 1845 г. в США Э. Хоу изобрел швейную машину челночного стежка.

Ткань накалывалась на шпильки транспортирующего органа и перемещалась в прямом направлении, изогнутая игла двигалась в горизонтальной плоскости, а челнок совершал возвратно-поступательные движения. Машина шила двумя нитками и делала настоящую строчку. Ее недостатком являлось то, что она годилась только для прямых швов.

История создания и развития швейной машины гласит, что швейные машины в те времена были громоздки и часто ломались.

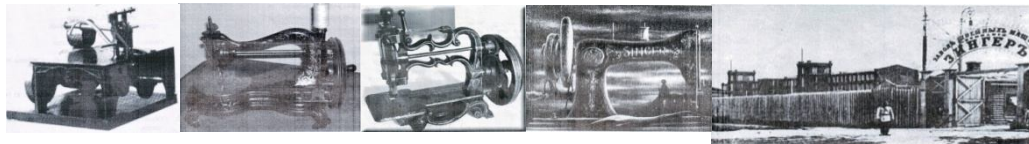


Рис. 1. Первые швейные машины

В первых машинах А. Вильсона, И. Гиббса, М. Зингера игла двигалась вертикально, а ткань, прижатая лапкой, располагалась на горизонтальной платформе. Движение ткани осуществлялось зубчатым колесом или рейкой. История создания и развития швейной машины продолжалась, и уже в швейных машинах знаменитой немецкой фирмы «Зингер» появился целый ряд важных усовершенствований, в том числе и положение ушка в игле швейной машины.

В России в 1900 г. в г. Подольске была организована мастерская по сборке швейных машин из деталей, привозимых из-за границы. Позже открыли 65 представительств по всей стране, машины вывозили за границу. Главные достоинства швейной машины — скорость шитья и возможность поставить швейное производство при организации швейного предприятия на поток. Лишь во второй половине XX века история создания и развития швейной машины сделала заметный рывок, машина настолько усовершенствовалась, что деятельность человека стала носить контролирующий характер.

### ***Классификация швейного оборудования***

Различают технологическую, конструктивную и буквенно-цифровую классификацию швейных машин. При технологической классификации швейные машины различают: [1, С. 9] (см. рис. 2).

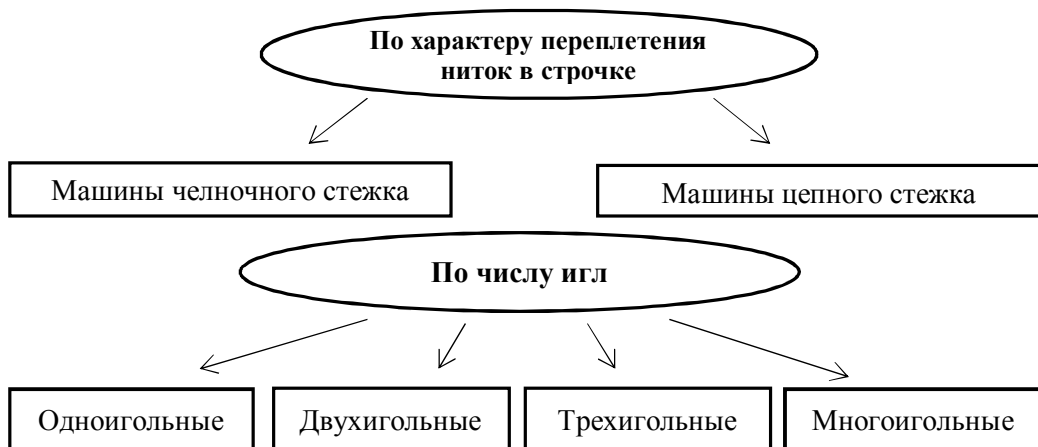


Рис. 2. Классификация швейных машин по характеру переплетения ниток в строчке

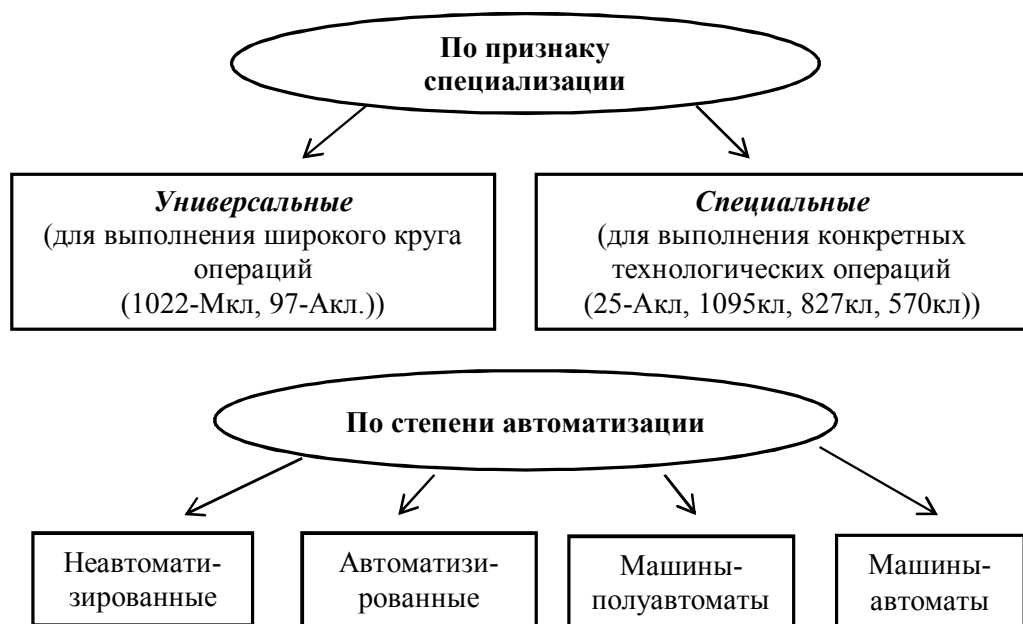


Рис. 3. Классификация швейных машин

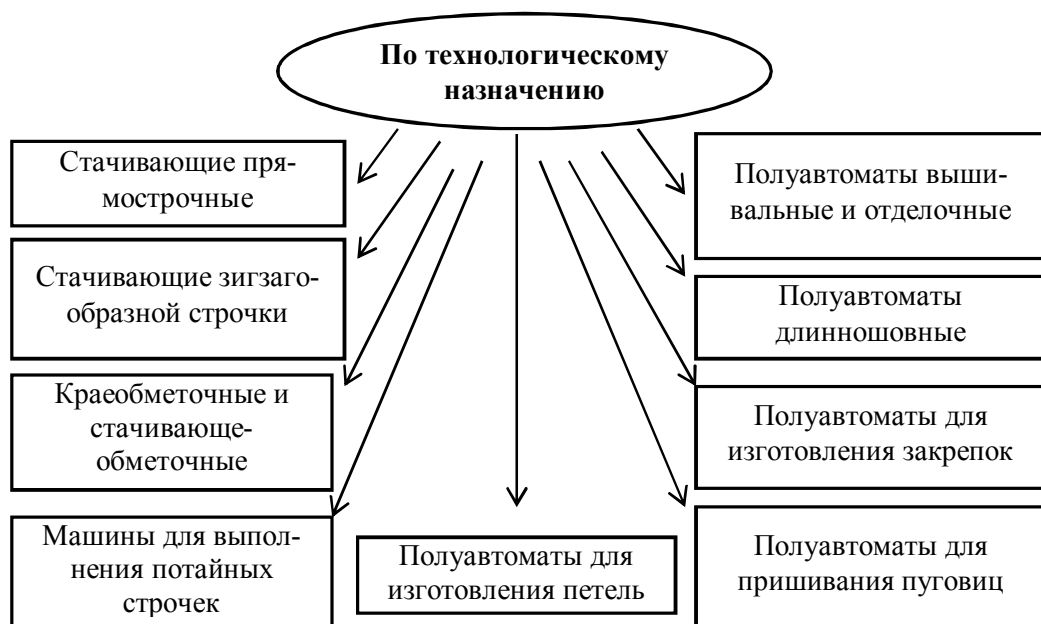


Рис. 4. Классификация швейных машин по технологическому назначению



**Рис. 5.** Классификация швейных машин по скоростным характеристикам

Конструктивная классификация делит машины по расположению головки относительно оператора (швеи), расположению рукава, относительно поверхности стола, длине вылета рукава, сочетанию вылета рукава и платформы и др.



**Рис. 6.** Классификация швейных машин по характеру расположения шьющей головки



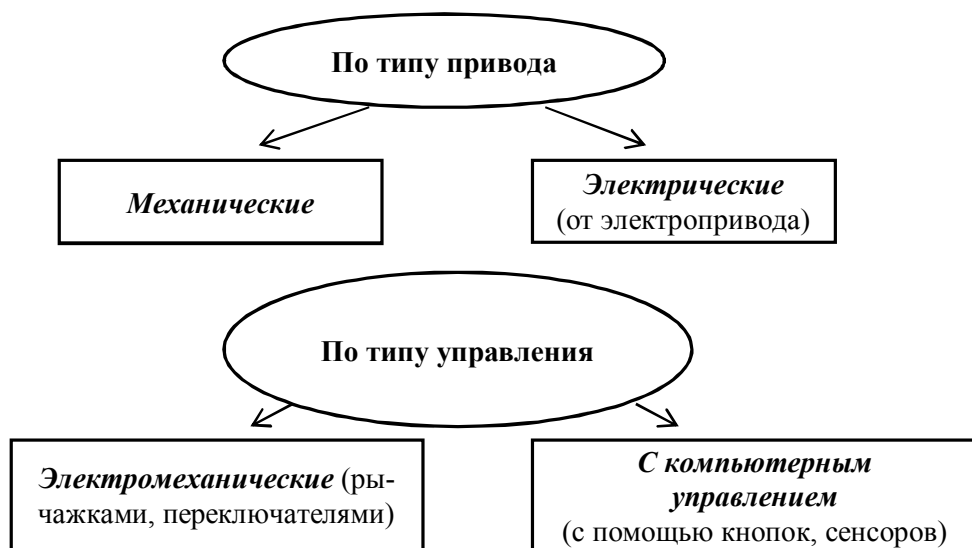
**Рис. 7.** Классификация швейных машин



**Рис. 8.** Классификация швейных машин по длине рукава

Буквенно-цифровая классификация машин может быть представлена через заводскую классификацию и с помощью буквенно-цифрового кода. Например: машина с кодом 131-11+3 относится к первому (цифра 1 в коде машины) конструктивно-унифицированному ряду челночного типа (3) с горизонтально-вращающимся челноком (1), реечным двигателем ткани (1) для обработки легких тканей (1) с использованием электрофрикционного привода.

Швейные машины подразделяются по типу привода и управления:



**Рис. 9.** Классификация швейных машин

Электроприводы, универсальных швейных машин, можно классифицировать по следующим основным признакам:



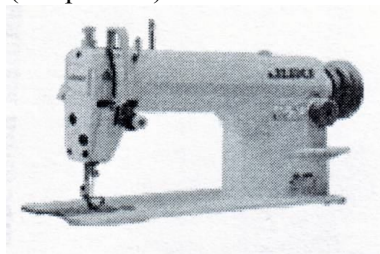
**Рис. 10.** Классификация швейных машин по типу исполнительного двигателя

В настоящее время в основном применяются электроприводы с двигателями вращательного движения.

### ***Новое современное швейное оборудование. Стачивающие прямострочные машины***

Современные машины универсального действия для производства — это оборудование, обладающее высокой точностью и скоростью изготавливать большое количество продукции. Они отличаются высокой надежностью, производительностью и современным дизайном. Основными лидерами по производству таких машин по праву являются Япония и Германия (фирмы «Джуки», «Дюркопп-Адлер», «Пфафф», «Текстима»).

Универсальная одноигольная машина челночного стежка для обработки легких и средних тканей, с нижним двигателем материала, с системой автоматической смазки, с двигателем GEM (см. рис. 11).



**Рис. 11.** Машина DDL-8100

Высокопроизводительная быстроходная швейная машина. Особенности:

1. Стабильная длина стежка и качества шва.
2. Увеличенный челнок с запасом нитки на 50 % больше.



3. Высокая гибкость за счет регулируемого подъема игловодителя.
4. Машина для материала разной толщины (см. рис. 12).



**Рис. 12.** Pfaff 1183 (Германия)

### ***Специальные швейные машины:***

Их используют для выполнения определенных операций: машины зигзагообразной строчки, обметочного стежка, для выполнения нескольких параллельных строчек, плоскошовные машины, петельные, пуговичные, закрепочные, подшивочные, стегальные, вышивальные и пр.

Они оправдывают себя при большом объеме выпуска продукции, обеспечивая высокое качество, и высокую производительность труда. Номенклатура оборудования подбирается в зависимости от ассортиментной ориентации предприятия.

### ***Машины зигзагообразной строчки***

Электронная швейная машина — машина с электронным управлением. Перемещением иглы относительно ткани управляет микропроцессор, это снимает ограничения на сложность и количество выполняемых строчек.

### **Электронная одноигольная высокоскоростная машина зигзаг** Особенности:

1. 8 стандартных типов стежка с неограниченными вариантами рисунка увеличивают возможности машины.
2. Возможность создания на графической панели управления декоративных швов и индивидуальных швов заказчика и сохранения их в памяти.
3. Создание запрограммированных швов.
4. Высокая производительность — низкое время цикла.
5. Электромагнитное управление — не требуется сжатого воздуха (см. рис. 13).

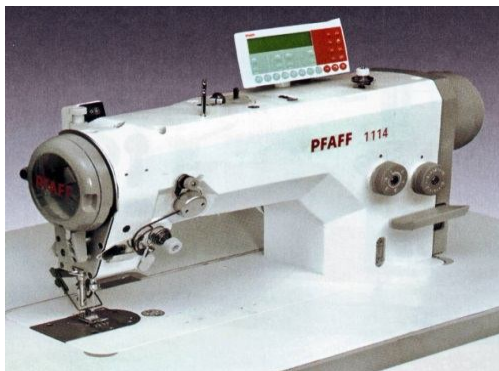


Рис. 13. Электронная машина зигзаг

Все швейные операции хранятся в памяти машины, выбор и настройка нужной швейной операции осуществляется с помощью электронной панели, а справочная информация и подсказки отображаются на дисплее. Некоторые параметры шитья электроника настраивает автоматически, а все швы обычно запрограммированы на оптимальные параметры, которые при желании можно изменить.

### ***Краеобметочные и стачивающе-обметочные машины***

Высокопроизводительные краеобметывающие и стачивающе-обметывающие машины. Особенности:

1. Широкий спектр использования на любых по толщине материалах.
2. Специальные варианты для обметки края материала.
3. Дополнительная оснастка: подъем лапки, закрепка в конце строчки, обрезка конца цепочки, обрезка тесьмы, устройство дозировки ленты.

Высокая производительность за счет скорости (7000 стежков/мин) (см. рис. 14).



Рис. 14. Машина Pfaff 5700

### ***Машины для выполнения потайных строчек: New-tech1250/1***

Специальная машина потайного стежка для подшива корсажа на поясе брюк. Особенности:

1. Регулируемая пневматическая система, следит за толщиной ткани.
2. Легко подшивает пояс в труднодоступных местах.

3. Пневматическая обрезка.
4. Применяется как для легких, так и для толстых тканей (см. рис. 15).



Рис. 15. New-tech1250/1

***Полуавтоматы для изготовления петель: Pfaff 3119***

Машины с электронным управлением для изготовления петель. Особенности:

1. Простое обслуживание за счет прямого доступа к значениям доступа стежка.
2. Прорезное устройство рубящего действия для аккуратной кромки.
3. Свободно программируемые петли с помощью программы PSP.
4. Обметка различных форм петель в свободной последовательности.
5. Память для 31 различной формы петли.
6. Специальная оснастка для обработки трикотажных изделий ( $V = 4200$  стежков/мин)

(см. рис. 16).

***Полуавтоматы для пришивания пуговиц AMF Reese84-4 EBS***

Электронная машина для пришивания и обвивки ножки пуговиц. Особенности:

1. Имитирует ручную обработку, используя технологию «плавающей иглы».
2. Машина может пришивать пуговицы на ножке, «впотай».
3. Время цикла 5,5 сек.
4. Количество стежков: от 20–28.
5. Типы пуговиц: 2–4отверстия.
6. Размер пуговиц: 14–25,4мм.
7. Обметывание: полное, раздельное, без обметывания (см. рис. 17).

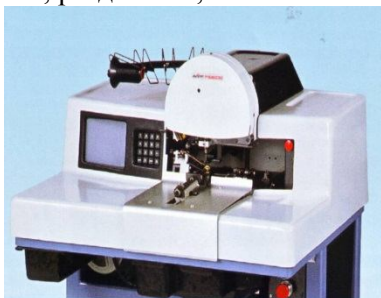


Рис. 17. AMF Reese84-4 EBS

### ***Полуавтоматы для изготовления закрепок LK-1900AH/***

Высокоскоростная закрепочная машина с компьютерным управлением. Особенности:

1. Максимальная скорость шитья — 3000 об/мин.
2. Машина увеличивает пусковую скорость в начале и в конце шитья, а также скорость обрезки нити, сокращая общее время цикла.
3. Машина достигает повышенной производительности.
4. Количество стандартных шаблонов — 50 (см рис. 18).



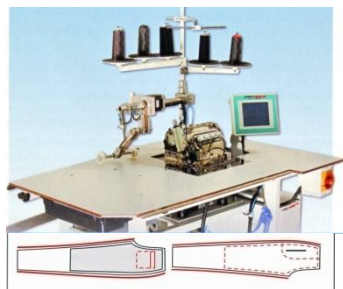
**Рис. 18. LK-1900AH**

### ***Полуавтоматы длинношовные***

Машина для обработки боковых швов на брюках.

Особенности:

1. Возможность использовать 4 или 5 ниточного двойного цепного стежка.
2. Скорость: до 6500 стежков/мин.
3. Производительность: 2400–2800 за 8-ми часовую смену (см. рис. 19).



**Рис. 19. Полуавтомат длинношовный**

### ***Вышивальные полуавтоматы***

Вышивальная шестиигольная швейная машина.

Особенности:

1. Автоматическое переключение игл.
2. Автоматическая обрезка ниток.
3. Возможность вышивки на головных уборах.
4. 12 типов встроенных шрифтов.
5. Широкий выбор шаблонов для вышивки (см. рис. 20).



**Рис. 20.** Вышивальная швейная машина

### ***Вышивальные и отделочные полуавтоматы***

Вышивальный полуавтомат с компьютерным управлением. Особенности:

1. Компьютер контролирует движение иглы и управляет ею.
2. Имеется отдельный блок, отвечающий за создание узоров и различных вышивок.

3. Все модели машин имеют возможность подключения к стационарному компьютеру, что позволяет снабжать их программами вышивки (см. рис. 21).



**Рис. 21.** Вышивальный полу автомат с компьютерным управлением

### **Автоматическая машина для программируемых строчек ZOJE ZE 5770**

Особенности:

1. Возможность редактирования шаблонов шитья.
2. Скорость регулируется панелью управления.
3. Возможность шитья нитками разной толщины.
4. Применены передовые технологии цифрового управления в мире (см. рис. 22).



Рис. 22. ZOJE ZE 5770

### ***Инновационные технологии в швейном оборудовании для эффективности производства***

Современная швейная промышленность развивается в совокупности с высокими технологиями и прогрессом. В настоящее время для повышения эффективности производства и производительности труда в швейном производстве используют новейшее компьютеризированное оборудование и системы автоматизированного проектирования.

Компьютерные технологии относительно недавно применяются в швейном производстве. В последнее время микропроцессорная и компьютерная техника стала внедряться в производство изготовления одежды еще более интенсивно. Сегодня автоматизируются многие этапы пошива и изготовления одежды, начиная от проектирования до выполнения отделочных и декоративных технологических операций.

Мировые лидеры производства швейного оборудования, используя инновационные технологии, предлагают потребителям бытовые и промышленные швейные машины. Машины с компьютерным управлением — самый продвинутый продукт. Простота обращения — отличительная особенность этого вида швейных машин. Наличие электронной платы позволяет запоминать швейные операции и контролировать процесс шитья, а специализированные швейно-вышивальные машины позволяют создавать на ткани настоящие произведения искусства.

### ***Советы по выбору швейного оборудования***

Спектр современного швейного оборудования чрезвычайно широк. Профессионально подобранное швейное оборудование для ателье или пошивочного цеха успешно решает комплексную задачу по налаживанию бесперебойного и высокоэкономичного процесса производства с оптимальным количеством швей, закройщиков, специалистов ВТО и иной рабочей силы.

Главная характеристика швейного оборудования — современность. Это позволит превзойти конкурентов и завоевать сердца покупателей. Выбирая оборудование нужно обратить внимание на технические характеристики, а также:

- на удобство в обращении;
- устройство ручек регуляторов натяжения ниток;
- размеры дисплея;

- как поднимается прижимная лапка;
- эргономичность;
- сложность заправки ниток;
- на сколько комфортно Вам при работе на машине;
- возможность быстрой и легкой перенастройки;
- наличие автоматизации;
- оптимальное соотношение между ценой и потребительскими свойствами машин.

### **Заключение**

Современное швейное производство может быть масштабным или небольшим, представлять собой сразу несколько пошивочных цехов или маленькую мастерскую: специфика и объемы комплектации определяются в зависимости от целей и задач, специализации, возможностей компании на текущем этапе. Однако в любом случае рентабельное и прибыльное производство обязано быть гибким, мобильным, оперативно решать новые задачи, запуская новые технологические процессы. Профессиональное швейное оборудование открывает перед владельцами предприятий по моделированию и пошиву одежды и аксессуаров. К достоинствам машин можно отнести их долговечность и надежность, которые заложены в них проектировщиками. Они позволяют улучшить качество выпускаемой продукции, сделать ее оригинальной и яркой. Современное высокоточное швейное оборудование — это вложение в развитие бизнеса, вложение в завтрашний день.

Проведенный обзор современного швейного оборудования позволяет выявить основные тенденции развития отрасли: максимальная автоматизация, высокая производительность, многоопреационность, широкие технологические возможности, надежность.

### **Литература**

1. Ермаков А. С. Оборудование швейных предприятий. Учебное издание. М.: ПрофОбрИздат. 2002. С. 9.

### **Об авторе(ах)**

**Семёнова Ольга Ивановна** — старший преподаватель кафедры технологии обработки материалов, факультет образовательных технологий и дизайна, Псковский государственный университет, Россия.

*O. I. Semenova*

## **REVIEW OF MODERN EQUIPMENT FOR SEWING PRODUCTION**

*The short history, classification and features of the device of modern cars for sewing production is considered. The offered review will allow to orient in the most effective sewing equipment according to types and scales of production.*

**Key words:** *internal springing system, wheel, smoothness of the vehicle, testing, mathematical model, theoretical research.*

**Key words:** *equipment, classification, production, universal and special action, efficiency, automation.*

*About the author(s)*

**Semenova Olga Ivanovna**, Senior Lecturer of the Department of Technology of processing of materials, Faculty of Educational Technologies and Design, Pskov State University, Russia.



УДК.620.179.1.082.7:658.58

Г. С. Ивасьшин

## НАУЧНЫЕ ОТКРЫТИЯ В ОБЛАСТИ МИКРО-НАНО-ПИКО- И ФЕМТОТРИБОЛОГИИ

*Обсуждаются возможности получения конкурентоспособных технологий на основе научных открытий (Диплом № 258, Диплом № 277, Диплом № 289, Диплом № 302, Диплом №392, Диплом № 404, Диплом № 466, Диплом № 468) и квантовой теории трения.*

**Ключевые слова:** управление трением, углеродно-азотный цикл, протон-протонный цикл, сверхтекучесть гелия, квантовая теория трения, гелиевое изнашивание, холодный ядерный синтез, нанотрибология.

Инновационно-ориентированное развитие российской экономики возможно только на основе превращения науки в реальную производительную силу путем создания и эффективного использования научных открытий, патентов.

**Цель настоящей работы** — обеспечение условий управления трением (внутренним и внешним), сверхпластичностью и сверхпроводимостью на основе синтеза гелия в объемных и поверхностных слоях пар трения, а также на основе квантовой теории трения, фотопроводимости, сверхпластичности и сверхпроводимости.

### **Постановка задач:**

- создание трибофизических моделей на основе реализации углеродно-азотного и протон-протонного циклов холодного ядерного синтеза, в результате которых в зоне трения (внутреннего и внешнего) водород превращается в гелий;
- Создание феноменологических основ квантовой теории трения, фотопроводимости, сверхпластичности и сверхпроводимости.

А. Ю. Ишлинский, характеризуя в 1998 г. состояние теоретической механики, отметил, что в этой детально разработанной области современного естествознания остаются «две нерешенные до сих пор проблемы: проблема трения и проблема турбулентности». Это объясняется тем, что, согласно [1], «... провести точные количественные эксперименты в трении весьма сложно, и законы трения, несмотря на огромное практическое значение точного анализа, до настоящего времени как следует не изучены», так что «с учетом всей проделанной работы удивительно, что до сих пор не достигнуто более глубокого понимания вопроса». При этом «трибология сложна, она требует знаний в области материаловедения, механики, термодинамики и многих других отраслей науки; при этом часто превышаются наши интеллектуальные возможности и воображение» [2].

Решение этой актуальной задачи возможно только на базе глубоких, научно-обоснованных знаний [3], которые могут быть достигнуты по мере дальнейшего развития трибологии. Как отмечал Г. Саломон, «трибология — это образ мышления и искусство, интеллектуальный подход к гибкой кооперации специалистов в раз-

личных областях науки и техники. Это искусство применения анализа операций к задачам огромного экономического значения, а именно к надежности, эксплуатации и износу технических устройств от космических кораблей до бытовых приборов» [4]. Эта наука в настоящее время интенсивно развивается. «Результаты трения, износа и эффективности смазочного действия в машинах определяются свойствами и процессами, происходящими в самих материалах трущихся тел, в их поверхностных слоях, на поверхностях раздела их фаз и в самом разделяющем слое. ...Знание особенностей и закономерностей изменений позволяет направленно воздействовать на результаты фрикционного взаимодействия тел, создавать новые материалы, технологии и конструкции современных машин, бережно расходовать энергию и в меньшей мере воздействовать на окружающую среду, а также повышать надежность машин в работе» [5].

Одним из современных направлений в области механики и машиноведения является микромеханика, или нанотехнология. Методы и средства классической трибологии здесь не применимы в полном объеме, хотя многие современные науки базируются на фундаментальных представлениях трибологии, рассмотренных в работах [2, 5].

Развитие нанотехнологий и появление нового класса приборов — микроэлектромеханических и наноэлектромеханических систем — привело к необходимости управления трибологическими процессами в микро- и наномасштабах [6], развитию экспериментальных методов исследования в области нанотрибологии [7–18]. Неслучайно авторы [3] считают, что «... форсирование исследований в области микро- и нанотрибологии ...» относится на сегодняшний день «... к основным и актуальным разделам и направлениям трибологии и ее инженерному приложению — триботехнике».

Экономика научно-технического прогресса должна базироваться на научных открытиях, являющихся высшей формой научного познания.

Открытием в области естественных наук признаётся установление явлений, свойств, законов (закономерностей) или объектов материального мира, ранее не установленных и доступных проверке.

Анализ микро– нано– пико– и фемтофизических и микро– нано– пико– и фемтохимических эффектов, выполненных на феноменологическом уровне, дал возможность получить определённые фундаментальные научные открытия:

**Закономерность аддитивности упругого последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения [11].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности упругого последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел, зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) упругих и пластических последствий, вызывающих изменение фрикционных связей, физико-механических характеристик материала и пространственного положения пары трения, обусловленная направленным перемещением дислокаций в упругой и пластической областях пар трения».

**Закономерность аддитивности магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов [12].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) магнитных последствий, сопровождающих упругие и пластические последствия, определяющая поведение водорода (интенсивную диффузию, накачку, молизацию и взаимодействие с другими элементами) и обусловленная направленным перемещением дислокаций, несущих водород в зону фрикционного контакта из упругой и пластической областей пары трения и влияющих на структуру и подвижность доменных стенок».

**Закономерность аддитивности диффузионного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов [13].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности диффузионного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) диффузионных магнитных последствий, сопровождающих упругие и пластические последствия, определяющая поведение внедренных атомов углерода и азота и обусловленная направленным перемещением дислокаций, несущих внедренные атомы углерода и азота в зону фрикционного контакта из упругой и пластической областей пары трения и влияющих на структуру и подвижность доменных стенок».

Необходимо отметить, что атомы внедрения углерода С и азота N (углеродно-азотный цикл) ответственны, как бы парадоксально это не звучало, за синтез гелия в зоне трения (Диплом № 289).

Следовательно — создана трибофизическая модель на основе реализации углеродно-азотного цикла, в результате которого водород превращается в гелий.

1.  $12\text{C} + 1\text{H} \rightarrow 13\text{N} + \gamma$ .
2.  $13\text{N} \rightarrow 13\text{C} + \beta^{++} + \nu$ .
3.  $13\text{C} + 1\text{H} \rightarrow 14\text{N} + \gamma$ .
4.  $14\text{N} + 1\text{H} \rightarrow 15\text{O} \rightarrow \gamma + \gamma$ .
5.  $15\text{O} \rightarrow 15\text{N} + \beta^{++} + \nu$ .
6.  $15\text{N} + 1\text{H} \rightarrow 15\text{C} + 4\text{He}$ .

Углерод играет роль катализатора процесса слияния протонов.

Протон, сталкиваясь с ядром углерода, превращается в радиоактивный изотоп  $^{13}\text{N}$ . При этой реакции излучается  $\gamma$ -квант (фотон). Изотоп  $^{13}\text{N}$ , претерпевая  $\beta$ -распад с испусканием позитрона и нейтрино, превращается в обычное ядро азота  $^{14}\text{N}$ . При этой реакции так же излучается  $\gamma$ -квант. Далее, ядро азота сталкивается с протоном, после чего образуется радиоактивный изотоп кислорода  $^{15}\text{O}$  и  $\gamma$ -квант. Затем этот изотоп путём  $\beta$ -распада превращается в изотоп азота  $^{15}\text{N}$ . Наконец, по-

следний, присоединив к себе во время столкновения протон, распадается на обычный углерод и гелий. Вся цепь реакций представляет собой последовательное «утяжеление» ядра углерода путём присоединения протонов с последующими  $\beta^+$ -распадами. Последним звеном этой цепи является восстановление первоначального ядра углерода и образование нового ядра гелия за счет четырех протонов, которые в разное время один за другим присоединились к  $^{12}\text{C}$  и образующимся из него изотопам.

В последние годы получены многочисленные экспериментальные свидетельства ядерных реакций при низких энергиях (ядерных реакций в конденсированных средах, холодном ядерном синтезе — ХЯС). Под «холодным ядерным синтезом», который теперь предлагается заменить на термин «ядерные процессы, индуцированные кристаллической решеткой», понимаются аномальные с точки зрения вакуумных ядерных столкновений, стохастические низкотемпературные ядерные процессы (слияние ядер с выделением нейтронов), существующие в неравновесных твердых телах, которые стимулируются трансформацией упругой энергии в кристаллической решетке при фазовых переходах, механических воздействиях, сорбции или десорбции водорода (дейтерия). ХЯС достоверно зафиксирован в целом ряде физических и физико-химических процессов с участием дейтерия. Многие из таких процессов, но с участием природного водорода, имеют место и в естественных процессах. К их числу можно отнести: явление сорбции-десорбции водорода в металлах, окислительно-восстановительные воздействия на соединения водорода, механическое разрушение и измельчение водородосодержащих пород.

Однако, до сих пор не создано удовлетворительной количественной и даже качественной теории ХЯС, имеющего принципиальное значение, как для фундаментальной науки, так и, практического использования.

**Закономерность аддитивности водородного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов [14].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности водородного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных металлов и сплавов, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) водородных магнитных последствий, сопровождающих упругие и пластические последствия, обусловленная направленным перемещением дислокаций, несущих водород в зону контакта».

1.  $1\text{H}+1\text{H}\rightarrow 2\text{D}+\beta^{++}+\nu$ .
2.  $2\text{D}+1\text{H}\rightarrow 3\text{He}+\gamma$ .
3.  $3\text{He}+3\text{He}\rightarrow 4\text{He}+21\text{H}$ .

Следовательно, сформулирован механизм холодного ядерного синтеза, возникающий в поверхностных слоях пар трения твердых тел и обусловленный направленным перемещением дислокаций в кристаллических структурах металлов на основе реализации протон - протонного цикла, в результате которого водород превращается в гелий.

Академик Б. В. Дерягин с сотрудниками в 1985 г. обнаружил явление мезокристаллической нейтронизации из содержащих дейтерий кристаллических тел, которое в своей публикации 1985 года интерпретировали как проявление реакций холодного ядерного синтеза.

В 90-е годы сотрудники Б. В. Дерягина предложили гипотезу о том, что в веществах с водородными связями на одной водородной связи могут оказаться два ядра атомов водорода при расстоянии между ними менее одного ангстрема. Туннелирование дейтронов сквозь столь узкий барьер может происходить с большой вероятностью и при низких температурах.

Согласно современным представлениям, протон и нейтрон представляют собой два состояния одной частицы — нуклона. То есть протон становится нейтроном, присоединив электрон, а нейтрон — протоном, отдав электрон другому протону, который, в свою очередь, превращается в нейтрон.

**Закономерность изменения энтропии термодинамического последствия триботехнической системы [15].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность изменения энтропии термодинамического последствия триботехнической системы, заключающаяся в том, что под механической нагрузкой энтропия термодинамического последствия триботехнической системы уменьшается, а при снятии нагрузки увеличивается, обусловленная движением дислокаций в упругих и пластических областях твердых тел и переходом термодинамического последствия триботехнической системы от менее вероятного состояния к более вероятному».

**Закономерность аддитивности температурного последствия в объемных и поверхностных слоях пар трения [16].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности температурного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения, заключающаяся в том, что в упругой и пластической областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) температурных последствий, сопровождающих упругие и пластические последствия, обусловленная направленным перемещением дислокаций».

**Закономерность аддитивности сорбционного последствия в объемных и поверхностных слоях пар трения [17].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность аддитивности сорбционного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения, заключающаяся в том, что в упругих и пластических областях твердых тел в зоне их фрикционного контакта происходит суммирование (аддитивность) сорбционных последствий, сопровождающих упругие и пластические последствия, обусловленная направленным перемещением дислокаций, определяющих характер сорбции (абсорбция, адсорбция, хемосорбция и др.)».

**Закономерность изменения энтропии информационного последствия триботехнической системы [18].**

«Установлена неизвестная ранее закономерность изменения энтропии информационного последствия триботехнической системы от механической нагрузки, заключающаяся в том, что при увеличении (уменьшении) механической нагрузки

на зону контакта триботехнической системы энтропия информационного последствия уменьшается (увеличивается), обусловленная движением дислокаций в упругих и пластических областях контактирующих твердых тел триботехнической системы».

«... Существует оценка, что 30 % валового национального продукта США зависит от приложений квантовой механики в той или иной форме. Неплохо для теории, которую никто не понимает. Подумайте о потенциальных возможностях роста и повышения качества жизни (или неизбежного повышения качества смерти при развитии квантовых вооружений), которые могут быть выявлены, если мы вдруг поймём её! ...» (Питер Эткинз) [19].

Вместе с тем нельзя не отметить, что определенные микро- и нанотрибологические эффекты установлены Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским (открытие «Избирательный перенос при трении»), Е. А. Духовским и А. А. Силиным (открытие «Аномально низкое трение»), Д. Н. Гаркуновым, А. А. Поляковым, Г. П. Шпеньковым и В. Я. Матюшенко (открытие «Явление образования насыщенной водородом зоны под поверхностным слоем металла при трении») [10].

Авторы [20, С. 343] считают, что избирательный перенос — наиболее яркое проявление эффекта двухслойной смазки, причем слой мягкого металла, покрывающего поверхность трения, и слой молекул ПАВ, адсорбировавшихся на нем, образуются непосредственно в процессе трения. Использование избирательного переноса, открытого в 1956 г. Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским, позволяет получить коэффициенты трения 0,01–0,005, интенсивность изнашивания  $10^{-10}$ ... $10^{-12}$ , в то время как при граничной смазке в обычных условиях коэффициент трения составляет 0,05–0,10, а интенсивность изнашивания  $10^{-9}$ – $10^{-10}$ . Это дало основание назвать явление избирательного переноса «эффектом безызносности».

В основе механизма избирательного переноса при трении лежит избирательное растворение сплавов. При избирательном растворении и деформации трением коэффициент диффузии возрастает на несколько порядков, соответственно возрастает скорость диффузионных потоков (неравновесность), уменьшая энтропию и увеличивая упорядоченность и создавая условия для формирования диссипативной структуры [21, С. 142].

Чрезвычайно интересно открытие Е. А. Духовским и А. А. Силиным и др. [21, С. 67] у полимерных материалов явления аномально низкого трения, возникающего при облучении поверхности трения частицами высокой энергии. Это открытие в явном виде обнаружило связь характеристик фрикционного взаимодействия с энергетическим состоянием поверхностного слоя твердого тела.

Согласно [22, С. 147] водородное изнашивание возникает в результате кооперативного (синергетического) взаимодействия поверхностных явлений: экзотермической, адсорбции и трибодеструкции, которые приводят к выделению водорода. Совместно с неравновесными процессами, идущими при деформации поверхностного слоя металла, создаются тепловые градиенты, электрические и магнитные поля и поля напряжений. Это приводит к диффузии водорода в металлах, концентрации его в подповерхностном слое и ускоренному износу или разрушению этого слоя.

Поясним сказанное. На поверхности при трении возникает экзoeлектронная эмиссия, поставляющая электроны, способные сольватироваться на молекулах воды и разлагать их на кислород и водород.

Водород — почти неизбежная примесь любого сплава [23, С. 64]. Он маленький (диаметр атома водорода в металлах колеблется от 0,056 до 0,092 нм), и вероятно, поэтому очень подвижный. Большая подвижность водорода по сравнению с другими элементами особенно заметна при низких температурах.

Водород — элемент особый. От всех других элементов он отличается тем, что находясь в кристаллической решетке в ионизированном состоянии, он является совершенно «голым», образуя протонный газ.

Протон — ядро атома водорода.

Измерения размеров ядер различными методами дают величину  $\sim 1\text{--}10$  Фм ( $1\text{ Фм} = 10^{-15}$  м, фемтометр — от дат. femten — пятнадцать). Размеры атома  $\sim 0,1$  нм. Таким образом, было установлено, что атом — основной строительный материал вещества — представляет собой «атом пустоты» отношение объема, занимаемого ядром к объему атома  $\sim 10^{-15}$  [24].

Возникают частицы с большой энергией: возбужденные молекулы, атомы, ионы, быстрые электроны, фононы, фотоны (кванты электромагнитного излучения).

Такое состояние является причиной определенных химических реакций, а также явлений трибоэлектричества, электронной эмиссии, триболюминесценции и т. п. [25].

Факторы, определяющие теплопроводность и электропроводимость, одинаковы — движение свободных электронов в металле.

Причём, чем меньше помех (например, дислокаций, тепловых колебаний атомов кристаллической решетки и др.) для движения электронов, тем лучше проводимость.

Сегодня из-за наличия сопротивления подводящих проводов теряется от 30 до 40 % производимой электроэнергии [26, С. 415].

Электронная теория («электронное трение») в состоянии объяснить влияние многих факторов на электрическое сопротивление материалов.

Знание генерируемых «электронным трением» температур имеет первостепенное значение для трибологии.

### **Выводы:**

1. Предлагаемые трибофизические модели составляют феноменологические основы квантовой теории трения, фотопроводимости, сверхпластичности и сверхпроводимости. Созданные трибофизические модели (научные открытия — Дипломы № 258, № 277, № 289, № 302, № 392, № 404, № 466, № 468) — феномен биокомпьютерных технологий. Управление электронным трением на основе трибофизических моделей даст возможность не только увеличить скорость передачи информации по оптическим кабелям (в настоящее время 5 процентов энергии, которую производит человечество тратится на передачу энергии по оптическим кабелям), но и увеличить быстроедействие компьютеров и интернет.

2. Приложения феноменологической квантовой теории трения, фотопроводимости, сверхпластичности и сверхпроводимости в той или иной форме могут быть использованы при изготовлении фотоэлементов, фотоэлектронных умножителей, электрических фотометров, сложных крупногабаритных деталей авиационно-космической техники, а также в электроэнергетике (последовательные соединения источников фото — э. д. с. образуют солнечные батареи, используемые в качестве бортовых источников электрической энергии на космических комплексах).

3. Использование водорода в качестве топлива в автомобильном двигателе, а также развитие водородной энергетики актуализирует создание материалов на основе научного открытия (Диплом № 289) для пар трения с гелиевым изнашиванием в трибосистемах с возможностью подавления водородного изнашивания на основе реализации углеродно-азотного цикла (эффекта) в зоне трения. Использование пар трения с гелиевым изнашиванием даст возможность управлять трением (за счет сверхтекучести гелия) в микротрибосистемах.

4. Трибологические эффекты (трибозмиссия, триболюминисценция, трибоэлектричество и др.), возникающие при взаимодействии микро- нано-пико- и фемтоконтактов при трении, можно целенаправленно использовать не только с целью изучения холодного ядерного синтеза, но и для получения в перспективе неиссякаемого источника экологически чистой энергии на основе синтеза из более легкого водорода более тяжелого гелия.

#### Литература

1. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 7: Пер. с англ. / Под ред. Я. А. Смородинского. М.: Мир, 1977. 288 с.
2. Трибология: Исследования и приложения: опыт США и стран СНГ / Под ред. В. А. Белого, К. Лудемы, Н. К. Мышкина. М.: Машиностроение; Нью-Йорк: Аллертон-пресс, 1993. 452 с.
3. Колесников В. И., Лужнов Ю. М., Чичинадзе А. В. Цели и задачи журнала «Трение и смазка в машинах и механизмах» // Приложение к журналу «Сборка в машиностроении, приборостроении». № 1 (7). 2005. С. 3–7.
4. Мур Д. Основы и применения трибоники. М.: Мир, 1978. 488 с.
5. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун и др.; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2003. 576 с.
6. Левченко В. А., Буяновский И. А., Матвеев В. Н. Этапы развития нанотрибологии // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2005. № 2. С. 36–45.
7. Ивасышин Г. С. Нанообразование и нанотрибология // Высокие интеллектуальные технологии и инновации в образовательно-научной деятельности: Материалы XIII Международной научно-методической конференции. Том 1. 16–17 февраля 2006 года, Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. С. 260–261.
8. Ивасышин Г. С. Нанотрибология и гистерезисные явления в трибосистемах // Труды Псковского политехнического института, 2005. № 9.3. С. 265–271.
9. Ивасышин Г. С. Научные открытия в нанотрибологии // Фундаментальные исследования в технических университетах: Материалы X Всероссийской конференции по проблемам высшей школы, 18–19 мая 2006 года. Санкт-Петербург. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2006. С. 301–304.
10. Ивасышин Г. С. Научные открытия в микро- и нанотрибологии // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2008. № 4. С. 24–27.
11. Научное открытие (Диплом № 258). Закономерность аддитивности упругого последействия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г. С. Ивасышин. М.: РАЕН, МААНОИИ. 2004.



12. Научное открытие (Диплом № 277). Закономерность аддитивности магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов / Г. С. Ивасышин. М.: РАЕН, МААНОиИ. 2005.
13. Научное открытие (Диплом № 289). // Закономерность аддитивности диффузионного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов / Г. С. Ивасышин. М.: РАЕН, МААНОиИ, 2005.
14. Научное открытие (Диплом № 302) // Закономерность аддитивности водородного магнитного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения из ферромагнитных материалов и сплавов / Г. С. Ивасышин. М.: РАЕН, МААНОиИ, 2006.
15. Научное открытие (Диплом № 392). Закономерность изменения энтропии термодинамического последствия триботехнической системы / Г. С. Ивасышин, М. М. Радкевич, С. Г. Чулкин. М.: РАЕН, МААНОиИ. 2010.
16. Научное открытие (Диплом № 404). Закономерность аддитивности температурного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г. С. Ивасышин, М. М. Радкевич, С. Г. Чулкин. М.: РАЕН, МААНОиИ. 2010.
17. Научное открытие (Диплом № 466). Закономерность аддитивности сорбционного последствия в объемных частях и поверхностных слоях пар трения / Г. С. Ивасышин, Д. В. Васильков. М.: РАЕН, МААНОиИ. 2014.
18. Научное открытие (Диплом № 468). Закономерность изменения энтропии информационного последствия триботехнической системы / Г. С. Ивасышин, М.: РАЕН, МААНОиИ. 2014.
19. Эткинз П. Десять великих идей науки. Как устроен мир / Питер Эткинз; пер. с англ. М.: АСТ: Астрель, 2008. 384 с.
20. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов. 2-ое изд. переработ. и доп. / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др.; Под общ. ред. А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
21. Машков Ю. К., Полещенко К. Н., Поворознюк С. Н., Орлов П. В. Трение и модифицирование материалов трибосистем. М.: Наука, 2000. 280 с.
22. Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): Учеб. 4-е изд., перераб. и доп. М.: МСХА, 2001. 616 с.
23. Бокштейн Б. С. Атомы блуждают по кристаллу / Под ред. Л. Г. Асламазова. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. 208 с.
24. Павленко Ю. Г. Квантовая физика. Элементы теории относительности. Световые кванты. Атом и атомное ядро. М.: Изд-во МГУ, 1992. 16 с.
25. Ивасышин Г. С. Исследование трения и износа по нанoshкале методом профилированной координатной сетки. Квант действия Планка  $h$  и квант последствие Н1 // Межотраслевой альманах. Деловая слава России. 2014. № 2(45). С. 38–40.
26. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000. 496 с.

*Об авторе(ах)*

**Ивасышин Генрих Степанович** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теории механизмов и машин, механико-машиностроительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

## SCIENTIFIC ADVANCES IN THE FIELD OF MICRO – NANO – PICO – FEMTOTRIBOLOGY

*The opportunities of obtaining competitive technologies based on scientific investigations (Diploma № 258, Diploma № 277, Diploma № 289, Diploma № 302, Diploma № 392, Diploma № 404, Diploma № 466, Diploma № 468) and quantum friction theory are discussed.*

**Key words:** *friction control, carbon-and nitrogen cycle, proton-and-proton cycle, helium superfluidity, quantum friction theory, helium wearability, cold nuclear fusion, nanotribologi.*

### *About the author*

**Ivasyshin Henrih Stepanovich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Theory of machines and mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

## **ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

УДК 621.396.21

А. М. Марков

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОГО ВСЕДИАПАЗОННОГО ТРАНСИВЕРА**

*Рассматриваются вопросы проектирования и изготовления коротковолнового трансивера (приёмопередатчика), предназначенного для проведения радиосвязей на всех любительских диапазонах рабочих частот. Приводится описание и технические параметры основных компонентов трансивера, выполненного на современной элементной базе.*

**Ключевые слова:** диапазон рабочих частот, входное сопротивление приёмника, коэффициент шума, диапазон автоматической регулировки усиления (APУ), избирательность, динамический диапазон по интермодуляции, всдиапазонный спортивный трансивер.

Основой любительской коротковолновой радиостанции служит приемопередатчик, или трансивер. От его качества во многом зависят возможности радиостанции, а значит, и спортивные достижения, её владельца. Приемный тракт трансивера должен уверенно выделить полезный сигнал из многочисленных помех, а передающий формировать высококачественный сигнал с предельно узким частотным спектром, создавая минимум помех в соседних каналах.

Способность приемно-передающей аппаратуры выполнять свои функции, её качество характеризуют рядом поддающихся точным измерениям параметров. Это относится как к профессиональной, так и к любительской аппаратуре. На параметры профессиональной аппаратуры существуют государственные стандарты, для спортивной — подобных стандартов нет. Тем не менее, условия работы в современном любительском эфире, отличающемся высокой загруженностью, предъявляют к спортивной аппаратуре очень высокие требования. Любительская КВ аппаратура строится так, чтобы обеспечить возможность наиболее дальних связей. ГОСТ на «Устройства приемные магистральной радиосвязи ...» [1, С. 10–15] регламентирует следующие параметры, пригодные для оценки спортивных приемников.

*Диапазон рабочих частот* для приемников первого и второго классов установлен равным 1,5–30 МГц. Для спортивных приемников достаточно перекрывать любительские диапазоны, в которых ведут передачи как российские, так и иностранные радиолюбители, а именно: 1,75–2,0 МГц (1,8 МГц или 160 м); 3,5–3,9 МГц (3,5 МГц или 80 м); 7,0–7,2 МГц (7 МГц или 40 м); 10,075–10,150 МГц (10 МГц или 30 м); 14,0–14,35 МГц (14 МГц или 20 м); 18,068– 18,168 МГц (18 МГц

или 16 м); 21,0–21,35 МГц (21 МГц или 15 м); 24,89–24,99 МГц (24 МГц или 12 м); 28,0–29,7 МГц (28 МГц или 10 м).

*Вид принимаемых излучений.* Из всех перечисленных в [1, С. 15–20] видов излучений российские радиолюбители используют на КВ следующие (в скобках даны названия и сокращения, принятые в литературе):

A1A — амплитудная манипуляция (телеграф, ТЛГ, CW);

J3E — однополосная модуляция с подавленной несущей (ОБП, SSB);

A3E — двухполосная модуляция с полной несущей (амплитудная модуляция, АМ);

F1B — частотное телеграфирование (радиотелетайп, ЧТ, RTTY).

*Входное сопротивление приемника* должно быть 75 или 50 Ом при несимметричном входе и 200 Ом — при симметричном. При этом должен быть обеспечен коэффициент стоячей волны (КСВ) в фидере не более 3. В любительской аппаратуре обычно применяют коаксиальные фидеры с указанными стандартными значениями волновых сопротивлений, поэтому симметричный вход, как правило, излишен.

*Коэффициент шума* для приемников с одноконтурной входной цепью установлен не более 10, 12, 15 дБ (здесь и в дальнейшем три значения параметров соответствуют приемникам I, II и III классов), а при входной цепи в виде трехконтурного полосового фильтра — не более 15, 17, 20 дБ.

*Диапазон автоматической регулировки усиления (АРУ)* при изменении выходного уровня на 6 дБ установлен не менее 100, 70, 60 дБ, а диапазон ручной регулировки усиления (РРУ) — не менее 80, 74, 54 дБ. Уровень излучения гетеродинов на антенном входе, нагруженном на сопротивление 75 Ом, не более 10, 20, 20 мкВ.

*Избирательность.* ГОСТ не нормирует односигнальную избирательность по соседнему каналу, которая зависит, прежде всего, от амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтров основной селекции в тракте ПЧ. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания основного канала тональной частоты допускается не более 3 дБ для приемников первых двух классов и 6 дБ — для третьего.

*Входные цепи приемников, или преселекторы,* решают задачу ослабления приема на большинстве побочных каналов, а также согласования входного сопротивления приемника с волновым сопротивлением фидера антенны. Линейность амплитудной характеристики преселектора должна быть не хуже, чем у следующего за ним первого смесителя. Перестраиваемый преселектор можно назвать традиционным — он широко и успешно применяется на протяжении более пяти десятилетий. Обычно достаточную избирательность при простой схеме и конструкции обеспечивают трехконтурные фильтры сосредоточенной селекции (ФСС), выполненные из катушек индуктивности с добротностью 50–100.

*Усилители радиочастоты* используют в составе преселектора для улучшения чувствительности приемника. Крайне желательно обойтись вообще без УРЧ. Для этого нужно, чтобы на верхних частотах КВ диапазона коэффициент шума цепи пассивный преселектор — смеситель был не хуже 12–15 дБ, что вполне осуществимо. Если он достигает лишь около 20 дБ, можно применить широкополосный УРЧ с полосовым фильтром 21–30 МГц на входе, включаемый в случае необходи-

мости только на сравнительно тихих высокочастотных диапазонах перед основным преселектором [2, С. 44–49].

*Смесителем частот* называют электрическую цепь, создающую спектр комбинационных частот при подаче на нее двух или более сигналов разных частот. Смесители служат для изменения частоты исходных колебаний путем сложения или вычитания с частотой несущей, вырабатываемой вспомогательным генератором или гетеродином.

*Гетеродинами* называют генераторы гармонических колебаний, используемые для преобразования частоты. В спортивной аппаратуре используют гетеродины на основе автогенераторов с параметрической и кварцевой стабилизацией, а также синтезаторы частот как прямого синтеза, т. е. использующие исключительно умножение, деление и преобразование частоты, так и косвенного — на основе колец фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

В диапазонных генераторах КВ диапазона, используемых в гетеродинах трансиверов с одной ПЧ, применяют LC-контуры, добротность которых определяется практически только добротностью катушки индуктивности. Однако на частотах УКВ диапазона вполне приемлемые размеры имеют коаксиальные резонаторы, добротность которых нетрудно довести до нескольких тысяч. Необходимую стабильность частоты УКВ генератора можно обеспечить путем изготовления жесткой конструкции коаксиальной линии и конденсатора переменной емкости (КПЕ). Получить затем необходимые гетеродинные частоты можно путем деления частоты УКВ генератора с помощью цифровых делителей, выполненных на скоростных ЭСЛ-микросхемах. Микросхемы распространенной серии К500 обеспечивают деление частот до 205–210 МГц, серии К1500 примерно до 350 МГц. Относительный уровень собственных шумов делителей на ЭСЛ-микросхемах около (150–160) дБГц, что достаточно для гетеродинов приемников с реальной избирательностью до 120 дБ.

Частоту гетеродина обычно выбирают ниже частоты сигнала при работе на ВЧ диапазонах 14 МГц и выше, а на НЧ диапазонах — выше частоты сигнала. Это обеспечивает прием и передачу нижней боковой полосы на НЧ диапазонах и верхней — на ВЧ при неизменной частоте опорного генератора детектора приемника и балансного модулятора однополосного тракта передачи. Применив в гетеродине делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД), можно так подобрать коэффициенты деления  $K_d$  и выбрать такой диапазон перестройки УКВ генератора, что будет обеспечено перекрытие всех любительских диапазонов при неизменном диапазоне перестройки УКВ генератора.

*Фильтры основной селекции* обеспечивают избирательность приемников по соседним каналам. Фильтр должен обеспечивать небольшое затухание в полосе пропускания при минимальной его неравномерности, высокое затухание в полосе задерживания, узкую переходную область от полосы пропускания к полосе задерживания.

В качестве ФОС используют электромеханические фильтры (ЭМФ). Особенно популярны наборы ЭМФ с номинальной частотой 500 кГц, имеющие в своем составе фильтры с полосами пропускания от 0,3 до 10 кГц. Электромеханические

фильтры в значительной степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ФОС. Затухание в полосе пропускания составляет обычно 4–10 дБ при его неравномерности не более 6 дБ. Их затухание монотонно возрастает по мере удаления от полосы пропускания и достигает 100 дБ и более.

Из доступных радиолюбителям в наибольшей степени отвечают ранее перечисленным требованиям кварцевые ФОС. Разнообразные полосовые фильтры как из дискретных резонаторов, так и монолитные — на одной пластине — выпускаются промышленностью на частоты от единиц до нескольких десятков мегагерц. Наиболее популярны фильтры, выполненные по лестничным схемам.

Система автоматической регулировки усиления (АРУ) — неотъемлемый элемент высококачественного приемника и трансивера. Автоматическую регулировку усиления используют при приеме как телефонных, так и телеграфных сигналов. Для получения напряжения АРУ выпрямляют сигнал с выхода УПЧ или УЗЧ и сглаживают с постоянной времени зарядки порядка единиц или даже долей миллисекунды и постоянной времени разрядки, в зависимости от условий приема, порядка десятых долей или единиц секунд. Процесс установления в петле АРУ должен быть аperiодическим, т. е. без значительных колебаний.

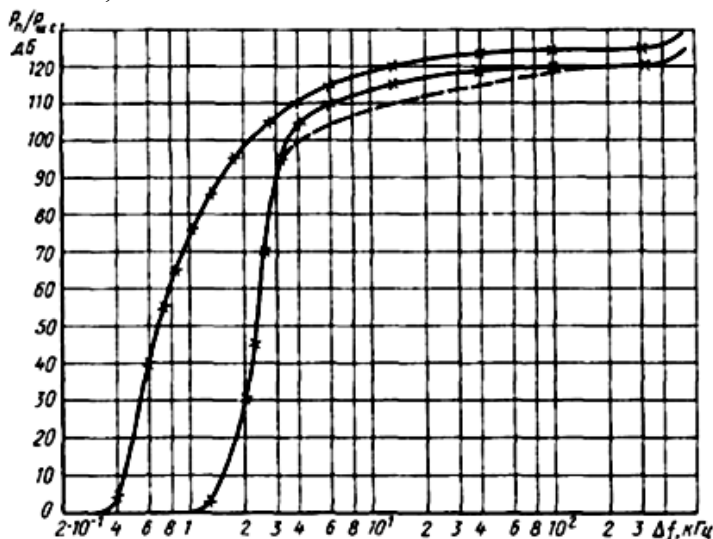


Рис. 1. Характеристики реальной избирательности приёмного тракта

Спроектированный и изготовленный трансивер предназначен для работы во всех КВ диапазонах, используемых радиолюбителями России: 160, 80, 40, 30, 20, 15, 10 м, и только на прием — в диапазоне 16 м. Входное сопротивление приемного и выходное сопротивление передающего трактов — 50 Ом. Коэффициент шума приемного тракта не более 13 дБ, что соответствует ЭДС чувствительности 0,63 мкВ при отношении сигнал-шум 10 дБ, полосе пропускания 2,5 кГц и пороговой чувствительности 127 дБм. Динамический диапазон по интермодуляции более 100 дБ, по блокированию, вызванному нелинейностью широкополосного тракта — более 140 дБ. Диапазон АРУ при изменении уровня выходного сигнала на 6 дБ бо-

лее 66 дБ, при изменении этого уровня на 18 дБ более 110 дБ. Диапазон ручной регулировки усиления более 130 дБ. Выходная мощность тракта ЗЧ при сопротивлении нагрузки 100 Ом — 200 мВт. Дрейф частоты настройки через 30 мин после включения аппарата не более 100 Гц в час в диапазоне 10 м. Характеристики реальной избирательности приемного тракта при полосах пропускания 2,5 и 0,8 кГц, измеренные при фиксированном уровне шума +3 дБ по отношению к уровню собственных шумов, приведены на рис. 1.

Выходная мощность передающего тракта трансивера в режиме CW 9 Вт, пиковая в режиме SSB 7,5 Вт. Уровень гармоник в режиме CW не более — 24 дБ, в режиме SSB не более — 30 дБ. Уровень продуктов интермодуляции третьего и пятого порядков (в режиме SSB) при подаче измерительных сигналов на вход широкополосного тракта не превышает — 42 дБ по отношению к пиковой мощности (39 дБ к мощности одного из измерительных сигналов). Уровень комбинационных побочных колебаний не более — 60 дБ. Полоса SSB сигнала по уровням — 30, — 60 и — 90 дБ с выключенным ограничителем — 3, 13 и 60 кГц, при максимальной степени ограничения — 3,6, 18 и 80 кГц (измерено при загрузке шумовым сигналом). Полоса телеграфного сигнала при скорости передачи около 120 знаков в минуту по уровням — 60 и — 90 дБ и — 1 и 8 кГц. На рис. 2 представлена зависимость плотности мощности шумов передатчика в режиме CW (кривая 1) Там же для сравнения даны усредненные шумовые характеристики передающих трактов трансиверов IC730, TS930, TS430S в режиме CW, в которых в качестве гетеродинов применены цифровые синтезаторы частоты с обзорным диапазоном (кривая 2).

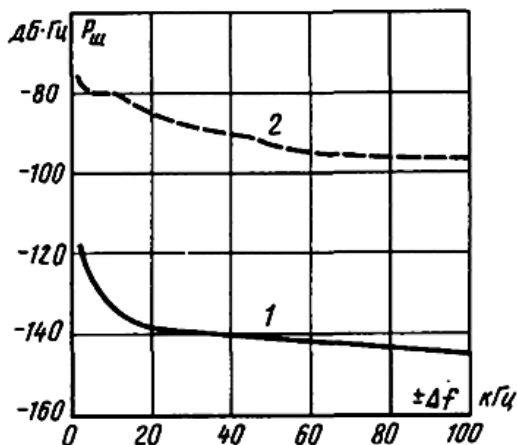


Рис. 2. Характеристика шумов передатчика в режиме CW

Мощность, потребляемая трансивером от сети при номинальной выходной мощности, не более 40 Вт. Размеры аппарата 277×163×340 мм (вместе с ручками управления). Масса 10 кг.

На рис. 3 приведена принципиальная схема фильтра основной селекции (ФОС). Кварцевые фильтры основной селекции выполнены по лестничной схеме.

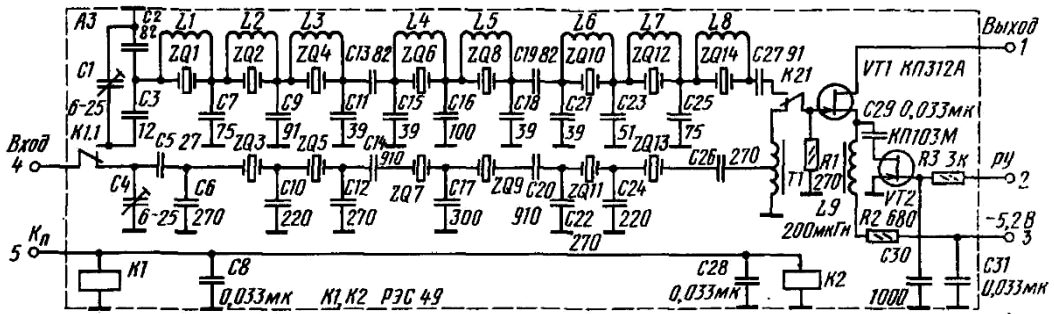


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная ФОС

Резонаторы фильтра ZQ1 с полосой пропускания окаю 2,5 кГц (на схеме верхний), чтобы обеспечить указанную полосу и симметричную АЧХ, зашунтированы индуктивностями L1–L8, которые совместно с параллельными емкостями резонаторов образуют параллельные контуры, настроенные на частоту, близкую к ПЧ. Амплитудно-частотная характеристика фильтра ZQ2 с полосой пропускания около 0,8 кГц (нижний на схеме) получается достаточно симметричной и без компенсирующих индуктивностей.

Фильтры коммутируют с помощью реле K1 и K2, управляемых через транзисторный ключ на плате A9. Входы фильтров согласованы с выходным контуром ПЧ смесителя через емкостные делители C2C3 и C5C6. Фильтр ZQ1 нагружается на резистор R1 непосредственно, ZQ2 — через повышающий трансформатор Т1.

Первый каскад УПЧ, расположенный в блоке ФОС, выполнен на малошумящем полевом транзисторе VT1. Усиление каскада регулируют, изменяя сопротивление канала транзистора VT2, включенного в цепь отрицательной обратной связи каскада. Такой регулировкой достигается высокая линейность амплитудной характеристики каскада при изменении его усиления.

Принципиальная схема генератора плавного диапазона (ГПД) приведена на рис. 4. Задающий диапазонный автогенератор ГПД выполнен по емкостной трехточечной схеме на малошумящем СВЧ транзисторе VT1 с заземленной базой. В колебательной системе автогенератора в качестве переменной индуктивности используется отрезок жесткой коаксиальной линии W1, нагруженной на сумму емкостей подстроечного конденсатора C3 и бесконтактного конденсатора переменной емкости (КПЕ) C4. С помощью КПЕ частота ГПД изменяется в интервале 179,5–196 МГц. Резистор R2 предотвращает самовозбуждение автогенератора на частоте резонанса индуктивности дросселя L1 и емкости конденсаторов в коллекторной цепи транзистора VT1. Этот транзистор работает в режиме АВ, постоянный ток через него определяется сопротивлением R3 и близок к 3 мА.

Эмиттерный повторитель на транзисторе VT2 выполняет функции буферного каскада, а также смещает постоянную составляющую напряжения на эмиттере транзистора VT1. Через конденсатор C2 к линии W1 подключен варикап VD1 узла расстройки.



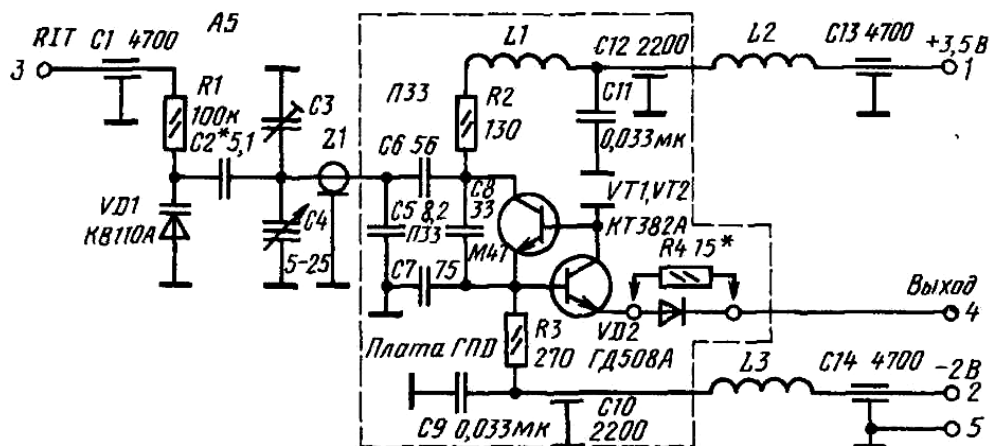


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная блока ГПД

В блоке формирователя однополосного сигнала (ФОПС) (рис. 5) на микросхеме DD1 выполнен ключевой балансный модулятор. Под воздействием прямоугольной несущей частоты 500 кГц, поступающей на адресный вход A0 мультиплексора DD1, входы фильтра Z1 поочередно подключаются то к источнику ЗЧ сигнала, то к цепи «общий провод». Модулятор включается при поступлении на вывод 6 микросхемы DD1 напряжения низкого уровня из блока A19. Фильтр Z1 выделяет нижнюю боковую полосу, а также дополнительно подавляет перенесенные на ПЧ1 некомпенсированные в фазовом ограничителе гармоники ограниченного речевого сигнала. При указанных напряжениях питания модулятор практически не вносит искажений при размахе напряжения ЗЧ до  $\pm 3$  В.

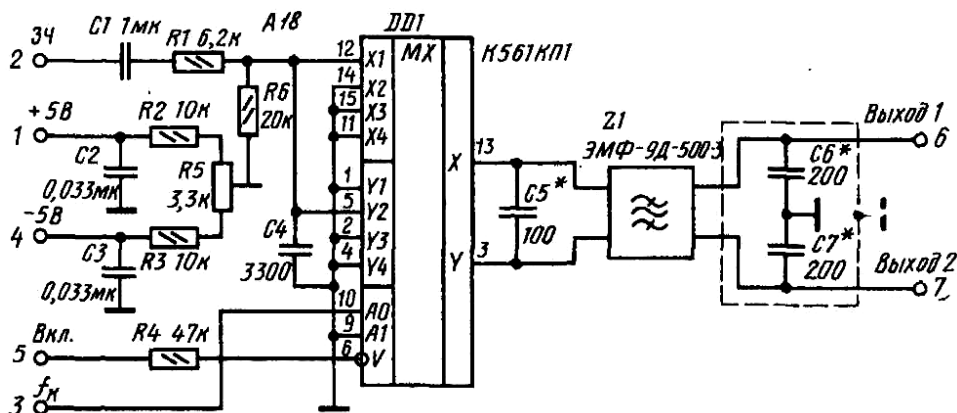


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная ФОПС

Схема усилителя мощности (РА) представлена на рис. 6. Усилитель — трехкаскадный, все три каскада двухтактные, что облегчило достижение малого уровня интермодуляционных искажений и гармоник.

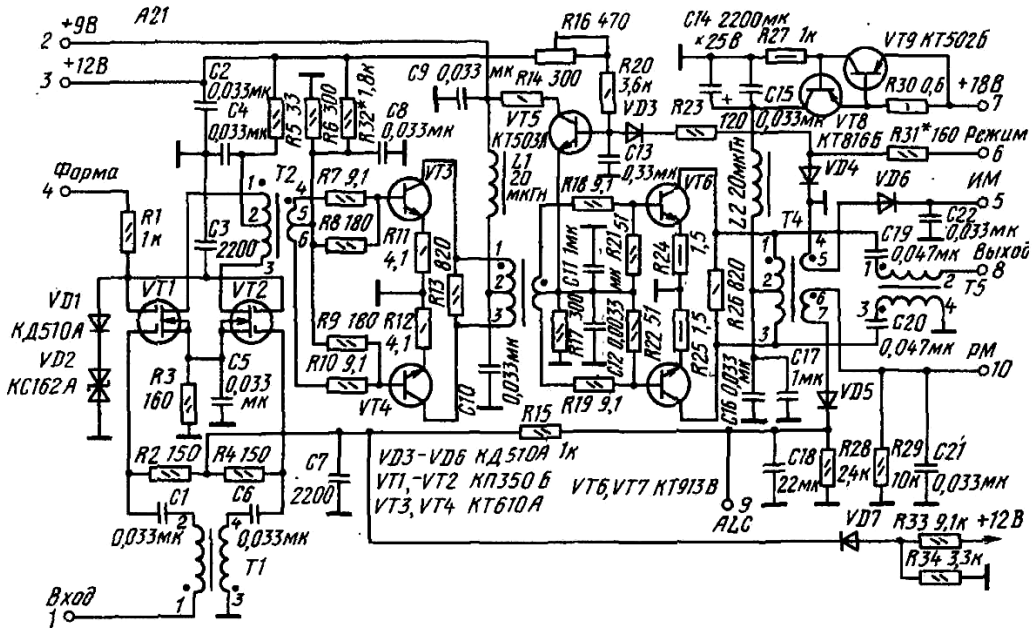


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности (РА)

Первый каскад выполнен на полевых тетрадах VT1 и VT2. Радиочастотный сигнал подается на вход каскада через симметрирующий трансформатор Т1 типа линии, нагруженный на сумму сопротивлений резисторов R2 и R4. Через эти резисторы на первые затворы транзисторов VT1 и VT2 поступает напряжение из цепи регулировки усиления. Эта регулировка, как и в УПЧ приемного тракта, производится по насыщению проходных характеристик тетродов. На вторые затворы VT1 и VT2 через резистор R1 из блока А19 поступает напряжение трапецеидальной формы. Это напряжение плавно ограничено сверху с помощью цепи из диода VD1 и стабилитрона VD2, чем достигается плавность изменения уровня сигнала в верхней части телеграфных посылок. Второй каскад усиления выполнен на транзисторах VT3 и VT4, которые работают в режиме А при токе 100–120 мА. Линейность амплитудной и частотной характеристик каскада, а также его термостабильность повышены введением отрицательной обратной связи по току с помощью резисторов R11, R12 [3, С. 200–205].

Оконечный каскад выполнен на транзисторах VT6 и VT7. Он также охвачен отрицательной обратной связью по току путем включения резисторов R24, R25. Выход каскада подключен к нагрузке через симметрирующий трансформатор Т5. Ток через окончательный каскад ограничен на уровне около 1А устройством на транзисторах VT8, VT9.

Большинство узлов аппарата выполнено на двусторонних печатных платах из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Внешний вид коротковолнового всдиапазонного спортивного трансивера представлен на рис. 7.



**Рис. 7.** Коротковолновый вседиапазонный трансивер. Внешний вид аппарата

### Заключение

В спроектированном и изготовленном коротковолновом вседиапазонном трансивере, в отличие от типовых подходов, в схеме активного смесителя широко применены логические элементы эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ) серии К1500 с фронтами импульсов до 0,5 нс, что позволило существенно улучшить характеристики приёмного тракта. Кроме этого, генератор плавного диапазона (ГПД) выполнен с использованием отрезка жесткой коаксиальной линии и бесконтактного конденсатора переменной емкости (КПЕ). Такое техническое решение привело к повышению стабильности частоты и уменьшению уровня шумов, возникающих при изменении величины емкости КПЕ при настройке на волну радиостанции.

Реализация трансивера «в металле» позволила автору (UA1WFB) проводить радиосвязи с редкими радиостанциями, расположенными на всех континентах, включая Антарктиду, участвовать во Всесоюзных и Международных соревнованиях, показывая при этом хорошие результаты по количеству радиосвязей и дальности расстояний до корреспондента. Преимущества трансивера позволили автору завоевать Диплом первой степени за проведение радиосвязей в диапазоне 1,8 МГц в Международных соревнованиях «USSR DX Contest».

Дальнейшее усовершенствование приёмо-передающего аппарата связано с уменьшением шумов приёмного тракта и заменой аналогового генератора плавного диапазона (ГПД) на высокостабильный цифровой синтезатор частот.

Реализация такого технического решения позволит существенно улучшить технические характеристики трансивера, уменьшить количество «поражённых» точек и сделать эфир более прозрачным и объёмным.

**Литература**

1. ГОСТ 14663–83. Устройства приёмные магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн.
2. Дроздов В. В. Любительские КВ трансиверы. М.: Радио и связь, 1998. 176 с.
3. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. Киев: Техніка, 1984. 264 с.

*Об авторе(ах)*

**Марков Александр Михайлович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и систем автоматизации, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: markov-am@mail.ru

*A. M. Markov*

**DESIGNING AND FABRICATION SHORT-WAVE HF TRANSCEIVER**

*They are considered questions of the designing and fabrications short-wave HF transceiver, intended for undertaking the radio communications on all amateur range worker frequencies. Happens to the description and technical parameters main component transceiver, run for modern element base.*

**Key words:** *range worker frequencies, input resistance receiver, factor of the noise, range of the automatic regulation of the reinforcement (ALC) and selectivity.*

*About the author(s)*

**Markov Alexander Mikhailovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric drive and Systems of automations, Faculty of Electromechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

E-mail: markov-am@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКТИВНОГО МОМЕНТА ДЛЯ РАСЧЕТА ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ВАЛОПРОВОДЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

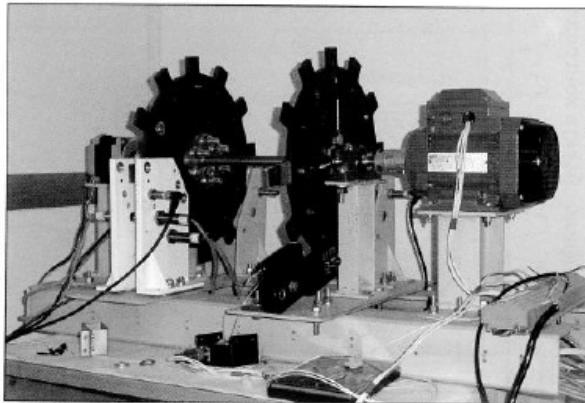
*Статья является продолжением статьи «о регистрации крутильных колебаний». Представлены результаты численных исследований крутильных колебаний валопровода при нештатных режимах работы турбогенератора. Рассмотрены принципы построения моделирования и выполнен сравнительный анализ реакции системы на всплески реактивного момента.*

**Ключевые слова:** крутильные колебания, валопровод, матрица переноса, многоцикловая усталость, напряжение цикла.

Первоочередными задачами, которые решались при проектировании измерительной системы крутильных колебаний был анализ источников возбуждения колебаний и диапазона частот этих возбуждений.

Основным источником крутильных колебаний обычно рассматривается генератор, а причины колебаний условно можно разделить на несколько групп:

- возмущения, связанные с возникновением нештатных режимов работы генератора.
- небалансной режимом работы энергосистемы, как установившимися так и неустойчивыми.



**Рис. 1.** Экспериментальный стенд

При изучении данной проблемы создавались экспериментальные стенды с целью моделирования и воспроизведения данного явления, были неоднократно задействованы системы измерения, встраиваемые в корпус турбины, которые позволили определить и зарегистрировать наличие этих возбуждений, но они не позволяют оценить параметры реактивного момента, действующего на валопровод.

Для расчета вынужденных колебаний вала при динамических всплесках реактивного момента возникающего при нештатных режимах работы и исследования напряженно-деформированного состояния вала от крутильных колебаний при различных режимах работы ТЭС использовался аналог паровой турбины К-200-130. Задачей моделирования является анализ свободных механических колебаний (модальный анализ — «Modal analysis», подсистема для расчета переходных процессов — «Transient Analysis») проводится с целью определения собственных частот и форм колебаний конструкции [1].

Несомненно, корректный расчет намного усложняет присутствие переменных, например собственные частоты могут изменяться в постоянной скоростью вращения из-за измененной нагрузки, дисбаланса, температуры или несоосность ротора. Для определения реакции системы на динамические всплески реактивного момента, применяли упрощенную модель (УМ) валопровода турбины в виде колебательной системы с четырьмя степенями свободы [2].

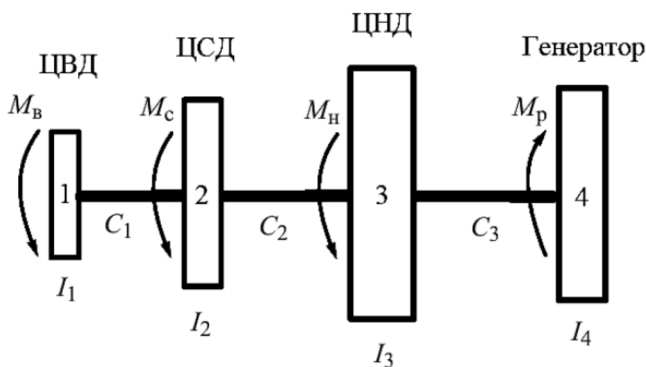
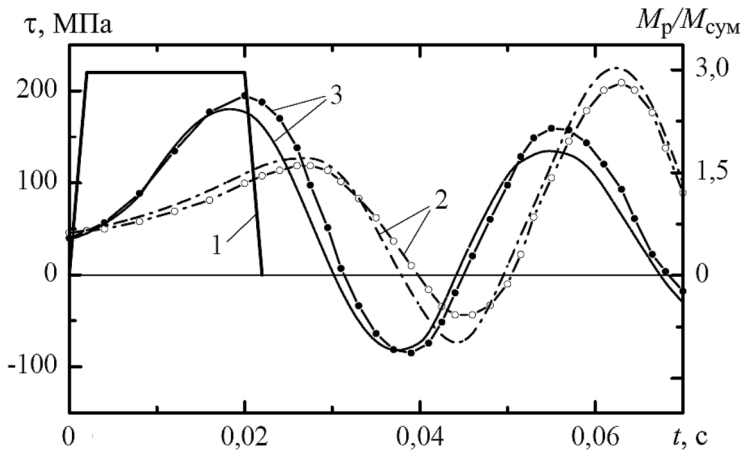


Рис. 2. Модель паротурбогенератора

Определение указанных свойств с возможно большей точностью валопровод достигалось через разделение на 117 участков, где диаметр вала или диска был постоянным. Момент инерции массы ротора определяли как сумму моментов инерции масс участков ротора с учетом дисков и лопаток от его начала до муфты, соединяющей ЦНД и генератор.

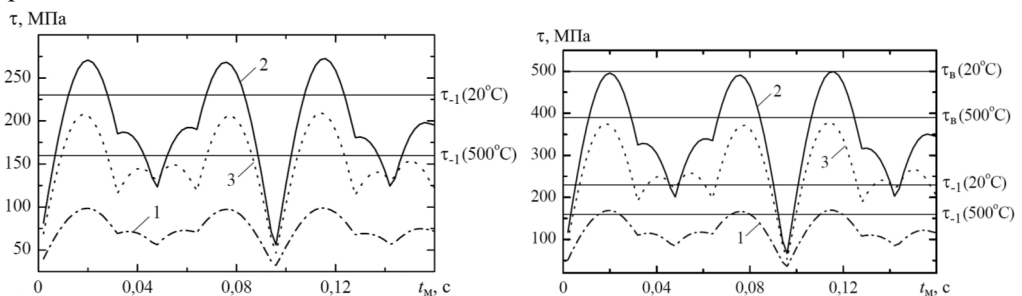
Достоверность результатов расчетов, определенных с помощью системы с четырьмя степенями свободы по УМ, оценивали при сопоставлении с данными, полученными при использовании конечно-элементной модели валопровода (КЭМ), состоящей из 50 тыс. элементов, и модели валопровода (МВ) с большим числом сосредоточенных масс и безынерционных жесткостей.

С помощью УМ можно удовлетворительно предсказать как абсолютные значения собственных частот валопровода турбины (различие между результатами расчетов по УМ и КЭМ не превышает 22 %), так и соотношение между ними.



**Рис. 3.** Расчет с помощью КЭМ (кривые с точками) и УМ (кривые без точек) касательных напряжений в сечениях 2 и 3 (кривые 2 и 3) валопровода турбины при крутильных колебаниях в результате прямоугольного всплеска реактивного крутящего момента (кривая 1)

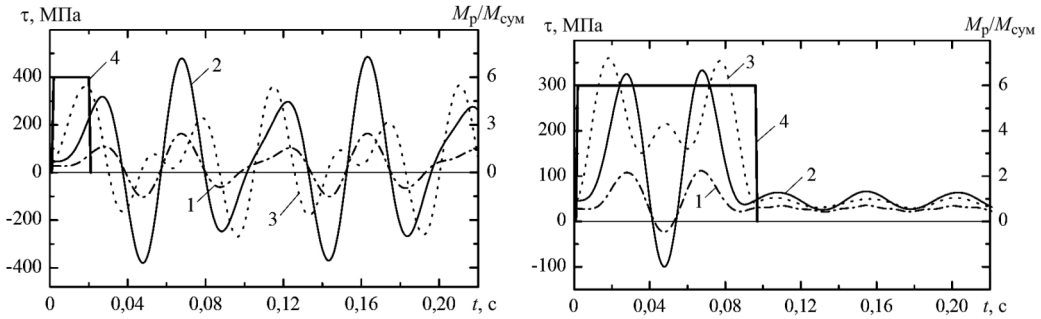
Практически при любой продолжительности всплеска крутящего момента сечение 2 (рис. 4а) является наиболее напряженным. При определенных длительностях всплеска момента с относительно большой величиной  $M_p = 3M_{сум}$  в сечениях 2 и 3 (рис.) напряжения превышают предел выносливости роторной стали при температуре 500 °С, что неизбежно должно приводить к циклическому повреждению материала ротора. При величине всплеска момента  $M_p = 6M_{сум}$  касательные напряжения в сечении 2.



**Рис. 4.** Зависимость динамических касательных напряжений в сечениях валопровода турбины от длительности прямоугольного всплеска реактивного крутящего момента  $M_p = 3M_{сум}$  (а) и  $M_p = 6M_{сум}$  (б)

Развитие колебательных процессов в трех сечениях валопровода при двух длительностях прямоугольного всплеска реактивного крутящего момента  $t_M = 0,02$  и  $t_M = 0,096$  с. (при этих длительностях возникают соответственно наибольшие и наименьшие колебания валопровода — рис. 5). Принципиальное расхождение меж-

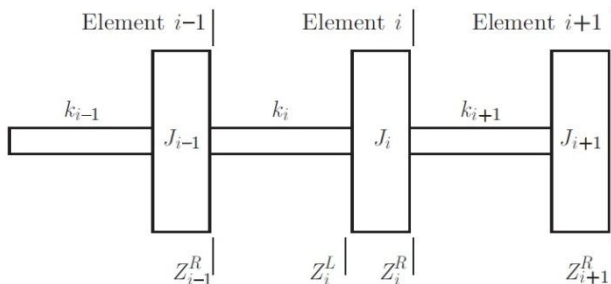
ду этими двумя колебательными процессами заключается в том, что при  $t_m = 0,02$  с во время действия крутящего момента напряжения относительно невысокие, однако они существенно возрастают после прекращения его действия, при  $t_m = 0,096$  с – значительные напряжения возникают именно во время действия момента и практически исчезают после прекращения силового воздействия на систему.



**Рис. 5.** Изменение касательных напряжений в сечениях валопровода турбины при прямоугольном всплеске реактивного крутящего момента, длительностью  $t_m = 0,02$  с. (а) и  $t_m = 0,096$  с. (б)

Оригинальный метод расчета крутильных колебаний был представлен в работе [3] китайского ученого Кинга Хе (Qing He), как новый метод математического расчета напряжений в валу турбогенератора, включающий метод возрастающей матрицы перехода (ITM) сочетающую в себе метод переноса Риккати («increment transfer matrix method») с пошаговым интегральным методом Ньюмарк –β.

По этому способу возможен расчет переходных характеристик крутильных колебаний турбогенератора, особенно в опасных сечениях и оценки крутильных колебаний, используя систему моделирования «EMTDC». Система рассчитывает реакцию системы на крутильные колебания.



**Рис. 6.** Оптимизация модели валопровода для расчета методом Ньюмарк –β

Многомассовая сосредоточенная модель (MLM) делится на некоторое количество элементов, каждый элемент включает себя невесомый эластичный вал, диск, имеющий крутильную жесткость  $K$  и эквивалентный момент инерции  $J$ .



Рекурсивное уравнение Риккати представляет собой систему состоящую из уравнений переноса (Момент, векторов состояния ) [3]

$$s_{i+1} = [u_{11}s + u_{22}]_i [u_{21}s + u_{22}]_i^{-1}$$

Ньюмарк-β позволяет рассчитывать известное смещение(  $q$  ), скорость(  $\dot{q}$  ), ускорение(  $\ddot{q}$  ) в момент времени  $t + \Delta t$  , при условии что все эти значения уже известны в момент времени  $t$ :

$$\begin{cases} \Delta \ddot{q}_t = \ddot{q}_t(t + \Delta t) - \ddot{q}(t) = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta q(t) - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{q}(t) - \frac{1}{2\beta} \ddot{q}(t) \\ \Delta \dot{q}_t = \dot{q}(t + \Delta t) - \dot{q}(t) = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta q(t) - \frac{\gamma}{\beta} \dot{q}(t) - (\frac{\gamma}{2\beta} - 1) \ddot{q}(t) \Delta t \end{cases}$$

На основе уже имеющихся уравнений для расчета отклика крутильных колебаний моделируется вал турбогенератора, который делится на 208 элементов, количество элементов на каждый ротор приведены в табл. 1

Первые пять собственных частот, вычисленных с помощью системы приведены в табл. 2. Несмотря на то, что данные не являются уникальным или авторитетным стандартом об оценке собственных частот крутильных колебаний валов турбогенераторов, считается, что собственная частота должна быть в диапазоне скоростей 47–53 Гц и в диапазоне скоростей 97–104 Гц [1].

Таблица 1

Количество элементов для каждой части валопровода

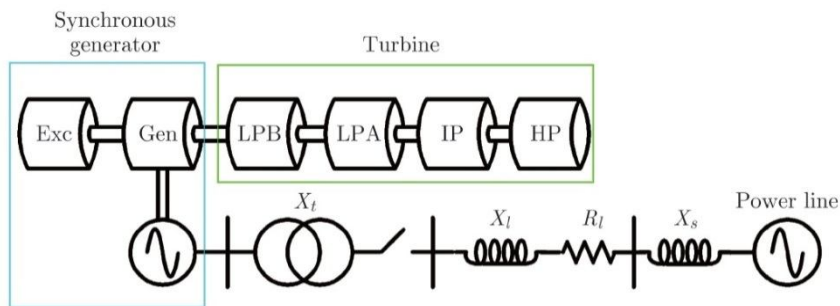
Часть валопровода	Количество частей
ЦВД	69
ЦСД	35
ЦНД	30
Генератор	43
Возбудитель	31

Таблица 2

Значения собственной частоты для каждой части

Номер части	Частота, Гц
1	23.34
2	30.66
3	45.62
4	75.54
5	126.16

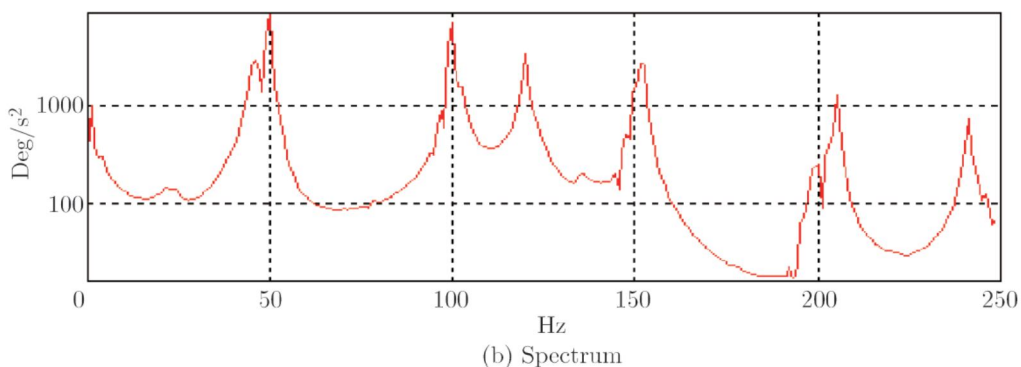
Для расчета переходных процессов создается электромеханическая модель, имеющая шесть частей: ЦВД, ЦСД, ЦНД, генератор и ротор возбудителя.



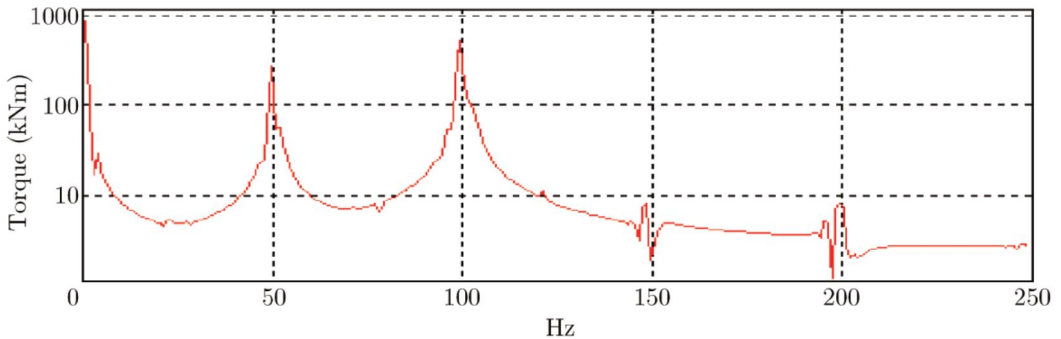
**Рис. 7.** Электромеханическая модель валопровода для моделирования в системе «EMTDC»

Спектры крутильных колебаний между первым и вторым диском ЦНД-ротора (IP и HP) показаны на рис. 8. Кроме 50 Гц и 100 Гц в, присутствуют частоты которых возникающие в следствии всплеска электромагнитного момента, являющиеся естественным для крутильных колебания вала. В рис. 8 основные пики приходятся на 23 Гц, 45,7 Гц, 50 Гц, 100 Гц, 120 Гц, 150 Гц и т. д. Частоты 50 Гц и 100 Гц, соответствуют частотам возбуждения. Частоты 23 Гц, 45,7 Гц и 120 Гц являются естественными.

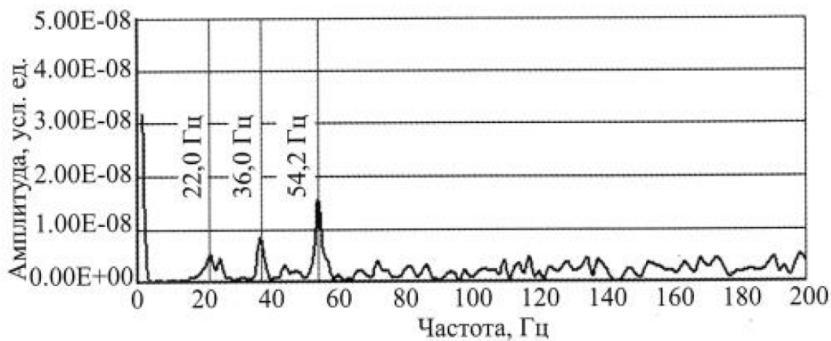
При трехфазном коротком замыкании, происходит кратковременный всплеск электромагнитного момента со стороны генератора, который может быть причиной появления естественный крутильных колебаний на валу. Электромагнитный момент также включает гармонические составляющие 50 Гц и 100 Гц. Таким образом, собственные колебания, что частоты близки к 50 Гц и 100 Гц. Пики в пределах 45,7 Гц и 120 Гц указывает, что эти собственные частоты чувствительны к несимметричной работе генератора.



**Рис. 8.** Спектры крутильных колебаний между дисками ЦНД

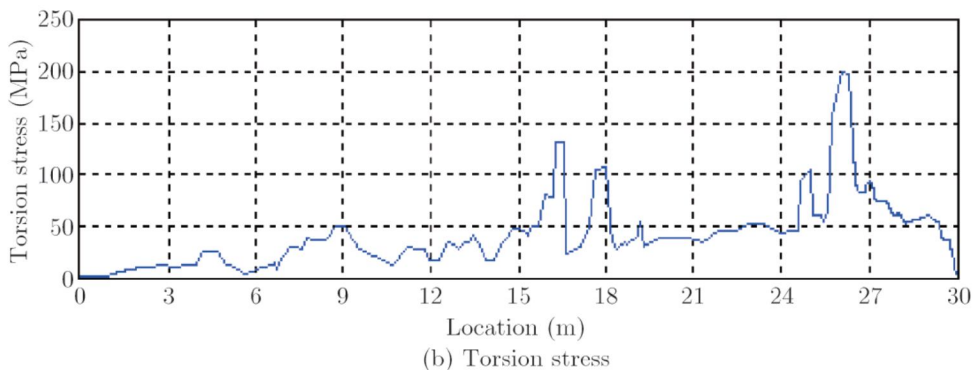


**Рис. 9.** Спектры крутильных колебаний валопровода в целом

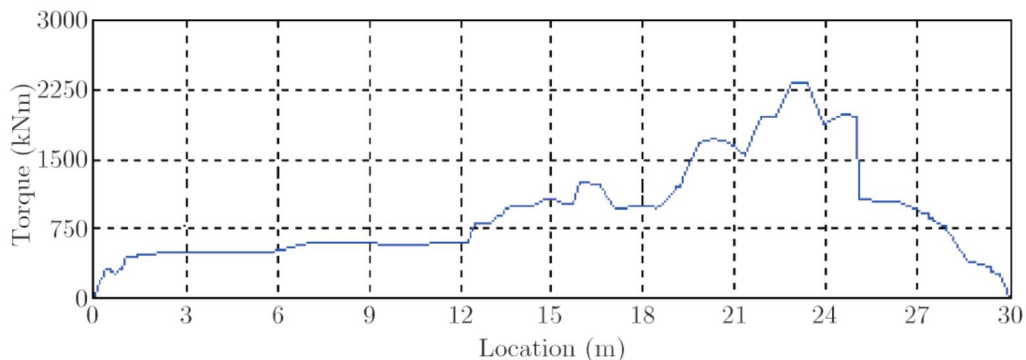


**Рис. 10.** Спектры некрatных крутильных колебаний, полученный при исследовании на испытательном стенде

Распределение осевого крутящего момента и крутильного напряжения поперечного сечения вала под воздействием разницы моментов показано на рис. 11, чьи максимумы 2300 кНм и 200 МПа, в месте соединения ЦНД и ротора генератора, что подтверждается в ранее рассмотренных трудах [5–8].



**Рис. 11.** Распределение крутильного напряжения по валопроводу



**Рис. 12.** Распределение крутильного момента по валопроводу

### Вывод

Согласно результатам моделирования, доказано, что кратковременное динамическое воздействие со стороны генератора на валопровод паровой турбины приводит к крутильным колебаниям. Динамические напряжения при этом зависят от величины и длительности всплеска реактивного крутящего момента, его формы, а также уровня демпфирования колебаний в механической системе.

1. Прямоугольная форма всплеска реактивного крутящего момента является наиболее опасной из исследованных, поскольку при прочих равных условиях она обуславливает возникновение колебаний, амплитуда которых в 1,3 и 2,1 раза больше, чем при треугольном и бигармоническом всплесках соответственно.
2. Наиболее высокие уровни касательных напряжений возникают на валопровode турбины в местах между ЦСД и СНД а также между СНД и генератором. Причем уровень этих напряжений при исследовании может превышать предел выносливости роторной стали а при случае прямоугольного всплеска — предел выносливости при кручении.

### Литература

1. Dorfman L. S. and Trubelja M. Torsional monitoring of turbine-generators for incipient failure detection // Proc. of the Sixth EPRI Steam Turbine/Generator Workshop (St. Louis, Missouri; Aug. 17–20). 1999. P. 1–6.
2. Stein J. and Fick H. The torsional stress analyzer for continuously monitoring turbine generators // IEEE Trans. 1980. PAS-99, Issue 2. P. 703–710.
3. Q. He, G. J. Tang, Y. Z. Du, et al, Experimental research on torsional vibration of 300MW simulated turbine-generator, Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 8, 4 (1998) 241–245, 257.
4. A. Carlos, D. Francisco, Shaft torsional vibration due to non-linear loads in low capacity turbine units, Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference, 3, Summer (2001) 1403–1408
5. Боришанский К. Н. Особенности регистрации с помощью дискретно-фазового метода колебаний лопаток и валопровода при переходных режимах работы турбоагрегата / К. Н. Боришанский //Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 10 (57). С. 169–173.
6. Вибрационное состояние лопаток и валопровода мощной паровой турбины при сбросе нагрузки / К. Н. Боришанский, Б. Е. Григорьев, С. Ю. Григорьев, А. В. Груздев, М. М. Ивахов, А. В. Наумов // Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 9 (56). С. 76–80.

7. Witos, M. Turbine engine health/Maintenance status monitoring with use of phase-discrete method of blade vibration monitoring / M. Witos, R. Szczepanik // Solid state phenomena. 2009. Vols. 147, Transtech publications, Switzerland. P. 530–541.
8. Киселев М. И., Пронякин В. И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. № 9. С. 15–18.

*Об авторе*

**Кодолич Денис Алексеевич** — аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: razelim@list.ru

*D. A. Kodolich*

## **MODELING REACTIVE MOMENT TO CALCULATE THE FORCED OSCILLATIONS IN THE TURBINE GENERATOR SHAFT LINES**

*This article is a continuation of registration of torsional vibrations. The results of numerical studies of shafting torsional vibration during abnormal operating conditions of turbine generator. Briefly discussed principles of modeling and comparative analysis of the system response to bursts of reactive torque.*

**Key words:** *torsional Vibration, transfer matrix method, turbine generator shafts, cycle fatigue, torsion stress.*

*About the author*

**Kodolich Denis Alexeevich**, Postgraduate student of the Department of the electric drive and automation of plants, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: razelim@list.ru

**ИНЖЕНЕРНАЯ ПОДГОТОВКА ПО ПРОФИЛЮ  
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА»  
НАПРАВЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»  
В ПСКОВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

*Представлен анализ компетенций двух федеральных государственных образовательных стандартов третьего поколения подготовки бакалавров и магистров. Рассматриваются задачи повышения качества подготовки выпускников.*

**Ключевые слова:** федеральный государственный образовательный стандарт, высшее профессиональное образование, высшее образование, бакалавр, магистр, компетенции

**Введение**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования (ВО) «Псковский государственный университет» (далее — ПсковГУ) образовано распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2440-р путем реорганизации государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования (ВПО) «Псковский государственный педагогический университет имени СМ. Кирова», Государственного образовательного учреждения ВПО «Псковский государственный политехнический институт (ППИ)», и трёх образовательных учреждений среднего профессионального образования (СПО) Псковского индустриального техникума, Псковского колледжа строительства и Великолукского строительного колледжа и имеет статус классического университета.

Подготовка инженеров по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» (шифры специальности 0628, 180400, 140604) осуществлялась в ППИ (ранее филиале Санкт-Петербургского Политехнического университета), начиная с 1972 года, и завершается в 2016 году.

Выпускающая кафедра электропривода и систем автоматизации (ЭСА) ППИ готовит специалистов «человек-техника» по специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» с 1977 года [1, С. 159–165]. В сентябре 2012 г. ПсковГУ прошел первую государственную аккредитацию (на срок 6 лет), включая укрупненную группу направления подготовки и специальностей (УГСН) 140000 «Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника» (специальности 140211.65; 140604.65; магистратура — 140600.68 — Приказ Рособрнадзора № 1286 от 04.10.2012., аспирантура 05.09.01 «Электромеханика и электрические аппараты»).

Включение ВО России в Болонский процесс (с 1993 года) определило отказ от действовавшей в стране в течение многих десятилетий системы подготовки инженеров, считавшейся одной из лучших в мире [2, С. 2–11]. В результате основой ВПО становится четырёхлетняя бакалаврская подготовка с доучиванием 20 % выпуска бакалавров в течение двух лет до магистра.

Двухуровневая система ВПО объединила ранее разнородные направления «Электроэнергетика» и «Электротехника» в одно и с 9 декабря 2009 г. был утвержден федеральный государственный стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» с 19 профилями подготовки. Заявленный в ФГОС ВПО уровень подготовки бакалавра с точки зрения компетенций соответствует знаниям специалиста с многолетним практическим опытом и более ориентирован на электроэнергетику, чем на электротехнику.

Областью профессиональной деятельности для бакалавров и магистров направления подготовки 140400 определена: «совокупность технических средств, способов и методов человеческой деятельности для производства, передачи, распределения, преобразования, применения электрической энергии, управления потоками энергии, разработка и изготовление элементов, устройств и систем, реализующих эти процессы».

На кафедре ЭСА с 2011 года начата подготовка бакалавров и магистров по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электропривод и автоматика») на основе ФГОС ВПО [3, С. 119–120].

Стандарт ФГОС ВПО и скорректированная версия ФГОС ВО (или ФГОС 3+) предназначены для обеспечения: единства образовательного пространства РФ; качества ВПО; основы для объективной оценки деятельности образовательных учреждений, реализующих образовательные программы ВПО; признания и установки эквивалентности документов иностранных государств о ВПО.

Проведём анализ компетенций стандартов ФГОС ВПО и ФГОС ВО. Такой анализ может быть полезен разработчикам базовых учебных планов (БУП), преподавателям, создающим или модернизирующим учебно-методические комплексы дисциплины (УМКД), разрабатывающим фонды оценочных средств (ФОС).

### **Часть 1. Анализ компетенций ФГОС ВПО и ФГОС ВО (уровень бакалавриата)**

В настоящее время по профилю «Электропривод и автоматика» на кафедре ЭСА обучается более 60 студентов. Контрольные цифры приёма (КЦП) 2015 года составляют 18 человек, т. е. в среднем ежегодно ведется подготовка одной группы численностью 15–20 человек по программе академического бакалавриата, а с 2015 года и одной группы по направлению прикладного бакалавриата по очной форме обучения. Реализуется программа академического и прикладного бакалавриата по заочной форме обучения, в том числе для абитуриентов, имеющих среднее профессиональное образование по родственной специальности с использованием индивидуального плана обучения.

БУП учитывают современные тенденции в развитии систем электропривода и автоматики и включают дисциплины: «Элементы систем автоматики», «Программируемые логические контроллеры», «Электрический привод», «Логические системы управления электроприводов», «Энергосбережение средств и электропривода» и др. В таблице 1 приведён численный состав компетенций ФГОС ВПО (67 компетенций) и ФГОС ВО (33 компетенции) по видам деятельности при подготовке бакалавров.

Таблица 1

Компетенции	Стандарт	
	ФГОС ВПО	ФГОС ВО
Общекультурные компетенции (ОК)	ОК-1 — ОК-16	ОК-1 — ОК-9 (уменьшено на 7)
Общепрофессиональные компетенции (ОПК)	ПК-1 — ПК-7	ОПК-1 — ОПК-3 (уменьшено на 4)
Профессиональные компетенции (ПК) — проектно-конструкторская деятельность (ПКД)	ПК-8 — ПК-17	ПК-3 — ПК-4 (уменьшено на 8)
Профессиональные компетенции (ПК) — производственно-технологическая деятельность (ПТД)	ПК-18 — ПК-27	ПК-5 — ПК-10 (уменьшено на 4)
Профессиональные компетенции (ПК) — организационно-управленческая деятельность (ОУД)	ПК-28 — ПК-37	ПК-18 — ПК-21 (уменьшено на 6)
Профессиональные компетенции (ПК) — научно-исследовательская деятельность (НИД)	ПК-38 — ПК-45	ПК-1 — ПК-2 (уменьшено на 6)
Профессиональные компетенции (ПК) — монтажно-наладочная деятельность (МНД)	ПК-46 — ПК-47	ПК-11 — ПК-13 (увеличено на 1)
Профессиональные компетенции (ПК) — сервисно-эксплуатационная деятельность (СЭД)	ПК-48 — ПК-50	ПК-14 — ПК-17 (увеличено на 1)
Профессиональные компетенции (ПК) — педагогическая деятельность (ПД)	ПК-51	компетенция отсутствует (уменьшено на 1)

В таблице 2 представлены общекультурные компетенции (ОК), количество которых сократилось с 16 до 9 и они стали практически универсальны для различных направлений подготовки, что является несомненным достоинством модернизированного стандарта. В таблице 2 указаны дисциплины, которые реализуются в ПсковГУ для формирования ОК, начиная с 2015/2016 учебного года.

Если во ФГОС ВПО восемь компетенций (ОК-1, ОК-3, ОК-4, ОК-6, ОК-7, ОК-11, ОК-12, ОК-15) имели достаточно широкий смысл и могли быть отнесены к дисциплинам общепрофессионального цикла и даже специальным дисциплинам, то в ФГОС ВО такая компетенция только одна — ОК-7 «способность к самоорганизации и самообразованию» (см. табл. 2).

Следует заметить, что присутствующее в стандарте ФГОС ВПО словосочетание в компетенциях выпускников бакалавриата «способность ... и готовность» в ФГОС ВО для общекультурных, общепрофессиональных и ряда профессиональных компетенций используется только как «способность».

В приведенных ниже таблицах 2–9 одинаковые или «похожие» компетенции располагаются в одной строке.

В таблице 3 представлен сравнительный анализ общепрофессиональных компетенций (ОПК). Заметим, что количество ОПК сократилось до трёх и все они носят универсальный характер для дисциплин естественнонаучного цикла и ряда дисциплин профессионального. При проектировании УМКД по конкретной дисциплине, входящей в состав базовой части, все ОПК рекомендуется включать в состав реализуемых дисциплиной компетенций.

Анализ ПК таблицы 4 позволяет сделать вывод, что для академического бакалавриата с научно-исследовательским видом деятельности реализация компетенций ПК-1 и ПК-2 обеспечивается комплексом лабораторных исследований и испы-



таний в процессе подготовки бакалавра в различных профессиональных дисциплинах как базовой, так и вариативной части программы подготовки.

Таблица 2

Общекультурные компетенции (ОК)	
ФГОС ВПО	ФГОС ВО
ОК-1-ОК-16	ОК-1 — ОК-9
	способность использовать основы философских знаний для формирования мировоззренческой позиции (ОК-1 — философия)
способность к письменной и устной коммуникации на государственном языке, умение логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; готовностью к использованию одного из иностранных языков (ОК-2)	способность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия (ОК-5 — русский язык и культура речи, иностранный язык)
готовность к кооперации с коллегами, работе в коллективе (ОК-3); способность и готовность понимать роль искусства, стремиться к эстетическому развитию и самосовершенствованию, уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантно воспринимать социальные и культурные различия, понимать многообразие культур и цивилизаций в их взаимодействии (ОК-13)	способность работать в коллективе, толерантно воспринимать социальные, этнические, конфессиональные и культурные отличия (ОК-6)- (Социальная психология, Культурология)
способность и готовность понимать движущие силы и закономерности исторического процесса, место человека в историческом процессе, политической организации общества, к анализу политических событий и тенденций, к ответственному участию в политической жизни (ОК-5)	способность анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции (ОК-2 — история, историко-культурное наследие Псковского края)
готовность к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7)	способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7)
способность и готовность осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм (ОК-8); способность и готовность к соблюдению прав и обязанностей гражданина; к свободному и ответственному поведению (ОК-9)	способность использовать основы правовых знаний в различных сферах деятельности (ОК-4 — правоведение)
способность и готовность понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности (ОК-14)	способность использовать основы экономических знаний в различных сферах деятельности (ОК-3 — экономика)
способность самостоятельно, методически правильно использовать методы физического воспитания и укрепления здоровья, готовностью к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-16)	способность использовать методы и инструменты физической культуры для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности (ОК-8 — физическая культура, прикладная физическая культура)
	способность использовать приёмы первой помощи и методы защиты в условиях чрезвычайной ситуации (ОК-9 — безопасность жизнедеятельности)

Таблица 3

Общепрофессиональные компетенции (ОПК)	
Стандарт ФГОС ВПО	Стандарт ФГОС ВО
ПК-1 — ПК-7	ОПК-1 — ОПК-3
способность и готовность использовать информационные технологии, в том числе современные средства компьютерной графики в своей предметной области (ПК-1)	способность осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять её в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий (ОПК-1)
способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования (ПК-2); готовность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и способностью привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ПК-3)	способность применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач (ОПК-2)
	способность использовать методы анализа и моделирования электрических цепей (ОПК-3)

Таблица 4

ПК по виду деятельности: научно-исследовательская деятельность (НИД) — (академический бакалавриат)	
ФГОС ВПО	ФГОС ВО
ПК-38 — ПК-45	ПК-1 — ПК-2
готовность планировать экспериментальные исследования (ПК-40); готовность участвовать в исследовании объектов и систем электроэнергетики и электротехники (ПК-38)	способность участвовать в планировании, подготовке и выполнении типовых экспериментальных исследований по заданной методике (ПК-1)
способность выполнять экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов (ПК-44)	способность обрабатывать результаты экспериментов (ПК-2)

В таблице 5 представлены ПК для ПКД академического бакалавриата.

Компетенцию ПК-3 рекомендуется включать во все дисциплины профессионального цикла базовой части, а ПК-4 во все дисциплины, по которым предусматривается выполнение курсовых работ и проектов.

В таблице 6 находятся 6 базовых ПК для ПТД прикладного бакалавриата. ПК стали более универсальными, как для направления «электротехника», так и для направления «электроэнергетика». Это может позволить обоснованно применять «поточные» лекционные и практические занятия по профессиональным дисциплинам различных профилей направления 13.03.02.

Для монтажно-наладочной деятельности (см. табл. 7) количество ПК увеличилось на одну при сохранении сущности — «способность и готовность» выпускника вуза работать на производстве «руками» с конкретными технологическими установками и системами.

Таблица 5

ПК по виду деятельности: проектно-конструкторская деятельность (ПКД) (академический бакалавриат)	
ФГОС ВПО ПК-8 — ПК-17	ФГОС ВО ПК-3 — ПК-4
готовность участвовать в работе над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов (ПК-8)	способность принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования (ПК-3)
способность разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов (ПК-9)	способность проводить обоснование проектных решений (ПК-4)

Таблица 6

ПК по виду деятельности: производственно-технологическая деятельность (ПТД) (прикладной бакалавриат)	
Стандарт ФГОС ВПО ПК-18 — ПК-27	Стандарт ФГОС ВО ПК-5 — ПК-10
способность использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических и электротехнических объектов и систем и происходящих в них процессов (ПК-18)	готовность определять параметры оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-5)
	способность рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности (ПК-6)
готовность определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса по заданной методике (ПК-23)	готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике (ПК-7)
способность контролировать режимы работы оборудования объектов электроэнергетики (ПК-24);	способность использовать технические средства для измерения и контроля основных параметров технологического процесса (ПК-8)
способность составлять и оформлять оперативную документацию, предусмотренную правилами эксплуатации оборудования и организации работы (ПК-26)	способность составлять и оформлять типовую техническую документацию (ПК-9)
способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда; измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, вибрации, освещенности рабочих мест (ПК-22)	способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда (ПК-10)

Реализация ПК МНД обеспечивается всеми видами практик БУП и дисциплинами по выбору. Для сервисно-эксплуатационного вида деятельности (см. табл. 8) количество ПК и их сущность практически осталось без изменений, а компетенция ПК-50 (ФГОС ВПО) и ПК-17 ФГОС ВО идентичны даже словесно.

ПК для ОУД (см. табл. 9) являются универсальными для прикладного и академического бакалавриата. В ФГОС ВО оставлены основные 4 компетенции, которые реализовывались и в стандарте ФГОС ВПО, при этом отметим совпадение компетенций ПК-34 и ПК-18, ПК-30 и ПК-20.

Таблица 7

ПК по виду деятельности: монтажно-наладочная деятельность (МНД) (прикладной бакалавриат)	
ФГОС ВПО	ФГОС ВО
ПК-46 — ПК-47	ПК-11 — ПК-13
способность к монтажу, регулировке, испытаниям и сдаче в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-46)	способность к участию в монтаже элементов оборудования объектов профессиональной деятельности (ПК-11)
готовность к наладке, и опытной проверке электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-47)	готовность к участию в испытаниях вводимого в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-12)
	способность участвовать в пуско-наладочных работах (ПК-13)

Таблица 8

ПК по виду деятельности: сервисно – эксплуатационная деятельность (СЭД) (прикладной бакалавриат)	
ФГОС ВПО	ФГОС ВО
ПК-48 — ПК-50	ПК-14 — ПК-17
готовность к проверке технического состояния и остаточного ресурса оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта (ПК-48)	способность применять методы и технические средства эксплуатационных испытаний и диагностики электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-14)
	способность оценивать техническое состояние и остаточный ресурс оборудования (ПК-15)
готовность к приемке и освоению вводимого оборудования (ПК-49)	готовность к участию в выполнении ремонтов оборудования по заданной методике (ПК-16)
готовность к составлению заявок на оборудование и запасные части и подготовке технической документации на ремонт (ПК-50)	готовность к составлению заявок на оборудование и запасные части и подготовке технической документации на ремонт (ПК-17)

Таблица 9

ПК по виду деятельности: организационно-управленческая деятельность (ОУД) (академический и прикладной бакалавриат)	
ФГОС ВПО	ФГОС ВО
ПК-28 — ПК-37	ПК-18 — ПК-21
способность определять стоимостную оценку основных производственных ресурсов (ПК-29)	готовность к оценке основных производственных фондов (ПК-21)
способность к решению конкретных задач в области организации и нормирования труда (ПК-30)	способность к решению задач в области организации и нормировании труда (ПК-20)
готовность к кооперации с коллегами и работе в коллективе и к организации работы малых коллективов исполнителей (ПК-32)	способность к организации работы малых коллективов исполнителей (ПК-19)
способностью координировать деятельность членов трудового коллектива (ПК-34)	способностью координировать деятельность членов трудового коллектива (ПК-18)

## Часть 2. Анализ компетенций ФГОС ВПО и ФГОС ВО (уровень магистратуры)

В настоящее время по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» (ФГОС ВО утвержден приказом №1500 Министерства образования и науки 21.11.2014 г.) профилю «Электропривод, энергосбережение, автономная энергетика» на кафедре ЭСА обучается 6 магистрантов очной (программа академической магистратуры) и 14 магистрантов заочной формы (прикладная магистратура). Контрольные цифры приёма (КЦП) в очную магистратуру в 2015 года на программу «Электроприводы и системы управления электроприводами» составляют 13 человек, продолжится приём и в заочную магистратуру, которая имеет свою специфику подготовки выпускников [4, С. 62–65] с обучением по программе «прикладной» магистратуры.

В [5, С. 22–25] рассмотрены проблемы модернизации инженерного образования в России и в частности указывается на то, что введение бакалавриата выгодно государству с экономической точки зрения, т.к. на рынок труда бакалавр-инженер выходит ранее на год и начинает платить налоги при трудоустройстве.

Магистратура позволяет доучиться до промежуточного уровня между бакалавром-инженером и кандидатом наук (третий уровень ВО — аспирантура). В магистратуру поступают лучшие из выпускников бакалавриата, а также те, кто имеет высшее образование, поработал на предприятиях и осознал необходимость для себя повышения уровня образования в определенном направлении, в том числе и для карьерного роста. Обучение может совмещаться с выполнением конкретной разработки для работодателя и в этом случае актуально использование заочной формы обучения в магистратуре.

БУП, разработанный на основе ФГОС ВО, учитывает современные тенденции в развитии систем электропривода и электротехнических систем различного назначения и включает дисциплины: «Системы управления электроприводами», «Синхронные машины с постоянными магнитами в электротехнике и электроэнер-

гетике», «Системный анализ и принятие решений», «Методы научно-технического творчества», «Имитационное моделирование технических систем» и др. В таблице 10 приведён сравнительный анализ компетенций для ФГОС ВПО (60 компетенций) и ФГОС ВО (37 компетенций) по видам деятельности, устанавливаемым стандартами.

В таблице 11 представлены ОК и ОПК ФГОС ВО. Следует заметить, что ОК-1 — ОК-3 носят универсальный характер и обеспечиваются всеми дисциплинами базовой и вариативной части БУП.

Универсальными можно считать и ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, а компетенция ОПК-3 реализуется в БУП дисциплиной «Технический иностранный язык».

В таблицах 12–14 представлены ПК различных видов деятельности для программ академической и прикладной магистратуры. В скобках указано не менее одной дисциплины или практики разработанного БУП, которые реализуют компетенцию.

В таблице 13 представлено сравнение компетенций стандарта ФГОС ВПО и ФГОС ВО для организационно-управленческого вида деятельности, который характерен как для программы академической, так и прикладной магистратуры.

Таблица 10

Компетенции	ФГОС ВПО	ФГОС ВО
Общекультурные (ОК)	ОК-1 — ОК-9	ОК-1 — ОК-3
Общепрофессиональные (ОПК)	ПК-1 — ПК-9	ОПК-1 — ОПК-4
Профессиональные (ПК) проектно-конструкторская деятельность (ПКД)	ПК-10 — ПК-16	ПК-6 — ПК-11
Профессиональные (ПК) производственно-технологическая деятельность (ПТД)	ПК-17 — ПК-25	ПК-22 — ПК-26
Профессиональные (ПК) организационно-управленческая деятельность (ОУД)	ПК-26 — ПК-35	ПК-12 — ПК-20
Профессиональные (ПК) научно-исследовательская деятельность (НИД)	ПК-36 — ПК-44	ПК-1 — ПК-5
Профессиональные (ПК) монтажно-наладочная деятельность (МНД)	ПК-45 — ПК-46	ПК-27
Профессиональные (ПК) сервисно-эксплуатационная деятельность (СЭД)	ПК-47 — ПК-50	ПК-28 — ПК-30
Профессиональные (ПК) педагогическая деятельность (ПД)	ПК-51 Способность к реализации различных форм учебной работы (реализуется научно-педагогической практикой в последнем семестре)	ПК-21

Таблица 11

Общекультурные (ОК) и общепрофессиональные (ОПК) компетенции	
ФГОС ВО	ФГОС ВО
ОПК-1 — ОПК-4	ОК-1 — ОК-3
способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1)	способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1)
способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2)	способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2)
способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере (ОПК-3)	способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3)
способность использовать углубленные теоретические и практические знания, которые находятся на передовом рубеже науки и техники в области профессиональной деятельности (ОПК-4)	

Таблица 12

ПК по виду деятельности стандарт ФГОС ВО (прикладная магистратура) производственно-технологическая деятельность (ПТД), сервисно-эксплуатационная (СЭД), монтажно-наладочная (МНД)	
ПК-27 (МНД), ПК-28 — ПК-30 (СЭД)	ПК-22 — ПК-26 (ПТД)
способность к монтажу, регулировке, испытаниям, наладке и сдаче в эксплуатацию электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-27) (монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов)	готовность эксплуатировать, проводить испытания и ремонт технологического оборудования электроэнергетической и электротехнической промышленности (ПК-22) (преддипломная практика)
способность к проверке технического состояния и остаточного ресурса оборудования и организации профилактических осмотров и текущего ремонта (ПК-28) (системы мониторинга и оценки остаточного ресурса электроприводов)	готовность применять методы и средства автоматизированных систем управления технологическими процессами электроэнергетической и электротехнической промышленности (ПК-23) (теория электропривода, числовое программное управление технологическими процессами)
способность подготовке технической документации на ремонт, к составлению заявок на оборудование и запасные части (ПК-29) (учебная практика)	способность принимать решения в области электроэнергетики и электротехники с учетом энерго- и ресурсосбережения (ПК-24) (энергосбережение средствами электропривода)
способность к составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний (ПК-30) (преддипломная практика, магистерская диссертация)	способность разработки планов, программ и методик проведения испытаний электротехнических и электроэнергетических устройств и систем (ПК-25) (научно-исследовательская практика)
	способность определять эффективные производственно-технологические режимы работы объектов электроэнергетики и электротехники (ПК-26) (системы управления электроприводов)

ПК по виду деятельности: организационно-управленческая деятельность (ОУД) (академическая и прикладная магистратура)	
Стандарт ФГОС ВПО	Стандарт ФГОС ВО
ПК-26 — ПК-35	ПК-12 — ПК-20
способность управлять действующими технологическими процессами при производстве электроэнергетических и электротехнических изделий, обеспечивающими выпуск продукции, отвечающей требованиям стандартов и рынка (ПК-26)	способность управлять действующими технологическими процессами, обеспечивающими выпуск продукции, отвечающей требованиям стандартов и рынка (ПК-12) (системы управления электроприводов, программируемые логические контроллеры для электроприводов)
готовность использовать элементы экономического анализа в организации и проведении практической деятельности на предприятии (ПК-27) (экономика и организация производства, преддипломная практика)	способность использовать элементы экономического анализа в организации и проведении практической деятельности на предприятии (ПК-13) (экономика и организация производства)
способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии (ПК-28); способность осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов и их управление (ПК-29)	способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии (ПК-14) (современные проблемы электротехники и электроэнергетики)
готовность управлять программами освоения новой продукции и технологии (ПК-30)	готовность управлять программами освоения новой продукции и технологии (ПК-15) (маркетинг и инжиниринг электроприводов)
способность разрабатывать эффективную стратегию и формировать активную политику управления с учетом рисков на предприятии (ПК-31)	способность разрабатывать эффективную стратегию и формировать активную политику управления с учетом рисков на предприятии (ПК-16) (экономика и организация производства)
способность владеть приемами и методами работы с персоналом, методами оценки качества и результативности труда персонала, обеспечения требований безопасности жизнедеятельности (ПК-32)	способность владеть приемами и методами работы с персоналом, методами оценки качества и результативности труда персонала, обеспечения требований безопасности жизнедеятельности (экономика и организация производства) (ПК-17)
способность к реализации мероприятий по экологической безопасности предприятий (ПК-33)	способность к реализации мероприятий по экологической безопасности предприятий (ПК-18) (безопасность жизнедеятельности и экологическая безопасность)
способность осуществлять маркетинг продукции в электроэнергетике и электротехнике (ПК-34)	способность осуществлять маркетинг объектов профессиональной деятельности (ПК-19) (маркетинг и инжиниринг электроприводов)
способность организовать работу по повышению профессионального уровня работников (ПК-35)	способность организовать работу по повышению профессионального уровня работников (ПК-20) (философия технических наук)



Таблица 14

ПК по виду деятельности: научно-исследовательская (НИД) и проектно-конструкторская (ПКД) (академическая магистратура)	
ФГОС ВО	ФГОС ВО
ПК-6 — ПК-11 (ПКД)	ПК-1 — ПК-5 (НИД)
способность формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства (ПК-6) (системы управления электроприводов, динамика роботов и сложных технических систем)	способность планировать и ставить задачи исследования, выбирать методы экспериментальной работы, интерпретировать и представлять результаты научных исследований (ПК-1)(научно-исследовательская работа, магистерская диссертация)
способность применять методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений (ПК-7) (системный анализ и принятие решений)	способность самостоятельно выполнять исследования (ПК-2) (учебная и научно-исследовательская практики)
способность применять методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов профессиональной деятельности (ПК-8)(имитационное моделирование технических систем)	способность оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемых новых технологий, объектов профессиональной деятельности (ПК-3) (монтаж, наладка и эксплуатация электроприводов, безопасность жизнедеятельности и экологическая безопасность)
способность выбирать серийные и проектировать новые объекты профессиональной деятельности (ПК-9) (современные микропроцессорные средства)	способность проводить поиск по источникам патентной информации, определять патентную чистоту разрабатываемых объектов техники, подготавливать первичные материалы к патентованию изобретений, регистрации программ для электронных вычислительных машин и баз данных (ПК-4) (методы научно-технического творчества)
способность управлять проектами разработки объектов профессиональной деятельности (ПК-10) (маркетинг и инжиниринг электроприводов) (современные проблемы электротехники и электроэнергетики)	готовность проводить экспертизы предлагаемых проектно-конструкторских решений и новых технологических решений (ПК-5) (современные и перспективные системы управления электроприводами)
способность осуществлять технико-экономическое обоснование проектов (ПК-11) (экономика и организация производства)	

### Часть 3. Концепция ФГОС 4 поколения. Средства реализации подготовки бакалавров и магистров на кафедре ЭСА ПсковГУ

ФГОС утверждаются не реже одного раза в 10 лет и являются основой объективной оценки уровня образования и квалификации выпускников независимо от форм получения образования. Исходя из того, что ФГОС ВПО был принят в 2009 году и полностью введен в действие с 1 сентября 2011 года, то в ближайшие 5 лет ожидается появление ФГОС 4 поколения. В настоящее время в формате ФГОС ВО разработан 691 стандарт по направлениям и специальностям бакалаври-

ата, магистратуры, специалитета и подготовки кадров высшей квалификации, которые разделены на 57 УГСН подготовки в 9 широких областях образования.

Так, профиль подготовки бакалавров «Электропривод и автоматика» входит в направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», которое входит в состав УГСН 13.00.00 «Электро- и теплотехника», которое находится в области образования «Инженерное дело, технологии и технические науки».

В проекте Концепции разработки ФГОС 4 поколения, размещенной на сайте Министерства образования и науки, указывается на то, новая редакция стандарта третьего поколения (ФГОС ВО) имеет ряд недостатков:

- сохранилась нечеткость формулировок компетенций, их число в разных стандартах изменяется от 26 до 76;

- связь заявленных результатов освоения программ с предполагаемыми областями, объектами и задачами профессиональной деятельности выпускников весьма условна.

Во ФГОС 4 предполагается:

- сохранить систему стандартизации ВО и компетентностный подход результатов освоения программ при расширении свободы действий образовательной организации;

- разрабатывать стандарты по УГСН сразу для всех уровней высшего образования с возможным включением в них стандартов среднего профессионального образования (СПО);

- создать 57 линеек стандартов ФГОС 4 с соблюдением принципа непрерывности образования;

- задать общие для каждого образовательного уровня универсальные компетенции и общие для данной УГСН общепрофессиональные и не перечислять виды и задачи профессиональной деятельности выпускников;

- формулировать сведения о видах и задачах профессиональной деятельности, опираясь на профессиональные стандарты и примерные образовательные программы;

- сохранить (по необходимости) разделение на прикладной и академический тип образовательной программы.

Таким образом, Концепция разработки ФГОС 4 подтверждает преемственность стандартов ФГОС ВПО и ФГОС ВО 3 поколения и стремление к улучшению качества образования в РФ.

Для повышения качества подготовки бакалавров и магистров по техническим направлениям вуз должен кроме разработанных БУП и УМКД дисциплин с комплексом оценочных средств (КОС) иметь современную лабораторную базу, научные разработки и публикации.

С БУП и ООП ВО при подготовке бакалавров-инженеров и магистров в области систем электропривода можно ознакомиться на сайте ПсковГУ и кафедры ЭСА — <http://ppi-esa.edu.ru>.

Лабораторные занятия с бакалаврами и магистрами проводятся на современных стендах, приобретенных ПсковГУ в рамках программы стратегического развития вуза в 2013 году (см. рис. 1–3). Часть лекционного материала реализуется с

применением мультимедийного оборудования и приобретенных в ЮУрГУ электронных конспектов лекций для направления «Электротехника и электроэнергетика», а также собственных презентаций лекций, выполненных сотрудниками кафедры ЭСА.

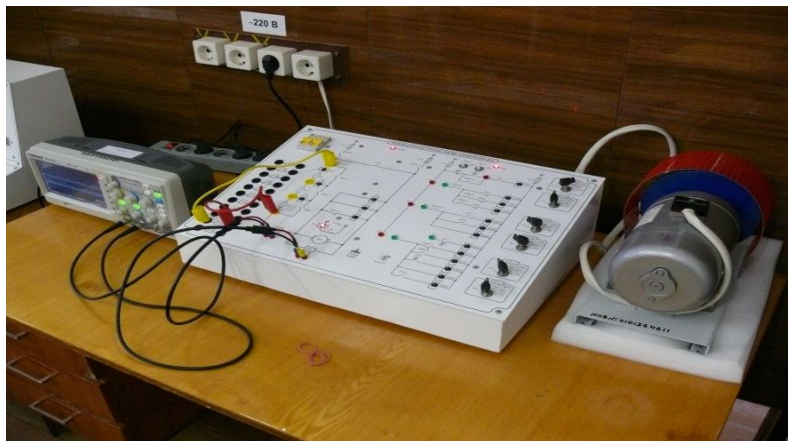
На лабораторных и экспериментальных стендах кафедры ЭСА ПсковГУ бакалавры в рамках преддипломной практики и подготовки выпускной квалификационной работы (8 недель) могут производить исследования заданных режимов эксплуатации некоторых типов электроприводов и производственных механизмов, для формирования целого ряда компетенций ФГОС ВО.



**Рис. 1.** Лаборатория синхронных машин с постоянными магнитами и сервоприводов



**Рис. 2.** Стенд для исследования систем управления электроприводов и логических устройств автоматики



**Рис. 3.** Стенд для исследования логических систем управления электроприводов

Для исследований современных частотно-регулируемых электроприводов переменного тока создан экспериментальный стенд, обладающий свойствами патентной новизны (см. рис. 4). Научные исследования магистрантов и аспирантов на универсальном стенде направлены на:

- изучение современных аппаратно-программных средств, включенных в состав преобразователей частоты и стратегий частотного управления в зависимости от свойств нагрузки;
- исследование генераторного и стартерного режимов работы электрической части когенерационной установки малой мощности на основе синхронной машины с постоянными магнитами (СМПМ);
- изучения режимов повышения напряжения на звене постоянного напряжения с использованием корректора коэффициента мощности;
- проведение испытаний, включая исследование режима пуска СМПМ с использованием активных выпрямителей (AFE).



**Рис. 4.** Стенд для исследования частотно регулируемых электроприводов переменного тока

## **Выводы**

1. Отличительная особенность ФГОС 3 поколения переход от набора обязательных учебных дисциплин и дидактических единиц в ГОС 2 поколения к компетенциям выпускников, которые в стандарте ФГОС ВО систематизированы, укрупнены и унифицированы.

2. Компетенции стандартов ФГОС ВО уровней бакалавров и магистров стали более универсальны и лаконичны как для направления «электроэнергетика», так и для направления «электротехника», сохранив преемственность.

3. Несмотря на уменьшение количества компетенций в стандарте ФГОС ВО (уровень магистратуры) девять компетенций для ОУД («технический менеджер») необоснованно велико для технического профиля «Электроприводы и системы управления электроприводами».

4. При модернизации УМКД рекомендуется составить «переходную карту компетенций», не изменяя реального содержания рабочих программ, которые формируют знания («способность»), умения и некоторые навыки («готовность») в процессе подготовки бакалавров-инженеров.

5. Преемственность стандартов ФГОС 3 поколения и Концепция создания ФГОС 4 поколения требует продолжения работы в целях совершенствования подготовки инженеров-электромехаников всех уровней ВО. На кафедре ЭСА ПсковГУ созданы организационно-методические, практико-ориентированные условия необходимой и качественной подготовки студентов, включая квалифицированный научно-педагогический состав.

6. Необходимым условием повышения качества подготовки инженеров-электромехаников является развитие сотрудничества с многолетними организациями-партнерами кафедры ЭСА ООО «Псковский кабельный завод», «Псковский электромашиностроительный завод», «АВАР», «Псковский завод АДС», ЗАО «Псковгеофизкабель» и др.

7. Важным является модернизация и ремонт учебно-лабораторной базы кафедры или строительство нового учебно-лабораторного комплекса.

## **Литература**

1. Хитров А. И. Проблемы качества технического образования в региональном высшем учебном заведении. Труды Псковского политехнического института. 2009. № 12.3. С. 259–274.
2. Дьяков А. Ф., Платонов В. В. О проблемах высшего электроэнергетического и электротехнического образования в России / Электричество. 2011. № 12. С. 2–11.
3. Хитров А. И., Веселков Е. Л., Тихонов В. И. Разработка, внедрение основных образовательных программ направления подготовки 140400 «Электроэнергетика и электротехника» в Псковском государственном университете и перспективы сотрудничества с Вузами стран Балтии и Евросоюза. Проблемы и перспективы европеизации образования в приграничных территориях: сборник материалов Международной конференции. Псков: Псковский государственный университет, 2013. С. 119–121.
4. Шумов Ю. Н. Особенности подготовки бакалавров по профилю «Электромеханика» направления «Электроэнергетика и электротехника» при очной и заочной формах обучения / Электричество. 2015. № 3. С. 62–65.
5. Анучин А. С. Проблемы модернизации инженерного образования России. Труды VII Международной (XVIII Всероссийской) научно-технической конференции по автоматизированному электроприводу: ФГБОУ ВПО «Ивановский энергетический университет им. В. И. Ленина». Иваново. 2012. С. 22–26.

*Об авторе*

**Хитров Александр Иванович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и систем автоматизации, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: khitrov-pscov@mail.ru

*A. I. Khitrov*

**LEARNING OF ENGINEERS OF PROFILE «ELECTRIC DRIVE AND AUTOMATION» OF DIRECTION «ELECTRIC POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING» AT PSKOV STATE UNIVERSITY**

*The analysis of competences of two Federal State Educational Standards of the third generation of bachelor's and master's degrees is given. The problems of improving the quality of graduate's education are considered.*

**Key words:** *Federal State Educational Standard, higher education, higher professional education, bachelor, master, competences.*

*About the author*

**Khitrov Alexander Ivanovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric drive and Automation Systems, Electromechanic Faculty, Pskov State University, Russia.

E-mail: khitrov-pscov@mail.ru

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОВОРОТНОЙ УЗКОНАПРАВЛЕННОЙ ПРИЁМО-ПЕРЕДАЮЩЕЙ АНТЕННЫ

*Рассматриваются вопросы проектирования и изготовления автоматизированного электропривода, предназначенного для поворотного устройства радиоантенны. Приводится описание принципа работы устройства.*

**Ключевые слова:** автоматизированный электропривод, электрический двигатель, сельсин, редуктор, блок управления, система управления, пульт управления.

Качество и дальность радиосвязи в значительной мере определяются условиями распространения радиоволн и эффективностью передающих и приемных антенн. Условия распространения радиоволн коротковолнового (КВ) диапазона имеют существенные отличия по сравнению с распространением радиоволн других диапазонов. Благодаря способности коротких радиоволн эффективно отражаться от ионосферы, возможна радиосвязь с любой точкой земного шара при небольшой мощности передатчика. В процессе распространения радиоволны искажаются и ослабляются. На приемную антенну, помимо принимаемого сигнала, действуют различные помехи естественного и искусственного происхождения. Радиосвязь возможна лишь в случаях, когда поле принимаемого сигнала не ниже некоторого уровня, зависящего от уровня помех в месте приёма [1, С. 211–212].

Радиоволнами называют электромагнитные волны, распространяющиеся в пространстве и имеющие частоту от  $10^4$  до  $10^{12}$  Гц. Волны КВ диапазона, имеющие частоты 1,5–30 МГц, соответствуют длинам волн 200–10 м.

На рис. 1 показана схема распространения коротких волн, посланных в ионосферу под различными углами.

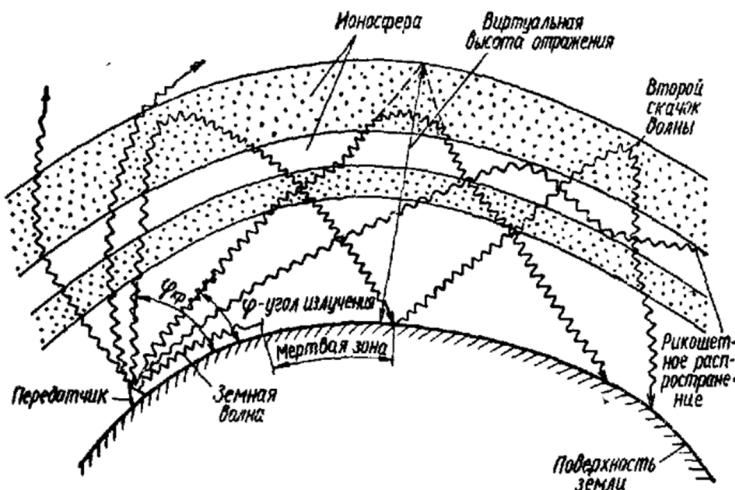


Рис. 1. Схема распространения коротких волн

Антенны направленного действия применяются достаточно широко, поскольку они позволяют сконцентрировать большую часть излучаемой энергии в определенном направлении, увеличивая тем самым напряженность поля в месте приема и уменьшая помехи в других направлениях, а также получать больший уровень сигнала при приеме с этого направления. Наиболее широко применяют два типа антенн направленного действия: типа «волновой канал» (Yagi) и с рамочными вибраторами, среди которых чаще всего — антенны с вибраторами в форме квадрата.

Один из вариантов блок-схемы поворотной антенны представлен на рис. 2.



В том случае, если фидер подключается к излучателю напрямую, без использования специального высокочастотного разъёма, для исключения его обрыва при-



меняется блок конечных выключателей БКВ. В крайних положениях поворотной платформы электрический сигнал с контактов БКВ поступает в блок управления БУ и двигатель Д обесточивается. При наличии высокочастотного разъёма для связи фидера с излучателем ограничения на угол поворота антенны снимаются, т. е. излучатель антенны может вращаться вкруговую в любом направлении.

Решение об изменении азимута антенны принимает оператор КВ радиостанции. Для реализации этого служит пульт управления ПУ, в состав которого входят контактные и бесконтактные электрические аппараты, цифровая индикаторная панель режимов работы, азимутальная шкала сельсина-приёмника СП.

Панель управления ПУ электрически связана с системой управления СУ, сигналы которой позволяют обмениваться информацией с блоком управления БУ, в том числе подавать питание на двигатель Д и отслеживать азимут направления.

Ввиду того, что конструкция антенны имеет значительные размеры и существенный момент инерции, для уменьшения динамических моментов и электрических перегрузок, используется плавный пуск двигателя. Стопорение поворотного механизма происходит автоматически из-за наличия червячного редуктора.

Внешний вид электропривода поворотного устройства приёмо-передающей коротковолновой антенны представлен на рис. 3.



**Рис. 3.** Электропривод поворотной узконаправленной антенны

### **Заключение**

Применение автоматизированного электропривода поворотной узконаправленной приёмо-передающей антенны позволило решить следующие задачи:

1. Оперативно изменять направление основного лепестка излучения антенны во время работы в радиоэфире.
2. Уменьшить сигналы радиопомех, как на приём, так и на излучение.

Эксплуатация устройства в течение длительного времени выявила некоторые недоработки, приведённые ниже и требующие модернизации конструкции:

1. Предусмотреть отключение сельсинов во время остановки механизма вращения и самостопорения системы.
2. Для подогрева поворотного устройства в зимнее время необходимо в блоке установить нагревательный элемент и термореле.
3. Доработать схему пульта управления ПУ, полностью исключив из неё контактные электрические аппараты.

#### Литература

1. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. Киев: Техніка, 1984. 264 с.
2. Москаленко В. В. Электрический привод. М.: Высшая школа, 2000. 368 с.

#### Об авторе

**Марков Александр Михайлович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и систем автоматизации, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: markov-am@mail.ru

*A. M. Markov*

### **AUTOMATED ELECTRIC DRIVE THUMB DIRECTED ACCEPTANCE-SENDING ANTENNA**

*They are considered questions of the designing and fabrications automated electric drive, intended for thumb device radio-antenna. Happens to the description of the principle of the work device.*

**Key words:** *automated electric drive, electric engine, selsyn, reductor, controller, managerial system, board of control.*

#### *About the author*

**Markov Alexander Mikhailovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric drive and Systems of automations, Faculty of Electromechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

E-mail: markov-am@mail.ru

## О РЕГИСТРАЦИИ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

*Представлен обзор методов регистрации крутильных колебаний валопровода турбогенератора. Рассмотрен принцип реализации данных методов, особенности работы и получения зависимости собственной частоты, формы и интенсивности крутильных колебаний. Показано, что крутильные колебания постоянно присутствуют в рабочем режиме турбогенератора.*

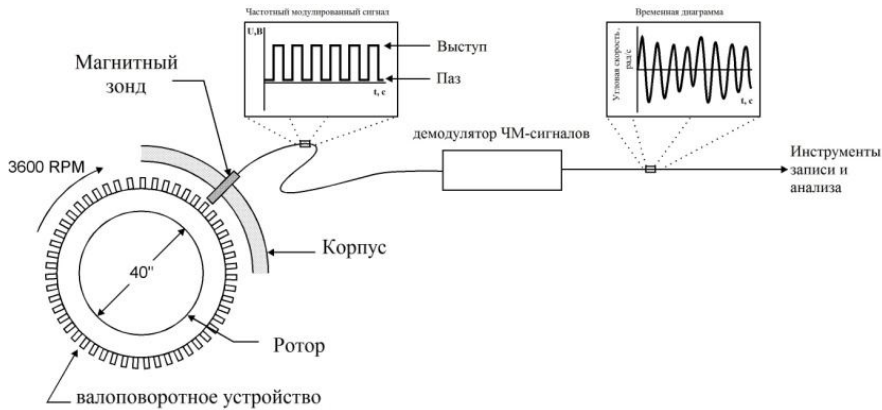
**Ключевые слова:** турбогенератор, крутильные колебания, дискретно-фазовый метод, фазохронометрический метод.

Теоретические исследования качаний — крутильных колебаний вращающегося ротора синхронной электрической машины были начаты работами А. А. Горева и И. Д. Урусова. Важность изучения этого явления в прошлые годы была обусловлена необходимостью обеспечения устойчивой работы синхронной электрической машины, применяемой в качестве привода механизма, ходовая часть которого совершает возвратно-поступательное движение (поршневой компрессор) [1], [2].

Практический интерес они представляют для синхронных генераторов большой мощности, функционирующих в составе турбоагрегатов. При их включении в единую энергетическую систему начальное, рассогласование фаз токов ротора и статора в момент включения, может привести к формированию рывка, соответствующего динамическому удару. Они приводят к накоплению усталостных повреждений в материале ротора генератора в области его соединения с секцией валопровода цилиндра низкого давления турбины и, в конечном счете, к снижению прочности.

Среди методов измерения, контроля и регистрации динамических деформационных параметров лопаток известны оптоэлектронные способы реализации дискретно-фазового метода (ДФМ), предназначенные для определения деформаций динамически нагруженных лопаток вращающихся колес турбоагрегатов посредством определения угловых положений торцов лопаток. Сущность метода заключается в том, что торец лопатки, деформированной при вращении лопаточного колеса, отклоняется от первоначального положения на некоторый ее угол [3–5].

К таким методам исследования также относят фазохронометрический метод измерения с использованием токовых и индуктивных датчиков (рис. 1). В качестве информационной поверхности используется чередование условной пары «выступ — паз», к примеру, шестерни валопроводного устройства, имеющиеся на всех турбоагрегатах и расположенных, как правило, на роторе низкого давления со стороны генератора.



**Рис. 1.** Измерение закручивания валопровода

В их основу положен физический принцип зависимости отражающих свойств поверхностей материалов от качества их обработки и частоты электромагнитного излучения. Сущность такого метода измерения базируется на преобразовании дискретных перемещений контролируемых элементов в пределах каждого оборота [6–7].

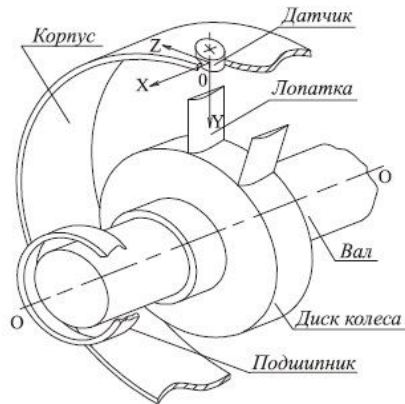
К процессам, которым уделяется внимание, относятся включение генератора во внешнюю сеть и его отключение от нее. До внедрения автоматических систем управления синхронизация взаимодействия (согласование фаз токов) ротора генератора и сети осуществлялась перед включением генератора в ручном режиме, а поэтому была не всегда удачной.

Измерения крутильных колебаний ротора проводятся, если возможно, в трех местах. Расположение «крутильных» датчиков основаны на сочетании таких параметров как доступность к валу, наличие уже существующих датчиков, которые могут дублировать необходимые типы датчиков (частота вращения вала) и участки валопровода, с которых можно получить результаты.

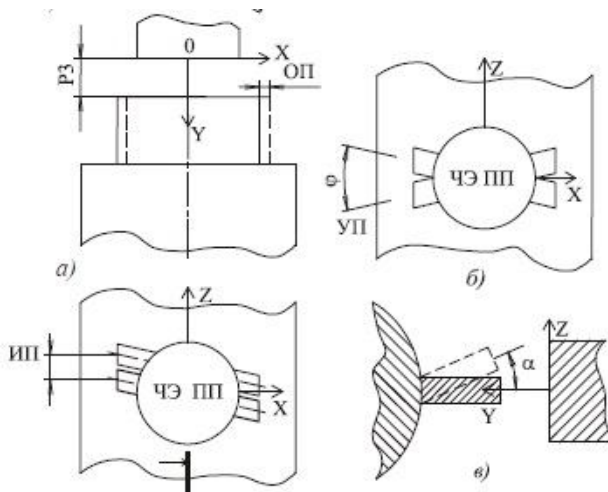
В качестве примера на рис. 2 схематически представлена ступень лопаточной ЭУ. Здесь элементы конструкции ротора (диск колеса и вал) при их вращении совершают угловые статические (в виде закрутки) и динамические (в виде колебаний) перемещения относительно оси вала ОО, а также линейные перемещения в направлении осей X и Y.

Под действием рабочего тела (газовоздушной смеси или жидкости) на лопатки ЭУ их торцы подвергаются осевым перемещениям (ОП) вдоль оси X и радиальным перемещениям (в пределах рабочего зазора — РЗ) вдоль оси Y (рис. 3). Торец лопатки в результате закрутки её пера может совершать статические и динамические угловые перемещения (УП) в пределах некоторого угла  $\varphi$  [3].

Расстояние между датчиками было выбрано таким образом, чтобы при возникновении срывных или дисковых колебаний показания были близкими к максимальным.



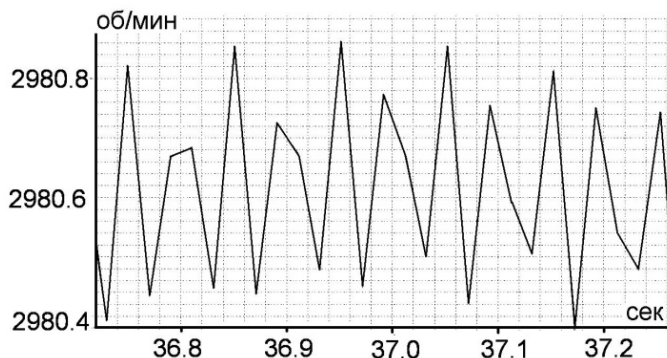
**Рис. 2.** Элементы ротора лопаточной энергетической установки



**Рис. 3.** Развёртка лопаточного венца с линейными (а) и угловыми (б, в) перемещениями лопаток

Программой обработки результатов измерений предусмотрена возможность определения оборотов ротора не только с помощью «обычного оборотного», но и «лопаточного» датчика ДФМ, для чего при измерениях учитывается сигнал, поступающий только от одной лопатки. С помощью этого способа была одновременно определена интенсивность крутильных колебаний в 4 сечениях по длине валопровода.

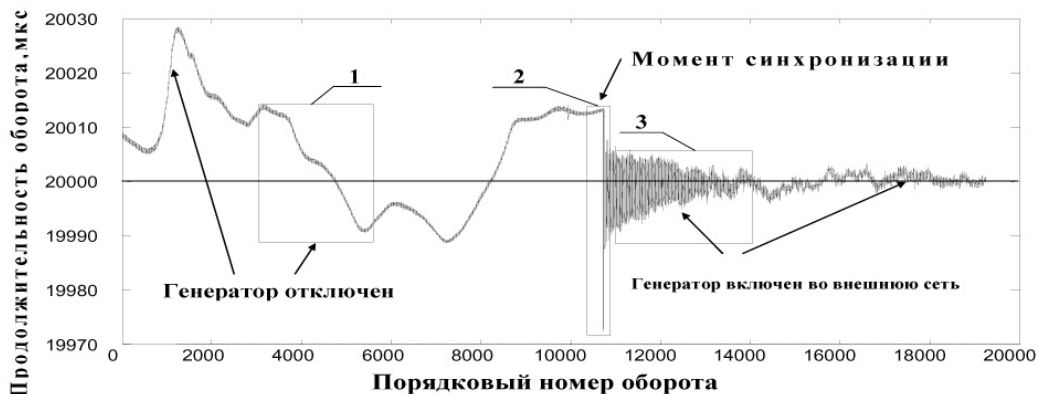
Непосредственным результатом измерений является время между заданными метками, определенное с очень высокой точностью, а при большом количестве меток за один оборот или некоторое конечное количество оборотов вала — «Перидиограмма». Перидиограмма характеризует не крутильные колебания, а переменную угловую скорость валопровода или ротора.



**Рис. 4.** Зависимость скорости от времени в процессе сброса нагрузки

Измерения проводились, как правило, в процессе сброса нагрузки. Также обнаружено влияние импульсов из внешней цепи на вращение валопровода в процессе функционирования, влияние которых адекватно учитывалось при оценке ресурса валопровода включениям и выключениям генератора из внешней сети.

Как показывают измерения, синхронизация ротора генератора с внешней сетью сопровождалась резким торможением валопровода ТА с последующими его затухающими крутильными колебаниями.



**Рис. 5.** Автоматическое включение генератора в сеть

При более подробном рассмотрении переходного процесса (рис. 5) на несущей частоте вращения наблюдаются крутильные колебания малой амплитуды, являющиеся суперпозицией двух частот, соответствующих крутильной жесткости ротора генератора и валопровода турбины.

Установлено, что данная особенность вращения валопровода ТА сохраняется на всех режимах его работы. После включения генератора в единую энергетическую систему регистрируется значительное уменьшение вариаций продолжительности оборотов валопровода [7].



Рис. 6. Включение генератора в сеть

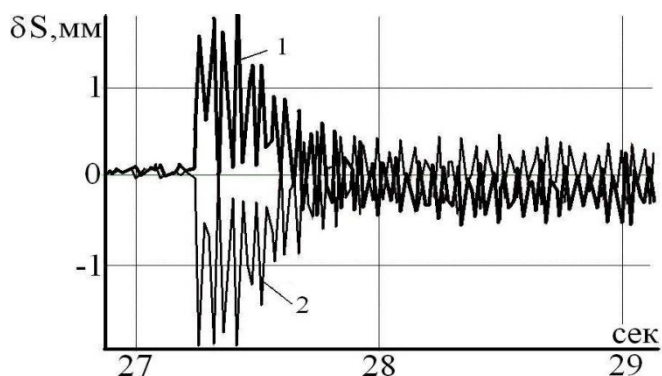


Рис. 7. Влияние неустойчивости угловой скорости ротора на показания датчиков в начальный момент сброса нагрузки: 1 и 2 — первая и последняя по счёту лопатки

На рис.7 приведены результаты взаимного смещения лопаток практически одновременно проходящих мимо двух датчиков измерительной пары, когда влияние неустойчивости угловой скорости на показания отсутствует.

Как видно, в начальный момент сброса нагрузки несинфазные колебания лопаток практически полностью отсутствовали. Естественно, что за этот промежуток времени влияние неустойчивости угловой скорости на показания датчиков должно проявиться.

При отключении генератора от сети (рис. 8) регистрируется резкое замедление вращения, вызванное увеличением момента сопротивления. Разброс значений продолжительности оборота валопровода до отключения генератора от сети не превышает 2–2,5 мкс, что соответствует штатному режиму функционирования ТА. Вариации интервалов времени отражают суперпозицию различных режимов крутильных колебаний валопровода. Амплитуда крутильных колебаний в данном режиме вращения составляет  $\sim 4$  угловых минуты.

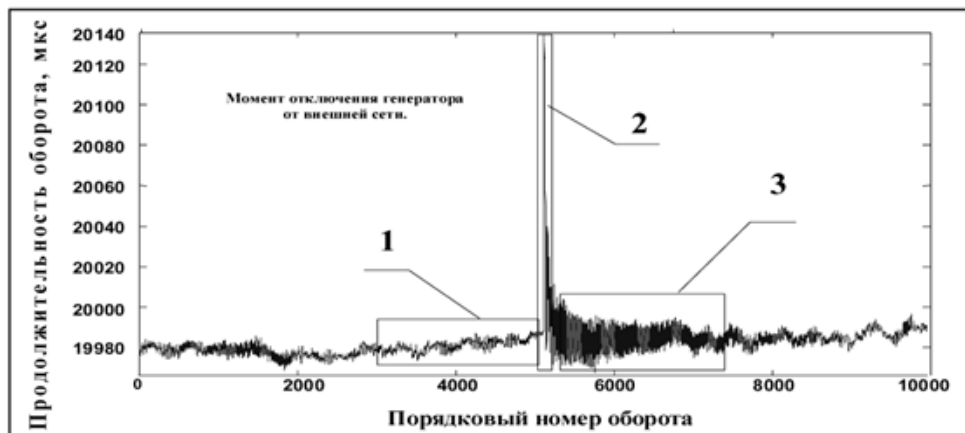


Рис. 8. Отключение генератора от внешней сети

После кратковременного возрастания момента сопротивления при отключении от сети генератора вариации продолжительности оборота валопровода в 3–4 раза больше, чем при штатном режиме, амплитуда крутильных колебаний возрастает до 17 угловых минут, а возврат в исходное состояние происходит в течение 25–30 оборотов валопровода.

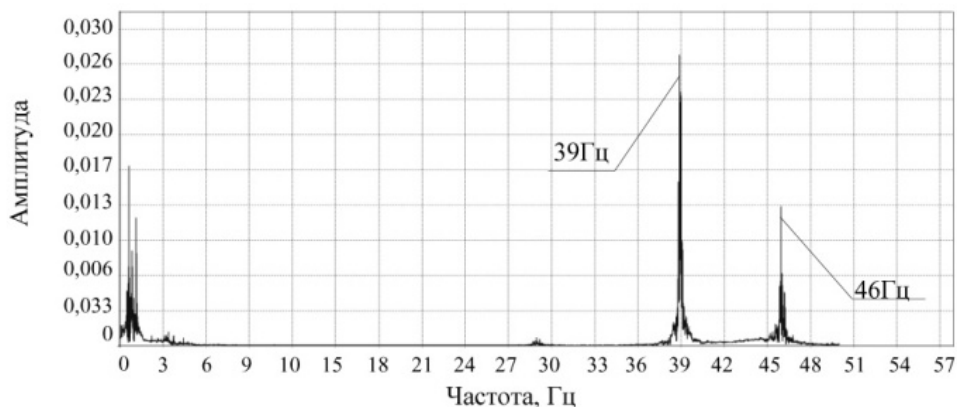


Рис. 9. Спектры крутильных колебаний

На рис. 9 изображены спектры зарегистрированных некротных крутильных колебаний в сечении валопровода (ЦСВ и ЦСД). Здесь наиболее явно выражена высокочастотная составляющая в диапазоне 38–47 Гц, причём уровень вибрации на частоте 39 и 46 Гц превосходит другие составляющие от 2 до 3 раз. Таким образом, можно оценивать наличие резонансных режимов работы колебательной системы валопровода. По уровню вибраций в высокочастотной области можно судить о наличии ударных процессов в подшипниках скольжения валопровода, вызываемых крутильными колебаниями.



## Выводы

1. Применение данных методов регистрации показывает, что крутильные колебания валопровода постоянно присутствуют в рабочем режиме и их амплитуда, как правило, увеличивается в переходных режимах (синхронизация, отключение генератора от сети, процессы во внешней сети), а также наличие собственных крутильных колебаний при разгоне турбогенератора. Однако воздействия со стороны сети на режим вращения валопровода штатной контрольно-измерительной аппаратурой не регистрируются и их влияние на остаточный ресурс валопровода в настоящее время не учитывается [4].

2. Главным достоинством Дискретно-фазового метода является то, что определение деформаций лопаток осуществляется при отсутствии корневых датчиков. Таким образом, они могут быть эффективно использованы для регистрации крутильных колебаний валопровода мощных паровых турбин, возникающих при переходных режимах работы турбоагрегата. Однако, поскольку с помощью датчиков ДФМ регистрируется не весь колебательный процесс, а только его дискретные значения один раз за оборот. Также не позволяет определить появление динамических напряжений в валопроводе в силу разницы собственных частот валопровода и лопаточного венца. Внедрение данных методов измерений ограничивается из-за необходимости глубокого препарирования турбоагрегата для внедрения датчиков в его внутреннем тракте. Также дополнительно требуется установка крепежных, токосъемных датчиков, что значительно усложняет их применение.

3. Фазохронометрические измерения также позволяют провести количественный анализ быстропотекающих переходных процессов, не регистрируемых штатным контрольно-диагностическим оборудованием, выполнить регистрацию крутильных колебаний и их количественный анализ и подтверждают, что турбоагрегаты, испытывая воздействие системы управления и внешней сети, постоянно работают в переходных режимах. С большей эффективностью дают определить динамическое напряжение в валопроводе в переходных режимах. Но поскольку датчики находятся в агрессивной среде, с большой вероятностью возможны погрешности в их показаниях.

## Литература

1. Горев А. А. Переходные процессы синхронной машины // М.: ГЭИ. 1950. 335 с.
2. Урусов И.Д. Линейная теория колебаний синхронной машины. Изд-во АН СССР, 1960.
3. Боришанский К.Н. Особенности регистрации с помощью дискретно-фазового метода колебаний лопаток и валопровода при переходных режимах работы турбоагрегата / К. Н. Боришанский //Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 10 (57). С. 169–173.
4. Вибрационное состояние лопаток и валопровода мощной паровой турбины при сбросе нагрузки / К. Н. Боришанский, Б. Е. Григорьев, С. Ю. Григорьев, А. В. Груздев, М. М. Ивахов, А. В. Наумов // Авиационно-космическая техника и технология. 2008. № 9 (56). С. 76–80.
5. Witos, M. Turbine engine health/Maintenance status monitoring with use of phase-discrete method of blade vibration monitoring / M. Witos, R. Szczepanik // Solid state phenomena. 2009. Vols. 147, Transtech publications, Switzerland. P. 530–541.
6. Киселёв М. И., Пронякин В. И. Фазовый метод исследования циклических машин и механизмов на основе хронометрического подхода // Измерительная техника. 2001. № 9. С. 15–18.
7. Киселёв М. И., Новик Н. В., Пронякин В. И. Регистрация параметров крутильных колебаний валопровода турбогенератора // Измерительная техника. 2000. № 12. С. 34–36.

*Об авторе*

**Кодолитч Денис Алексеевич** — аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: razelim@list.ru

*D. A. Kodolich*

## REGISTRATION METHODS OF TORSIONAL VIBRATIONS

*This article provides an overview of methods for detecting torsional vibrations of turbine generator shaft line. The principle of implementation given hmetodov, and features of the preparation according to the natural frequency, shape and intensity of the torsional oscillations. It is shown that torsional vibrations are constantly present during operation of the turbogenerator.*

**Key words:** turbo, torsional vibrations, discrete phase method, phase chronometric method.

*About the author*

**Kodolich Denis Alexeevich**, Postgraduate student of the Department of the electric drive and automation of plants, Faculty of Electromecanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: razelim@list.ru

УДК 51-74; 62-768.3

О. И. Козырева, Ю. Н. Журавлев, И. В. Плохов, А. В. Ильин

## ДИАГРАММЫ АЙНСА — СТРЕТТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОМАГИТНОГО КОНТУРА УЗЛА СКОЛЬЗЯЩЕГО ТОКОСЪЕМА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

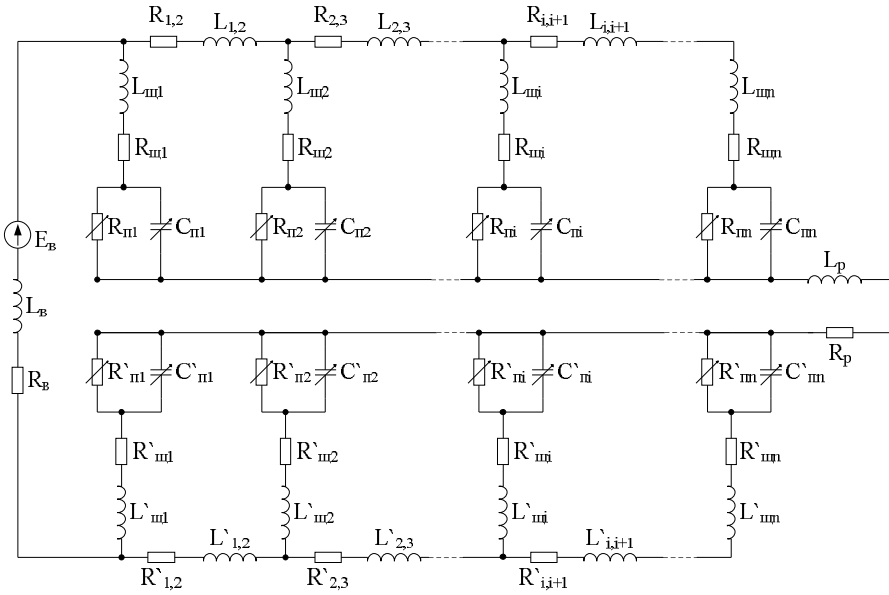
*Разработан аналитический метод определения зон параметрической неустойчивости электромагнитной колебательной системы узла скользящего токосъёма с использованием уравнения Матье II порядка для диссипативной системы с одной степенью свободы. Приводятся результаты вычислительного эксперимента и рекомендации.*

**Ключевые слова:** скользящий электрический контакт, зоны параметрической неустойчивости, демпфирующее устройство.

Энергетические турбогенераторы имеют конструктивный узел, носящий название щеточно-контактный аппарат (ЩКА) или узел скользящего токосъёма (УСТ). Надёжность работы турбогенератора определяется, в том числе, надёжностью функционирования данного узла. На щетки, контактирующие с вращающимся токосъёмником, действуют значительные динамические усилия, которые приводят к механическим нарушениям контакта и процесса токопередачи [1, 2]. Кроме того в электрических цепях ЩКА возникают электромагнитные резонансные явления, обусловленные параметрической модуляцией переходного сопротивления и ёмкости в зоне контакта [3–6]. Описанные явления вызывают повышенное искрение [7–10] и износ контактирующих деталей. Одним из важных способов снижения уровня искрения является устранение параметрических резонансных процессов в электромагнитных контурах ЩКА. Для этого необходимо исследовать области параметрической неустойчивости данной колебательной системы [11–15] и установить соответствующие ограничения на конструктивные параметры узла, а также определить характеристики внешних демпфирующих устройств, позволяющих избежать указанных параметрических резонансов. Описанные задачи являются актуальными, т. к. их решение позволит повысить надёжность ЩКА и турбогенератора в целом.

В данной статье аналитически решим задачу построения зон параметрической неустойчивости электромагнитной колебательной системы ЩКА турбогенератора, а так же приведем методику подбора параметров демпфирующего устройства для макета данной системы.

Рассмотрим электрические процессы в контуре независимого одиночного СК. Схема замещения представлена на рис. 2.



**Рис. 1.** Электромагнитная схема замещения узла токосъема турбогенератора

$L_{\pi 1}, L_{\pi 2} \dots L_{\pi n}; R_{\pi 1}, R_{\pi 2} \dots R_{\pi n}$  — индуктивность и электрическое сопротивление отдельного щеточного контакта на первом токосъемном кольце;

$L'_{\pi 1}, L'_{\pi 2} \dots L'_{\pi n}; R'_{\pi 1}, R'_{\pi 2} \dots R'_{\pi n}$  — индуктивность и электрическое сопротивление отдельного щеточного контакта на втором токосъемном кольце;

$R_{п1}, R_{п2} \dots R_{пn}; C_{п1}, C_{п2} \dots C_{пn}$  — электрическое сопротивление и ёмкость переходного слоя отдельного щеточного контакта на первом токосъемном кольце (периодические коэффициенты);

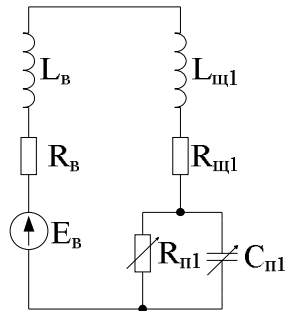
$R'_{п1}, R'_{п2} \dots R'_{пn}; C'_{п1}, C'_{п2} \dots C'_{пn}$  — электрическое сопротивление и ёмкость переходного слоя отдельного щеточного контакта на втором токосъемном кольце (периодические коэффициенты);

$L_{\pi}, R_{\pi}, E_{\pi}$  — индуктивность, электрическое сопротивление и ЭДС источника питания обмотки возбуждения ТГ

$L_p, R_p$  — индуктивность и электрическое сопротивление обмотки ротора;

$L_{1,2}, L_{2,3} \dots L_{i,i+1}; R_{1,2}, R_{2,3} \dots R_{i,i+1}$  — индуктивность и электрическое сопротивление между двумя щеточными контактами на первом токосъемном кольце;

$L'_{1,2}, L'_{2,3} \dots L'_{i,i+1}; R'_{1,2}, R'_{2,3} \dots R'_{i,i+1}$  — индуктивность и электрическое сопротивление между двумя щеточными контактами на втором токосъемном кольце.



**Рис. 2.** Схема замещения одиночного скользящего контакта

Данный контур имеет операторное сопротивление:

$$Z_1(p) = L \cdot p + R + \frac{R_{n1}}{1 + R_{n1}C_{n1}p}.$$

Тогда, операторное уравнение цепи имеет вид:

$$[LR_{n1}C_{n1}p^2 + (L + RR_{n1}C_{n1})p + (R + R_{n1})]I_1 = (1 + R_{n1}C_{n1}p) \cdot E_B,$$

где  $R = R_{щ1} + R_г$ ,  $L = Lu1 + L_г$ .

Линейное дифференциальное уравнение II порядка с периодическими коэффициентами получается путем обратного преобразования Лапласа. Напряжение обмотки возбуждения задаем постоянным  $E_г = const$ :

$$I'' + \left(\frac{R}{L} + \frac{1}{R_{n1}C_{n1}}\right)I' + \frac{1}{LC_{n1}}\left(1 + \frac{R}{R_{n1}}\right)I = \frac{1}{LR_{n1}C_{n1}}E_г. \quad (1)$$

Проведем исследование устойчивости электромагнитной системы, описываемой данным уравнением.

Дифференциальное уравнение вида  $A(t)\frac{d^2q}{dt^2} + B(t)\frac{dq}{dt} + C(t)q = 0$ , в общем случае описывает параметрические колебания линейной системы. Коэффициенты в этом уравнении зависят от некоторых параметров, характеризующих свойства параметрического воздействия. При определенных значениях параметров, решение уравнения может оказаться неустойчивым. Множество точек, соответствующих неустойчивости, формируют (образуют) в пространстве параметров области динамической неустойчивости [11, 16, 17]. В случае если варьируемыми параметрами являются частоты периодического параметрического воздействия, наибольший интерес представляет частотное соотношение, называемое параметрическим резонансом [11–17].

В нашем случае внешними параметрами воздействия на систему являются кинематические возмущения, передаваемые на щетку со стороны контактной поверхности вращающегося токосъемника. Эти возмущения влекут за собой периодические колебания сопротивления [3, 4, 9, 10] и ёмкости переходного слоя скользящего контакта. При большой глубине модуляции параметров переходного слоя, система может оказаться в зоне параметрического резонанса.

Для нахождения параметрических резонансов системы, будем строить границы областей неустойчивости, пользуясь уравнением колебаний Матье II порядка для диссипативной системы с одной степенью свободы [11].

Уравнение Матъе имеет вид:

$$I'' + 2\varepsilon I' + \omega_0^2(1 + 2\mu \cdot \cos\omega t)I = 0, \quad (2)$$

Приведем уравнение (1) к форме уравнения Матъе.

Примем  $R = \text{const}$ ,  $L = \text{const}$ , и будем считать, что сопротивление переходного слоя одного щеточного контакта  $R_{n1}$  [3–5] и его ёмкость  $C_{n1}$  изменяются гармонически с частотой  $\omega$ , амплитудами  $a_R$  и  $a_C$  и постоянными составляющими  $R_0$  и  $C_0$ :

$$R_{n1}(t) = R_0(1 \pm \varepsilon_R \cos\omega t); C_{n1}(t) = C_0(1 \pm \varepsilon_C \cos\omega t), \quad (3)$$

где  $\varepsilon_R = \frac{a_R}{R_0}$ ,  $\varepsilon_C = \frac{a_C}{C_0}$  — параметры глубины модуляции,  $\varepsilon_R, \varepsilon_C \ll 0$ .

Определим, приближенно, коэффициенты для уравнения Матъе [11, 16, 17]:  $\omega_0$  — собственная частота электромагнитных колебаний в рассматриваемом контуре,

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC_0} \left(1 + \frac{R}{R_0}\right);$$

$\mu$  — совокупная глубина модуляции параметров колебательного контура (коэффициент возбуждения),

$$2\mu = \varepsilon_C + \varepsilon_R \frac{R}{R+R_0}; \quad (4)$$

$\varepsilon$  — параметр затухания электромагнитных колебаний (диссипация),

$$2\varepsilon = \frac{R}{L} + \frac{1}{R_0 C_0}; \quad (5)$$

$\omega$  — частота параметрического возбуждения (частота модуляции).

Построим границу неустойчивости для диссипативной системы на плоскости  $\mu, \eta = \frac{\omega}{2\omega_0}$ , [6]. Для границ расчета неустойчивости используем следующие формулы. Для первой области неустойчивости (главного параметрического резонанса):

$$\omega \approx 2\omega_0 \sqrt{1 \pm \sqrt{\mu^2 - \left(\frac{\vartheta}{\pi}\right)^2}};$$

Для второй области неустойчивости:

$$\omega \approx \omega_0 \sqrt{1 - \mu^2 \pm \sqrt{\mu^4 - \left(\frac{\vartheta}{\pi}\right)^2 \cdot (1 - \mu^2)}},$$

где  $\vartheta = 2\pi\varepsilon/\omega_0$  — декремент свободных колебаний.

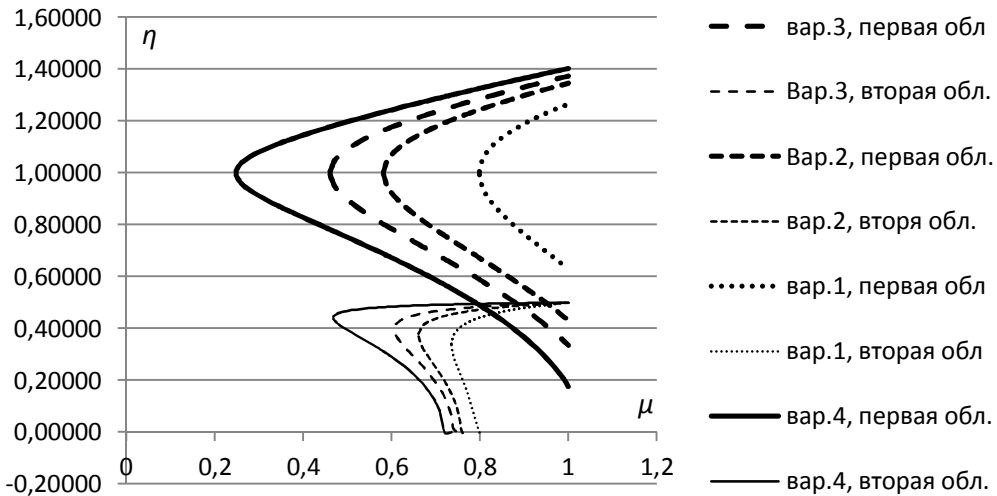
Расчет для построения областей проводим, используя параметры [18–20] экспериментальной установки ЩКА. Т. к.  $R_{n1}$  и  $C_{n1}$  — модулируемые параметры, проведем расчет для нескольких значений  $R_0$  и  $C_0$ .

Таблица 1

Параметры областей неустойчивости

Параметры модели									Расчетные параметры		
№ области	$R_0, \text{Ом}$	$C_0, \text{нФ}$	$R_a, \text{Ом}$	$L_a, \text{мГн}$	$\varepsilon_R$	$\varepsilon_C$	$R_{ц1}, \text{Ом}$	$L_{ц1}, \text{Гн}$	$\varepsilon, \text{ед.}$	$\omega_0, \text{рад/с}$	$\vartheta, \text{ед.}$
1	40	200	1,3	0,3	0,5	0,5	$8 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$5,217 \cdot 10^4$	$1,308 \cdot 10^5$	2,507
2	70								$3,788 \cdot 10^4$	$1,303 \cdot 10^5$	1,827
3	90								$2,995 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^5$	1,447
4	200								$1,467 \cdot 10^4$	$1,295 \cdot 10^5$	0,712

По расчетным данным построим графики, рис. 3.



**Рис. 3.** Области электромагнитной неустойчивости для макета ЦКА, при нескольких значениях переходного сопротивления

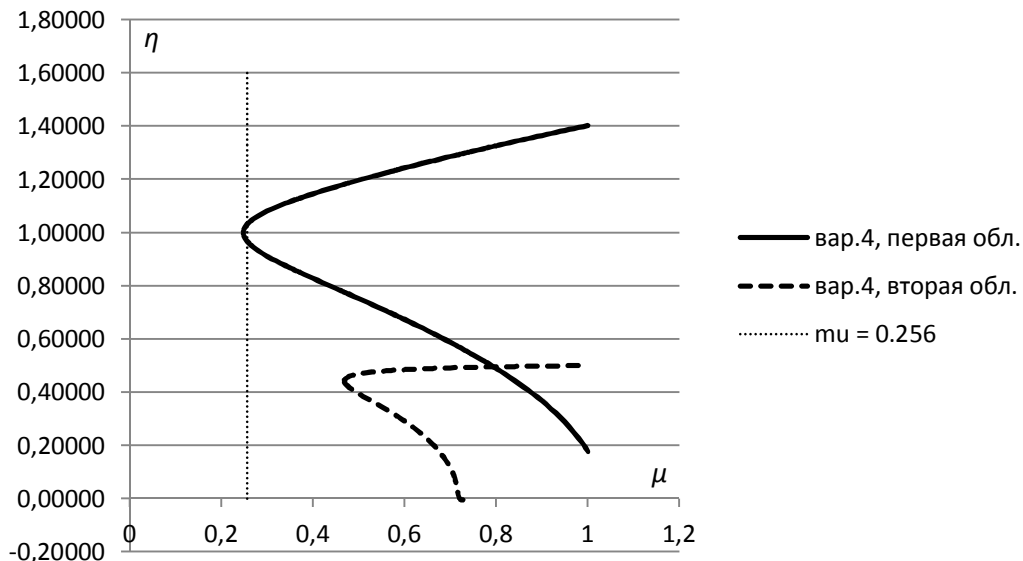
Как видно из графиков, области неустойчивости появляются при достаточно высоком значении сопротивления  $R_0$ . С ростом  $R_0$ , зоны неустойчивости смещаются в сторону более низких значений коэффициента модуляции.

Аналогичный расчет для нескольких значений переходной ёмкости  $C_0$  показывает, что наблюдается обратная зависимость: при росте  $C_0$ , границы областей неустойчивости смещаются в направлении высоких значений коэффициента модуляции.

Имея построенные зоны, можно увидеть по графику будут ли ЭМ процессы в контуре устойчивыми, при коэффициенте модуляции рассчитанным по формуле (4).

Коэффициент модуляции, для ЭМ контура  $\mu=0,256$ . Таким образом, ЭМ контур попадает в зону параметрического резонанса при  $R_0 = 180 \text{ Ом}$ , см. рис.4.

По графику 4 определим значения  $\eta = \frac{\omega}{2\omega_0}$ , при которых контур будет неустойчив.



**Рис. 4.** Области электромагнитной неустойчивости в сравнении с величиной коэффициента модуляции  $\mu$  в электромагнитном контуре ЩКА

Значения, определенные по рис. 4, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Границы зоны неустойчивости при  $\mu=0,256$

	$\eta$	$\omega$ (резонансные частоты), рад/с	$f$ , кГц
от	1,0577	2,739e5	43,6
до	0,9387	2,431e5	38,69

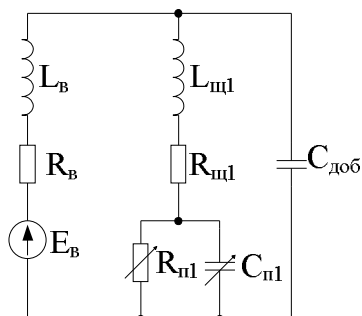
Т. о. если частота внешнего воздействия будет находиться в диапазоне от 43,6 кГц до 38,69 кГц исследуемый ЭМ контур будет неустойчив.

Таким образом, нами найдены возможные зоны параметрической неустойчивости по частоте модуляции  $\omega$  для электромагнитного контура одной изолированной щетки, при заданных значениях совокупной глубины модуляции  $\mu$ , собственной частоте электромагнитных колебаний  $\omega_0$  и диссипации  $\varepsilon$ .

Для исключения параметрического резонанса в рассматриваемой системе следует избегать режимов работы ЩКА, при которых средняя величина переходного сопротивления скользящего контакта превышает допустимое значение. В случае, когда избежать этого не удастся, нами предлагается введение в ЭМ контур демфирующего устройства [21], основным элементом которого является добавочная ёмкость, установленная между рабочей щеткой и контактной поверхностью вращающегося токосъемника.



Приведем расчет ЭМ цепи с добавочной ёмкостью для уединенного скользящего контакта.



**Рис. 5.** Схема замещения одиночного скользящего контакта с добавочной ёмкостью

Составим уравнения в соответствии с данной схемой и, приведём их к форме уравнения Матъе ( $C_{add} \equiv C_{доб}$ ).

$$I'' + \left( \frac{R_v}{L_v} + \frac{1}{R_{ш1}(C_{add} + C_{ш1})} \right) I' + \frac{1}{L_v(C_{add} + C_{ш1})} \left( 1 + \frac{R_v}{R_{ш1}} \right) I = \frac{1}{L_v R_{ш1} (C_{add} + C_{ш1})} E_s$$

Тогда, коэффициенты для уравнения Матъе:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{L_v(C_{add} + C_{ш1})} \left( 1 + \frac{R_v}{R_{ш1}} \right);$$

$$2\varepsilon = \frac{R_v}{L_v} + \frac{1}{R_{ш1}(C_{add} + C_{ш1})}.$$

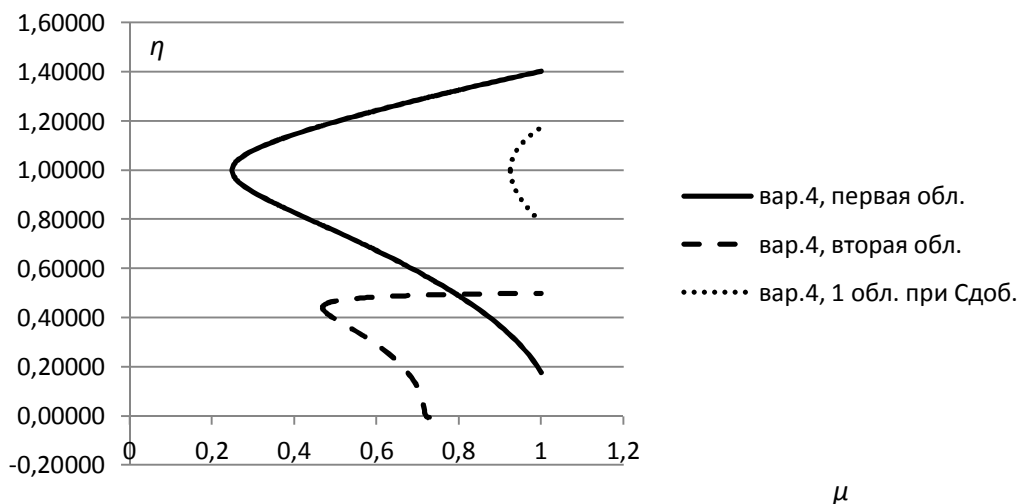
Проведем расчет областей неустойчивости для макетной установки ЩКА с демпфирующим устройством, используя параметры [18–20], приведённые в таблице 3.

Таблица 3

Параметры электромагнитного контура ЩКА

Параметры модели										Расчетные параметры		
№	$R_0$ , Ом	$C_0$ , нФ	$R_v$ , Ом	$L_v$ , мГн	$\varepsilon_R$	$\varepsilon_C$	$R_{ш1}$ , Ом	$C_{add}$ , мкФ	$L_{ш1}$ , Гн	$\varepsilon$ , ед	$\omega_0$ , рад/с	$\vartheta$ , ед.
4	200	200	1,3	0,3	0,5	0,5	$8 \cdot 10^{-4}$	150	$7,5 \cdot 10^{-8}$	$1,467 \cdot 10^4$	$1,295 \cdot 10^5$	0,712

Графики строим для случая с переходным сопротивлением  $R_0$ , при котором возможно попадание ЭМ контура в зону неустойчивости.



**Рис. 6.** Области ЭМ неустойчивости для макета ЩКА: 1 — при отсутствии добавочной ёмкости  $C_{add}$ ; 2 — при наличии добавочной ёмкости  $C_{add}$

Как видно из рис. 6, при введении добавочной емкости  $C = 150 \mu\text{Ф}$ , неустойчивая область смещается в направлении высоких значений коэффициента модуляции. Расчетный коэффициент модуляции контура  $\mu_0 = 0,256$ , не пересекает область, следовательно в контуре резонансные явления не наблюдаются. При увеличении добавочной ёмкости, области неустойчивости вообще исчезают. Т. е. при данном значении входных параметров, минимальное значение емкости для внешнего демпфирующего устройства около 150 мкФ.

Для практического использования описанной методики необходимо исследовать области параметрической неустойчивости конкретной колебательной системы ЩКА и установить соответствующие ограничения на конструктивные параметры узла, а также определить характеристики внешних демпфирующих устройств, позволяющих избежать указанных параметрических резонансов. Описанные задачи являются актуальными, т. к. их решение позволит повысить надёжность ЩКА и турбогенератора в целом.

### Выводы

Таким образом, мы нашли возможные зоны параметрической неустойчивости по частоте модуляции  $\omega$  для электромагнитного контура одной изолированной щетки, при заданных значениях совокупной глубины модуляции  $\mu$  и собственной частоте электромагнитных колебаний  $\omega_0$ , при наличии диссипации  $\epsilon$ . Также, подобрали параметры внешнего демпфирующего устройства для устранения неустойчивости электромагнитных колебаний при нестабильных режимах работы щеточно-контактного аппарата.

Кинематическое возмущающее воздействие на щётку носит полигармонический характер и в нём присутствуют гармоники от 50 Гц до сотен тысяч. При этом

резонансные частоты механической колебательной системы «щётка — контактная поверхность» с учётом контактной жесткости ( $C = 15\text{--}40$  МН/м) и массы щетки ( $m = 0,01\text{--}0,15$  кг) будут, ориентировочно, находится в интервале от 1,5 кГц до 10 кГц. Следовательно, можно констатировать, что частоты параметрического возбуждения могут совпадать с зонами неустойчивости по уравнению Матье как для высокочастотного, так и для низкочастотного контуров, но наибольшая вероятность развития параметрического резонанса имеется у низкочастотного контура. Возможность данного совпадения необходимо учитывать при конструировании УСТ ТГ.

#### Литература

1. Механика скользящего контакта / В. И. Нэллин, Н. Я. Богатырев, Л. В. Ложкин и др. М.: Транспорт. 1966.
2. Кончиц В. В., Мешков В. В., Мышкин В. В. Триботехника электрических контактов. Минск: Наука и техника. 1986.
3. Плохов И. В. Комплексная диагностика и прогнозирование технического состояния узлов скользящего токосъёма турбогенераторов. Диссертация доктора технических наук. СПб.: СПбГПУ, 2001.
4. Плохов И. В. Модель динамики токопередачи через скользящий контакт // Электротехника. М., 2005. № 2. С. 28–33.
5. Ильин А. В., Плохов И. В., Козырева О. И. Моделирование процессов электрофрикционного взаимодействия в узлах скользящего токосъёма. // Научно-технический вестник Поволжья. Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. № 4. С. 166–173.
6. Ильин А. В., Плохов И. В., Козырева О. И. Моделирование микрорельефа поверхностей контактирующих деталей. // Научно-технический вестник Поволжья. Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2013. № 5. С. 180–183.
7. Holm P. Theory of the sparking during communication on dynames // IEEE Transactions on Power Apparatus and System. 1962. № 63. P. 588–590.
8. Хольм Р. Электрические контакты. М.: Иностранная литература. 1961.
9. Greenwood J. A. Constriction resistance and the real area of contact. British Journal of appl. Physics. 1966. V. 17. P. 1621–1631.
10. Yip F. C., Venart J. E. S. Surface topography effects in the estimation of thermal and electrical contact resistance. In: Proc. Inst. Mech. Eng., 1968. V. 182. Pt. 3K. P. 81.
11. Вибрации в технике, Т. 1, М.: «Машиностроение», 1978., С. 121.
12. Мандельштам Л. И. Лекции по теории колебаний, М., 1972.
13. Мандельштам Л. И. Основы теории колебаний, 2 изд., М., 1988.
14. Рабинович М. И., Трубецков Д. И. Введение в теорию колебаний и волн. М., 1984.
15. Мэтьюз Дж., Уокер Р. Математические методы в физике. Пер. с англ. М.: Атомиздат. 1972. 392 с.
16. Паровик Р. И. Диаграммы Стретга-Айнса для обобщенного уравнения матье. Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2012. № 1(4). С. 29–30. ISSN 2079-6641.
17. McLachlan, N. W., Theory and Application of Mathieu Functions, Clarendon Press, Oxford, 1947.
18. Лившиц П. С. Справочник по щеткам электрических машин. М.: Энергоатомиздат. 1983.
19. Веселовский В. С. Угольные и графитовые конструкционные материалы. М., 1966.
20. Шулепов С. В., Физика углеграфитовых материалов, М., 1972.
21. Устройство для уменьшения искрообразования в узле скользящего токосъёма / Плохов И. В., Ильин А. В., Исаков А. Н., Козырева О. И. // Патент на полезную модель RU132630, опубл. 2013.09.20.

*Об авторах*

**Козырева Оксана Игоревна** — старший лаборант кафедры «Электропривод и системы автоматизации», аспирант, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: ks\_33n@rambler.ru

**Журавлёв Юрий Николаевич** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительной механики, инженерно-строительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

**Плохов Игорь Владимирович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электропривод и системы автоматизации», электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: igor\_plohov@list.ru

**Ильин Александр Викторович** — старший преподаватель кафедры «Электропривод и системы автоматизации», электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: al.ilyin@yandex.ru

*O. I. Kozyreva, Yu. N. Zhuravlev, I. V. Plohov, A. V. Iliin*

## CHART FOR INCE-STRUTT OF ELECTRIC CIRCUITS OF THE BRUSH-CONTACT DEVICES TURBOGENERATOR

*The problem of determination of the analytical solution of the problem of parametric instabilities of electromagnetic vibratory system node sliding contact with the Mathieu equation II order for a dissipative system with one degree of freedom are seen. The results of computational experiments and recommendations are considered.*

**Key words:** elektrofriktsionnoe interaction, sliding electrical contact simulation.

*About the author(s)*

**Kozyreva Oksana Igorevna**, Assistant of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: ks\_33n@rambler.ru

**Zhuravlev Yuri Nikolaevich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Structural mechanics, Civil Engineering Department, Pskov State University, Russia.

**Plohov Igor Vladimirovich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: igor\_plohov@list.ru

**Ilyin Alexander Viktorovich**, Senior Lecturer of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromechanics, Pskov State University, Russia.

E-mail: al.ilyin@yandex.ru

## ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

УДК 681.5

С. М. Вертешев, В. А. Коневцов, И. А. Полетаев

### УСТРОЙСТВА ДИСКРЕТНОЙ АВТОМАТИКИ ДЛЯ АСУ ТП

*Статья представляет функциональные возможности создания устройств дискретной автоматики в комплексе программных средств проектирования систем цифрового управления (в комплексе ПСПСЦУ) для автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП). Оцениваются возможности комплекса ПСПСЦУ в реализации одноктактных и многотактных релейно-контактных схем в сравнении с требованиями международного стандарта МЭК 61131-3:2003 (Часть 3: Языки программирования).*

**Ключевые слова:** компаратор векторов логических сигналов, бистабильный элемент, сдвигающий регистр, счетчик тактов, распознаватель фронта логического сигнала, функция голосования.

#### Введение

Для проектирования систем блокировок, защиты технологического оборудования от перегрузок, управления режимами технологического оборудования (включая режимы пуска, останова, переключений в нормальных условиях эксплуатации и в аварийных ситуациях) используются устройства дискретной автоматики. Эти устройства реализуются техническими средствами по стандарту МЭК 61131-1:2003 (Часть 1: Общие данные), программно-логическими контроллерами (ПЛК). Математическим аппаратом описания подобных устройств является аппарат исчисления высказываний — булева алгебра. Устройства логического управления классифицируются на комбинационные (не имеющие встроенную память — автоматы без памяти) и последовательностные (автоматы с памятью). В соответствии с этой классификацией различают устройства одноктактного (комбинационного) и многотактного (последовательностного) управления [2, 6]. Любая логическая переменная и функция двужанной логики определяется на множестве значений  $\{0,1\}$  или {ложь, истина}. Функция двужанной логики может быть одноместной, двуместной и многоместной. К одноместным функциям относятся функции повторения  $Y = X$ , отрицания  $Y = \bar{X}$ , константа-ложь  $Y = 0$ , константа-истина  $Y = 1$ . Для двух независимых переменных можно получить 16 различных функций [2, 6], которые могут быть эквивалентно выражены через функцию отрицания (NOT) и функцию конъюнкции (AND) или через функцию отрицания (NOT) и функцию дизъюнкции (OR). Наряду с этими функциями используется функция антивалентности (XOR, неравнозначность, сложение по модулю два). Эти четыре функции определены в составе операций модулей вычисления выражений комплекса ПСПСЦУ [5]:

**многоместная конъюнкция AND**

$$Y = X_1 \wedge X_2 \wedge \dots \wedge X_n = \begin{cases} 1 & \text{при } X_1 = X_2 = \dots = X_n = 1; \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases}$$

**многоместная дизъюнкция OR**

$$Y = X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_n = \begin{cases} 0 & \text{при } X_1 = X_2 = \dots = X_n = 0; \\ 1 & \text{иначе;} \end{cases}$$

**многоместная неравнозначность XOR**

$$Y = X_1 \oplus X_2 \oplus \dots \oplus X_n = \begin{cases} 0 & \text{при } \sum (X_1, X_2, \dots, X_n) = \text{четное}; \\ 1 & \text{иначе;} \end{cases}$$

**отрицание NOT**

$$Y = \overline{X} = \begin{cases} 1 & \text{при } X = 0 \\ 0 & \text{при } X = 1 \end{cases}.$$

Это базовые функции реализации устройств дискретной автоматики, осуществляющих запоминание, хранение, счет, анализ, сравнение логических сигналов и векторов логических сигналов. Такими устройствами являются триггеры, регистры, счетчики, дешифраторы, шифраторы, коммутаторы, компараторы схемотехники ЭВМ [2, 6] и т. д. Стандартизированные функциональные модули комплекса ПСПСЦУ определены на основе анализа математических методов теории управления [1, 3–5]. Сравнительная оценка свойств комплекса ПСПСЦУ и функциональных требований по стандарту МЭК 61131-3 дана в таблице 1.

Таблица 1

**Оценка свойств комплекса ПСПСЦУ**

№	Группы модулей дискретной автоматики	ПСПСЦУ	МЭК 61131-3
1	Компараторы векторов логических сигналов	+	–
2	Бистабильные элементы (RS, SR)	+	+
3	Сдвигающие регистры	+	–
4	Счетчики	+	+
5	Распознаватели фронта сигнала	+	+
6	Функции голосования	+	–
7	Дешифраторы	+	–
8	Шифраторы	+	–
9	Преобразователи битовой последовательности в вектор логических сигналов	+	–
10	Преобразователи вектора логических сигналов в битовую последовательность	+	–
11	Индексные регистры	+	–
12	Датчики времени (импульс, задержка включения, задержка выключения)	+	+
13	Коммутаторы сигналов	+	–
14	Генераторы сигналов	+	–

Примечание к таблице: (+) — наличие, (–) — отсутствие стандартизированной группы модулей

## 1. Компараторы векторов логических сигналов

Сравнение векторов логических сигналов (например, определение положения десятков и сотен дискретных исполнительных механизмов по состоянию конечных выключателей в АСУ ТП) производится с помощью компараторов [2]:

$$Y_i = \begin{cases} X_i & \text{при } f=0 & \text{повторение} \\ \overline{X_i} & \text{при } f=1 & \text{инверсия} \\ X_i \oplus Z_i & \text{при } f=2 & \text{антивалентность} \\ X_i \wedge Z_i & \text{при } f=3 & \text{конъюнкция} \\ X_i \vee Z_i & \text{при } f=4 & \text{дизъюнкция} \end{cases} \quad (1)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  — размерность векторов сигналов,  $f$  — параметр выбора операции,  $X_i, Z_i$  — компоненты векторов размерности  $n$ .

## 2. Бистабильные элементы

Для хранения значений одного сигнала логического вида используются RS и SR триггеры [6], имеющие два устойчивых состояния при сбросе или установке (бистабильные элементы). Эти триггеры имеют вход сброса  $R$ , вход установки  $S$ , вход состояния в предыдущем такте, выход состояния и инверсный выход состояния. Для хранения вектора из  $n$  логических сигналов можно определить «пакетный» RS-триггер (такая упаковка практикуется в технике изготовления интегральных микросхем [7]). При программировании это реализуется в соответствии с выражением [6]:

$$\begin{aligned} Q_i(k) &= \begin{cases} 0 & \text{при } R_i=1 \\ 1 & \text{при } S_i=1 \\ Q_i(k-1) & \text{иначе} \end{cases}, \\ Y_i(k) &= \overline{Q_i(k)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  — число триггеров в «пакете», а при  $n = 1$  триггер становится обычным. В «пакет» логических сигналов включаются сигналы, обладающие близкой инерционностью, т. е. одинаковой частотой изменения. Если вектор логических сигналов должен содержать сигналы различной инерционности, то время отработки схемы, содержащей блок такого функционального модуля, определяется сигналом наибольшей частоты изменения его значений. На выходе состояния триггера с приоритетом сброса при  $R = S = 1$  в одном и том же такте всегда значение сигнала равно нулю. На выходе состояния триггера с приоритетом установки при  $R = S = 1$  в одном и том же такте всегда значение сигнала равно единице:

$$\begin{aligned} Q_i(k) &= \begin{cases} 1 & \text{при } S_i=1 \\ 0 & \text{при } R_i=1 \\ Q_i(k-1) & \text{иначе} \end{cases}, \\ Y_i(k) &= \overline{Q_i(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  — число триггеров в «пакете».

В классическом определении RS и SR триггеров память на входе состояния в предыдущем такте скрыта, это внутренняя связь модуля, она разрушается при выключении электропитания. В определениях комплекса ПСПСЦУ [5] эта связь доступна инженеру-системотехнику, и память на входе состояния в предыдущем такте может быть сохранена при исчезновении электропитания ПЛК.

### 3. Сдвигающие регистры

Для хранения сигналов различного вида используются многоместные накопители («ячейки» памяти) — регистры различного действия: последовательный ввод-последовательный вывод, последовательный ввод-параллельный вывод, параллельный ввод-параллельный вывод, параллельный ввод-последовательный вывод. В системах с памятью (фиксация тренда предаварийной ситуации, корректирующие устройства высокого порядка, идентификация и имитация систем и т. д.) используются накопители с глубокой памятью. К таким накопителям относятся сдвигающие регистры [5]:

$$\left. \begin{aligned} Z2 &= \begin{cases} 1 & \text{при } (q \geq N) \wedge (Z0=0) \\ 0 & \text{при } (q < N) \vee (Z0=1); \end{cases} \\ q &= \begin{cases} q_0 + 1 & \text{при } (q < N) \wedge (Z1=1) \wedge (Z0=0) \\ N & \text{при } (q \geq N) \wedge (Z0=0) \\ 0 & \text{при } Z0=1; \end{cases} \\ Y_k &= \begin{cases} X_k & \text{при } (Z1=1) \wedge (Z0=0) \\ X_{k-1} & \text{при } (Z1=0) \wedge (Z0=0) \\ 0 & \text{при } Z0=1 \end{cases} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $k = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  — длина тренда;  $q_0$  — начальная длина тренда;  $Z0$  — сброс регистра;  $Z1$  — сдвиг регистра;  $q$  — текущая длина регистра;  $X(k), X(k-1), \dots, X(k-N)$  — значения переменной в такты  $(k-1), (k-2), \dots, (k-N)$ ;  $y(k), Y(k-1), \dots, Y(k-N)$  — содержимое регистра.

### 4. Счетчики тактов

Счетчики различают по характеру счета (прямые, реверсивные), по представлению в системе счисления (двоичные, десятичные), по способу управления счетом (синхронные, асинхронные). Счетчик («пакетный») ведет относительный счет времени, т. е. счет в тактах схемы управления. В «пакет» счетчиков включаются сигналы, обладающие близкой инерционностью, т. е. одинаковой частотой изменения. Если к «пакету» счетчиков должны подключаться сигналы различной инерционности, то время отработки схемы, содержащей блоки такого функционального модуля, определяется сигналом наибольшей частоты изменения его значений:

$$\left. \begin{aligned} Z_i &= \begin{cases} 1 & \text{при } T3_i = TT_i \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \\ Y_i &= \begin{cases} TH_i & \text{при } C_i = 1 \\ TT_i + 1 & \text{при } TT_i < T3_i \\ TT_i - 1 & \text{при } TT_i > T3_i \\ T3_i & \text{при } TT_i = T3_i \end{cases} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где  $C_i$  — сброс счетчика  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $n$  — число счетчиков в пакете;  $TH_i$  — начальное значение счетчика  $i$  при сбросе;  $T3_i$  — задание счетчика  $i$ ;  $TT_i$  — текущее значение счетчика  $i$ ;  $Z_i = 1$  — счетчик  $i$  заполнен.



### 5. Распознаватели фронта сигнала

Анализ изменения логического сигнала (распознавание фронта) производится пороговыми логическими элементами, называемыми триггерами фронта сигнала.

Триггеры фронтов различают по характеру изменения значения логического сигнала:

– **триггер переднего фронта**

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= \begin{cases} 1 & \text{при } (X_i(k-1)=0) \wedge (X_i(k)=1) \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases} \\ Y_i &= X_i(k); \\ q_i &= \overline{Q_i}, \\ \text{где } i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $n$  — число триггеров в «пакете»;  $X_i(k)$  — значение анализируемого сигнала в текущем такте  $kT$ ;  $X_i(k-1)$  — значение анализируемого сигнала в предыдущем такте  $(k-1)T$ ;  $Y_i$  — память анализируемого сигнала;  $q_i$  — отсутствие переднего фронта;

– **триггер заднего фронта:**

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= \begin{cases} 1 & \text{при } (X_i(k-1)=1) \wedge (X_i(k)=0) \\ 0 & \text{иначе;} \end{cases} \\ Y_i &= X_i(k) \\ q_i &= \overline{Q_i}, \\ \text{где } i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где  $n$  — число триггеров в «пакете»;  $X_i(k)$  — значение анализируемого сигнала в текущем такте  $kT$ ;  $X_i(k-1)$  — значение анализируемого сигнала в предыдущем такте  $(k-1)T$ ;  $Y_i$  — память анализируемого сигнала;  $q_i$  — отсутствие заднего фронта;

– **триггер (любого) фронта:**

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= \begin{cases} 1 & \text{при } X_i(k-1) \neq X_i(k) \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \\ Y_i &= X_i(k) \\ q_i &= \overline{Q_i} \\ \text{где } i &= 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\} \quad (8).$$

где  $n$  — число триггеров в «пакете»;  $X_i(k)$  — значение анализируемого сигнала в текущем такте  $kT$ ;  $X_i(k-1)$  — значение анализируемого сигнала в предыдущем такте  $(k-1)T$ ;  $Y_i$  — память анализируемого сигнала;  $q_i$  — отсутствие фронта.

В «пакет» логических сигналов также включаются сигналы, обладающие близкой инерционностью, т.е. одинаковой частотой изменения. Если же вектор ло-

гических сигналов должен содержать сигналы различной инерционности, то время обработки схемы, содержащей блок такого функционального модуля, определяется сигналом наибольшей частоты изменения его значений. Определение триггеров фронта дается также в «пакетной» форме. В момент изменения сигнала на выходах триггеров соответствующие логические значения сигналов возникают на время, равное одному такту обработки схемы, если частота изменения сигнала на соответствующих входах не больше частоты запуска схемы управления.

## 6. Функции голосования

Обработка сигналов логического вида как аргументов многоместных функций может выполняться с помощью так называемых функций голосования в схемах распознавания и исправления ошибок при передаче информации:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{при } \sum (X_1, X_2, \dots, X_n) \geq m, \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \quad (9)$$

где  $n$  — число логических переменных,  $m$  — кворум системы голосования.

Зависимость (9) определяет функцию голосования конъюнктивно (мажоритарный элемент [6]) для любой комбинации логических сигналов из  $n$  по  $m$ . При  $n=m$  выражение (9) соответствует многоместной конъюнкции, при  $m=1$  выражение (9) соответствует многоместной дизъюнкции, при  $n=m=1$  выражение (9) соответствует функции повторения.

## 7. Дешифраторы и шифраторы

Существует широкое многообразие преобразователей кодов. Особую роль в проектировании последовательностных схем, конечных автоматов, цифровых вычислительных устройств играют шифраторы и дешифраторы (эти модули также отсутствуют в качестве стандартных по МЭК 61131-3). Число состояний конечного автомата соответствует числу входов шифратора и числу выходов дешифратора [2,6]. Функция дешифратора состоит в преобразовании любого числа  $X$  системы счисления с основанием  $B$  из  $N$  позиций, причем  $B^N > 0$ , в вектор логических сигналов размерностью  $m = B^N$ . Сигнал на выходе дешифратора  $Y_j$  с номером  $j = X$  всегда равен логической единице, причем  $1 \leq j \leq m$ , а значения сигналов на других выходах  $Y_j$  с номерами  $j \neq X$  всегда равны логическому нулю:

$$Y_j = \begin{cases} 1 & \text{при } j = X \\ 0 & \text{для всех } j \neq X, \end{cases} \quad (10)$$

где  $j=1,2,\dots,m$ ,  $1 \leq X \leq m$ .

Шифратор выполняет обратное действие к действию дешифратора (10), т. е. преобразует логический входной вектор  $X_1, X_2, \dots, X_m$  размерности  $m$  в номер  $j$  того входа  $X_j$ , который имеет логическое значение, равное 1. Все входы шифратора, кроме единственного входа (который обозначает текущий номер состояния объекта), должны быть с нулевыми значениями сигналов:

$$Y = \begin{cases} 1 & \text{при } n \neq m \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \quad (11)$$

$$m = \begin{cases} i & \text{для } X_i = 1 \text{ и всех } X_j = 0, j \neq i \\ n & \text{иначе,} \end{cases} \quad (12)$$

### 8. Преобразователи битовой последовательности в вектор логических сигналов и обратно

При вводе дискретных сигналов двоичные сигналы группируются чаще всего побайтно, как натуральные числа, которые в дальнейшем используются как логические сигналы. Для получения отдельных, не сгруппированных в байты, логических сигналов используется модуль преобразования последовательности натуральных чисел в поразрядный позиционный код, каждый разряд которого занимает один байт.

При выводе дискретных сигналов с выходов комбинационных или последовательностных схем необходимо преобразование вектора логических сигналов в сигналы, упакованные в байты. Для этого используется модуль преобразования вектора логических сигналов в последовательность натуральных чисел.

### 9. Индексные регистры

Если сигналы вектора  $X_1, X_2, \dots, X_n$  могут принимать произвольные логические значения, то входы с логическими единицами можно «пометить», т. е. проиндексировать зависимостью (регистр индексации):

$$\left. \begin{aligned} q &= \sum (X_1, X_2, \dots, X_n) \\ Y_j &= i \cdot X_i \text{ для всех } X_i \neq 0, \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

где  $q$  — число входов с единичным значением сигнала  $X_i, j=1, 2, \dots, q$ .

Регистр индексации представляет собой функцию кодирования с переменным числом выходов. Этот модуль может быть использован, например, для нумерации входов, имеющих единичные значения сигналов (например, номеров исполнительных механизмов, состояния которых отклоняются от нормы). Если значения сигналов на всех  $n$  входах единичные, то зависимость (13) даст следующие значения выходов:  $q=n, Y_1=1, Y_2=2, \dots, Y_n=n$ . Если значения сигналов на всех входах нулевые, то  $q=0$ , а выходы  $Y_j$  не существуют (ничто).

### 10. Датчики времени

Различают таймеры (датчики времени), формирующие импульс функциональным блоком TP, задержку включения функциональным блоком TON, задержку выключения функциональным блоком TOF. Любой из этих функциональных блоков имеет входы IN и PT типов BOOL и TIME соответственно и выходы Q и ET типов BOOL и TIME соответственно, причем IN-сигнал запуска блока; PT-вход задания времени; Q-наличие импульса; ET-текущее время, счетчик относительного времени.

Таймер TP(IN, PT, Q, ET): если IN = FALSE, то Q = FALSE и ET = 0. При переднем фронте сигнала на входе, IN = TRUE, выход Q принимает значение TRUE и

счетчик ET начинает отсчет времени до значения PT по тактам. Таким образом, на выходе Q формируется импульс длительностью PT по переднему фронту сигнала на входе IN:

$$ET = \begin{cases} 0 & \text{if } IN = FALSE \\ ET + 1 & \text{if } (ET < PT) \& (IN = TRUE), \end{cases} \quad (14)$$

$$Q = \begin{cases} FALSE & \text{if } (IN = FALSE) \\ TRUE & \text{if } (IN = TRUE). \end{cases} \quad (15)$$

Таймер с задержкой включения TON(IN, PT, Q, ET): если IN = FALSE, то Q = FALSE и ET = 0. При переднем фронте сигнала на входе, IN = TRUE, выход Q принимает значение TRUE и счетчик ET начинает отсчет времени до значения PT по тактам. Сигнал на выходе Q = TRUE, если IN = TRUE и ET = PT, иначе Q = FALSE. Таким образом, на выходе Q формируется импульс с задержкой PT от переднего фронта сигнала на входе IN:

$$ET = \begin{cases} 0 & \text{if } (IN = FALSE) \\ ET + 1 & \text{if } (ET < PT) \& (IN = TRUE), \end{cases} \quad (16)$$

$$Q = \begin{cases} FALSE & \text{if } (IN = FALSE) \\ TRUE & \text{if } (IN = TRUE) \& (ET = PT). \end{cases} \quad (17)$$

Таймер с задержкой выключения TOF(IN, PT, Q, ET): если IN = TRUE, то Q = TRUE и ET = 0. При заднем фронте сигнала на входе, IN = FALSE, начинается отсчет времени на выходе ET. Выход Q = FALSE, если IN = FALSE и ET = PT, иначе Q = TRUE. Таким образом, выход Q сбрасывается с задержкой PT от заднего фронта сигнала на входе IN:

$$ET = \begin{cases} 0 & \text{if } (IN = TRUE) \\ ET + 1 & \text{if } (ET < PT) \& (IN = FALSE). \end{cases} \quad (18)$$

$$Q = \begin{cases} TRUE & \text{if } (IN = TRUE) \\ FALSE & \text{if } (IN = FALSE) \& (ET = PT). \end{cases} \quad (19)$$

### 11. Коммутаторы сигналов

Все переменные связи в системе управления осуществляются с помощью коммутаторов. Различаются коммутаторы [6] входных сигналов (мультиплексоры или коммутаторы чтения), коммутаторы выходных сигналов (демультиплексоры или распределители или коммутаторы записи) и матричные коммутаторы (мультиплексоры-демультиплексоры или коммутаторы чтения-записи)[2].

$$Y_i = (AC + HЭ + \{HB - 1\} KЭ + i) \text{ при чтении } m = 1 \quad (20)$$

$$(AC + HЭ + \{HB - 1\} KЭ + i) = X_i \text{ при записи } m = 0 \quad (21)$$

где  $i = 1, 2, \dots, KЭ$ , чтение (1) запись (0),  $m$ -команда чтения/записи (.) — содержимое по адресу AC; HЭ — номер первого входа-выхода; HB — номер коммутируемого вектора; KЭ — число коммутируемых значений.

Функция мультиплексора получается при подстановке  $m = 1$  в выражение (20), а функция демультиплексора — при подстановке  $m = 0$  в выражение (21). Каждая

из переключаемых величин  $X_1, X_2, \dots, X_{K\bar{K}}, Y_1, Y_2, \dots, Y_{K\bar{K}}$  может быть отдельным значением сигнала (скаляром) или вектором значений сигналов определенной размерности и вида.

## 12. Генераторы сигналов

Последовательность импульсов низких частот (получение сигналов частот 0,5 Гц, 1 Гц, 2 Гц, ... для синтеза схем контроля и сигнализации) может быть получена с помощью генераторов периодических импульсов [2]:

$$\left. \begin{aligned} C(k) &= \bar{C}(k-1); \\ Y_i &= \begin{cases} C(k) & \text{при } X_i = 1, i = 1, 2, \dots, KK, \\ 0 & \text{иначе,} \end{cases} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

где  $KK$  — число каналов периодических импульсов,  $C(k)$  — состояние выходов в момент  $kT$ ,  $C(k-1)$  — состояние выходов в момент  $(k-1)T$ ,  $X_1, X_2, \dots, X_{kk}$  — состояние импульсов на входах старт/стоп генерации,  $Y_1, Y_2, \dots, Y_{kk}$  — состояние импульсов на выходах.

## Заключение

Программная реализация в комплексе ПСПСЦУ основных устройств дискретной автоматики обеспечивает универсальность при проектировании цифровых САУ. Такой подход к созданию АСУ ТП позволяет без каких-либо существенных затрат расширить состав стандартизированных групп модулей дискретной автоматики по сравнению с функциональными требованиями стандарта МЭК 61131-3. Комплекс ПСПСЦУ, как средство проектирования цифровых САУ, ориентирован не на профессиональных программистов, а на инженеров-специалистов по автоматике и телемеханике. Предложенный вариант программной реализации устройств дискретной автоматики позволяет использовать методику, принятую при разработке аппаратных систем. Например, методику разработки и монтажа систем управления и регулирования на базе устройств пневмоавтоматики, гидравлики, электро-механики, аппаратуры дискретной автоматики из микросхем различной степени интеграции.

## Литература

1. Konevtsov V. A., Verteshev S. M., Poletaev I. A. Eigenschaften von Complex SDSDC // European Science and Technology: 7<sup>th</sup> International scientific conference. Germany, Munich 2014, Vol. I, P. 493–497.
2. Seifart M. Digitale Schaltungen. Berlin, VEB Verlag Technik, 1986, s. 560.
3. Verteshev S. M., Konevtsov V. A., Poletaev I. A. Softwaremittel der Projektierung von Systemen der digitalen Steuerung // European Science and Technology: 5<sup>th</sup> International scientific conference. Germany, Munich 2013, Vol. I, P. 501–504.
4. Verteshev S. M., Konevtsov V. A., Poletaev I. A. Methods of Software Developing of Complex SDSDC // European Science and Technology: 4<sup>th</sup> International scientific conference. Germany, Munich 2013, Vol. I, P. 377–380.
5. Коневцов В. А. САПР цифровых САУ. Концепция: Монография. Издание третье, дополненное и исправленное: Псков: Псковский государственный университет, 2013. С. 317.
6. Лехин С. Н. Схемотехника ЭВМ. СПб.: БХВ — Петербург, 2010, 661 с.

7. Микросхемы интегральные. Серии K1500–KP1531. Справочник. С-Петербург: Издательство РНИИ «Электронстандарт», 1993, С. 130.

*Об авторе(ах)*

**Вертешев Сергей Михайлович** — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и технологии», факультет информатики, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: president@pskgu.ru

**Коневцов Владимир Александрович** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Информационные системы и технологии», факультет информатики, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: kafedravr-ist@mail.ru

**Поletaев Игорь Алексеевич** — старший преподаватель кафедры «Вычислительная техника», факультет информатики, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: ipoletaev@mail.ru

*S. M. Verteshev, V. A. Konevtsov, I. A. Poletaev*

## DISCRETE AUTOMATIC SCHEMES FOR ASC TP

*The article given shows functional possibilities of creating discrete automatic schemes in CAD of digital automatic control system (CAD of digital ACS), in complex of Software Design of System of the Digital Control. (Complex SDSDC) for automated system of control of technological processes (ASC TP). Possibilities of Complex SDSDC for implementing combination and sequential control compared with requirements of international standard IEC 61131-3:2003 (Part 3: Programming languages) are estimated.*

**Key words:** *comparator of vectors of logical signals, flip-flop, shift register, counter of clock periods, recognition of the front of a logical signal, vote function.*

*About the author(s)*

**Verteshev Sergey Mikhailovich**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of «Information systems and technologies», Faculty of Informatics, Pskov State University, Russia.

E-mail: president@pskgu.ru

**Konevtsov Vladimir Aleksandrovich**, Candidate of Engineering Sciences, Senior Research Officer of the Department of «Information systems and technologies», Faculty of Informatics, Pskov State University, Russia.

E-mail: kafedravr-ist@mail.ru

**Poletaev Igor Alekseevich**, Senior Lecturer of the Department of «Computing machinery», Faculty of Informatics, Pskov State University, Russia.

E-mail: ipoletaev@mail.ru

## АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 534.22

С. С. Воронков

### ОБОБЩЕНИЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВЯЗКОМ СОВЕРШЕННОМ ГАЗЕ НА ГАЗ ВАН-ДЕР-ВААЛЬСА

*Выполнено обобщение формулы для скорости звука в вязком совершенном газе на газ Ван-дер-Ваальса. Показано, что эффекты, связанные с влиянием вязкости и теплопроводности на скорость звука для газа Ван-дер-Ваальса будут усиливаться.*

**Ключевые слова:** скорость звука, газ Ван-дер-Ваальса.

В работе Воронкова С. С. (2004) получена формула для скорости звука в вязком теплопроводном совершенном газе, учитывающая диссипацию энергии и теплообмен

$$a^2 = a_s^2 + \frac{\mathbf{V} \cdot (a_s^2 \text{grad} p - \text{grad} p) + (k-1)\Phi}{\frac{\partial p}{\partial t}}, \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) +$$

$$+ \mu \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\},$$

где  $a_s$  — адиабатная и изоэнтропная скорость звука;  $\Phi$  — функция, учитывающая диссипацию энергии и теплообмен;  $T$  — температура газа;  $\mathbf{V}$  — вектор скорости газа с проекциями  $u$ ,  $v$ ,  $w$  на оси декартовой системы координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  соответственно;  $p$  и  $\rho$  — давление и плотность газа;  $\lambda$  — коэффициент теплопроводности;  $\mu$  — коэффициент динамической вязкости;  $k$  — показатель адиабаты;  $t$  — время.

Формула (1) для скорости звука носит частный характер, так как она получена для совершенного газа, не учитывающего взаимодействия между молекулами в газе и собственный объем молекул. Как повлияет учет реальности газа на скорость звука?

В качестве уравнения состояния реального газа выберем уравнение Ван-дер-Ваальса

$$\left(p + \frac{a^*}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad (2)$$

здесь  $v$  — удельный объем,  $R$  — газовая постоянная,  $a^*$  и  $b$  — константы, которые наряду с газовой постоянной характеризуют индивидуальные свойства вещества.

Уравнение Ван-дер-Ваальса учитывает реальные свойства газа: наличие межмолекулярного взаимодействия в газе и собственный объем молекул. Оно качественно описывает переход в жидкое состояние и критические явления.

Для реального газа, в отличие от совершенного, внутренняя энергия зависит также и от объема

$$de = \left(\frac{\partial e}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial e}{\partial v}\right)_T dv. \quad (3)$$

Изохорная теплоемкость, по определению, есть (Кириллин и др., 1974)

$$c_v = \left(\frac{\partial e}{\partial T}\right)_v. \quad (4)$$

Используя термодинамические соотношения, можно показать, что для газа Ван-дер-Ваальса (Кириллин и др., 1974)

$$\left(\frac{\partial e}{\partial v}\right)_T = \frac{a^*}{v^2}. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5), уравнение (3) перепишется

$$de = c_v dT + \frac{a^*}{v^2} dv. \quad (6)$$

Решив уравнение (2) относительно температуры  $T$ , найдем

$$T = \frac{pv - pb + \frac{a^*}{v} - \frac{a^*b}{v^2}}{R}. \quad (7)$$

Дифференциал  $T$  равен

$$dT = \frac{v - b}{R} dp + \frac{p - \frac{a^*}{v^2} + \frac{2a^*b}{v^3}}{R} dv. \quad (8)$$

Учитывая, что

$$v = \frac{1}{\rho}, \quad (9)$$

из уравнения неразрывности получим

$$\operatorname{div} \mathbf{V} = \frac{1}{v} \frac{dv}{dt}. \quad (10)$$

Подставляя (6), (8), (9), (10) в уравнение энергии (Шлихтинг, 1974)

$$\rho \frac{de}{dt} + p \operatorname{div} \mathbf{V} = \Phi, \quad (11)$$



получим

$$\frac{c_v}{R} \frac{v-b}{v} \frac{dp}{dt} + \frac{c_v}{R} \frac{p - \frac{a^*}{v^2} + \frac{2a^*b}{v^3}}{v} \frac{dv}{dt} + \frac{a^*}{v^3} \frac{dv}{dt} + \frac{p}{v} \frac{dv}{dt} = \Phi. \quad (12)$$

Перепишем уравнение (12) в виде

$$\frac{v-b}{v} \frac{dp}{dt} + \left( pv - \frac{a^*}{v} + \frac{2a^*b}{v^2} + \frac{R}{c_v} \frac{a^*}{v} + \frac{R}{c_v} pv \right) \frac{1}{v^2} \frac{dv}{dt} = \frac{R}{c_v} \Phi. \quad (13)$$

Зависимость теплоемкости  $c_v$  от объема определяется выражением (Кириллин и др., 1974)

$$\left( \frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T = T \left( \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v. \quad (14)$$

Из уравнения (2) получим

$$\left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{v-b}. \quad (15)$$

Следовательно,

$$\left( \frac{\partial^2 p}{\partial T^2} \right)_v = 0 \quad (16)$$

и из (14)

$$\left( \frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T = 0, \quad (17)$$

то есть для газа Ван-дер-Ваальса изохорная теплоемкость не изменяется с изменением объема, также как и для совершенного газа.

Следовательно, как показано в работе (Ноздрев и др., 1974)

$$\int_v^\infty \left( \frac{\partial c_v}{\partial v} \right)_T dv = \int_{c_v}^{c_{vc}} dc_v = c_{vc} - c_v = 0, \quad (18)$$

то есть

$$c_v = c_{vc}, \quad (19)$$

где  $c_{vc}$  — удельная изохорная теплоемкость совершенного газа.

Проведем преобразование с учетом (19)

$$\frac{R}{c_v} = \frac{c_{pc} - c_{vc}}{c_{vc}} = k - 1, \quad (20)$$

где  $c_{pc}$  — удельная изобарная теплоемкость совершенного газа,  $k$  — показатель адиабаты.

Учитывая, что

$$\frac{1}{v^2} \frac{dv}{dt} = -\frac{dp}{dt}, \quad (21)$$

и принимая во внимание (20), уравнение (13) после преобразований перепишется

$$\frac{v-b}{v} \frac{dp}{dt} - \left( kpv - \frac{(2-k)a^*}{v} + \frac{2a^*b}{v^2} \right) \frac{dp}{dt} = (k-1)\Phi. \quad (22)$$

Принимая во внимание выражения

$$a^2 = \frac{\partial p}{\partial \rho}, \quad (23)$$

$$a_s^2 = k \frac{p}{\rho}, \quad (24)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \text{grad} p, \quad (25)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \text{grad} \rho, \quad (26)$$

уравнение (22) перепишется в виде

$$\begin{aligned} a^2 = & (a_s^2 - \frac{(2-k)a^*}{v} + \frac{2a^*b}{v^2} + \\ & + \frac{\mathbf{V} \cdot ((a_s^2 - \frac{(2-k)a^*}{v} + \frac{2a^*b}{v^2}) \cdot \text{grad} \rho - \frac{v-b}{v} \cdot \text{grad} p) + (k-1)\Phi}{\frac{\partial \rho}{\partial t}}) \frac{v}{v-b}. \end{aligned} \quad (27)$$

Выражение (27) представляет собой формулу для скорости звука в вязком, теплопроводном газе Ван-дер-Ваальса. При  $a^* = 0, b = 0$  она совпадает с формулой (1), полученной для совершенного газа.

Так как коэффициент

$$\frac{v}{v-b} > 1, \quad (28)$$

то эффекты, связанные с влиянием вязкости и теплопроводности на скорость звука для газа Ван-дер-Ваальса, как следует из выражения (27), будут усиливаться.

### Выводы:

- эффекты, связанные с влиянием вязкости и теплопроводности на скорость звука для газа Ван-дер-Ваальса будут усиливаться;
- полученный результат позволит уточнить механизм возникновения турбулентности в вязком теплопроводном газе.

**Литература**

1. Воронков С. С. О скорости звука в потоке вязкого газа с поперечным сдвигом. Электронный журнал «Техническая акустика» № 5. 2004. Режим доступа: URL: <http://www.ejta.org>.
2. Кириллин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. 2-е изд. М.: Энергия, 1974, 448 с.
3. Ноздрев В. Ф., Федорищенко Н. В. Молекулярная акустика. М.: Высшая школа, 1974, 288 с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974, 712 с.

**Об авторе**

**Воронков Сергей Семенович** — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог, инженерно-строительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: vorss60@yandex.ru

*S. S. Voronkov*

**A GENERALIZATION OF THE FORMULA FOR THE SPEED OF SOUND IN A VISCOUS PERFECT GAS ON GAS VAN DER WAALS**

*The generalization of the formula for the speed of sound in a viscous perfect gas at the gas van der Waals are made. It is shown that the effects associated with the influence of viscosity and thermal conductivity on the speed of sound for the gas van der Waals will increase.*

**Key words:** speed of sound, gas van der Waals.

**About the author**

**Voronkov Sergey Semenovich**, Associate Professor, Head of the Department of Highway, Civil Engineering Department, Pskov State University, Russia.

E-mail: vorss60@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

*Рассматриваются способы и методы возведения зданий в условиях плотной городской застройки, поддержание эксплуатационных свойств существующей застройки, мероприятия по защите возводимого здания и охране экологической среды.*

**Ключевые слова:** возведение зданий, плотная городская застройка.

Особенностью возведения зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки является ограниченность площадей, выделенных под участок застройки, что препятствует полноценному развертыванию строительной площадки. При этом обязательным является наличие эвакуационных проездов (выездов) по строительной площадке, подготовленных к использованию пожарных гидрантов, средств экстренного тушения пожара, ограничительной обноски или ограждения вокруг котлована, указателей зон проведения работ на строительной площадке, навесов над пешеходными зонами, расположенными вдоль строительной площадки.

В случаях ограниченной площади участка застройки вне пределов строительной площадки могут располагаться: административно-бытовые помещения, столовые и санитарные помещения, арматурные, столярные и слесарные цеха и мастерские, открытые и закрытые складские помещения, краны, бетононасосы и другие строительные машины.

Отсутствие арматурных, столярных и слесарных цехов и мастерских затрудняет изготовление изделий и элементов строительных конструкций, таких, как подготовленная по размерам арматура, арматурные каркасы, элементы несущих металлических конструкций, столярные и слесарные элементы. Все перечисленные выше элементы привозят на строительную площадку в подготовленном для использования виде. Их изготавливают на собственных производственных площадях, расположенных за пределами строительной площадки, или на специализированных предприятиях по специальным заказам, доставляют на площадку в соответствии с графиками поставки. На строительной площадке изделия разгружают и подают к месту производства работ, т. е. монтаж осуществляют непосредственно «с колес».

В большинстве случаев вокруг строительной площадки находятся ранее построенные здания и сооружения и размещение рядом с ними крупных башенных кранов, монтаж подкрановых путей невозможны. В этом случае используют легкомонтируемые башенные краны без подкрановых путей, для которых требуется подкрановая площадь до 9 м<sup>2</sup>, большегрузные самоходные краны или самоподъемные краны.

Фундаментную плиту монтируют с помощью передвижного крана, затем на нее устанавливают башенный кран. По мере возведения конструкций,

расположенных над фундаментной плитой, кран может подниматься и устанавливаться на смонтированные перекрытия. Иногда кран остается на фундаментной плите до окончания возведения здания, поэтому в перекрытиях вокруг крана остаются незабетонированные участки с выпусками арматуры. После окончания работ кран демонтируют, извлекая по секциям. Незабетонированные зоны перекрытий, достигающие 10–202 м каждое, бетонируют, начиная с нижнего. Бетон укладывают при помощи самоходных большегрузных кранов.

Для поддержания эксплуатационных свойств существующей застройки выполняют ряд мероприятий. До начала земляных работ необходимо осуществить укрепление оснований и фундаментов существующих сооружений и городской инфраструктуры, расположенных в непосредственной близости от строительной площадки. Укрепление конструкций оснований и фундамента должно обеспечить статическое равновесие здания на период отрытого котлована до возведения несущих конструкций подземной части нового здания.

Мероприятия по укреплению оснований и фундаментов подразделяют в зависимости от воздействия на несущий каркас и прилегающие основания на постоянные и временные. К постоянным относятся те решения, при реализации которых усиление конструкции становится неотъемлемой частью возводимого сооружения.

До начала земляных работ по всему периметру котлована устраивают шпунтовое ограждение.

Цель шпунтового ограждения — воспрепятствовать сползанию и обрушению грунтовых массивов, находящихся за пределами строительной площадки. В качестве несущих элементов шпунтового ограждения используют металлические трубы или сортаментные прокатные балки — швеллеры или двутавры. В особых условиях элементы шпунтового ограждения устанавливают, как правило, забуриванием, поэтому предпочтительнее использовать металлические трубы.

В зонах, где к границе строительной площадки непосредственно примыкают существующие сооружения, необходимо провести мероприятия по укреплению их подземных конструкций. На расстоянии 1–3 м от оси усиливаемого фундамента устанавливают буровую установку, с помощью которой осуществляют устройство буроинъекционных свай. Их использование связано с требованиями увеличения несущей способности существующих фундаментов, их дополнительной связи с окружающим основанием. Для этого пробуривают скважины, проходящие через тело существующего фундамента, и в них под давлением нагнетают бетон.

По окончании возведения подземной части здания шпунтовое ограждение, как правило, извлекают из грунта, его можно использовать повторно. Поэтому устройство шпунтового ограждения можно отнести к временным мероприятиям по укреплению оснований. В отличие от шпунтов буроинъекционные сваи остаются в теле усиленных фундаментов и после окончания нового строительства.

К постоянным мероприятиям можно отнести и возведение подземной части здания с помощью выполнения «стены в грунте». В грунте устраивают выемки и траншеи, в которых возводят ограждающие конструкции подземного сооружения из монолитного или сборного железобетона, затем под защитой этих конструкций

разрабатывают внутреннее грунтовое ядро, устраивают днище и возводят внутренние конструкции. Однако, «стена в грунте» является достаточно сложным и дорогостоящим инженерным сооружением, и ее возведение является экономически целесообразным лишь в случаях крупномасштабного или уникального строительства.

К временным мероприятиям относят решения, направленные на обеспечение требуемой несущей способности фундаментов в процессе выполнения земляных работ и до возведения подземной части нового здания. Среди наиболее часто применяемых решений можно выделить следующие: создание металлических или естественных контрфорсов, усиление фундаментов и стен подвала металлическими продольными конструкциями (обоймами), замораживание грунта в зоне воздействия котлована на фундамент существующего здания.

После устройства шпунтового ограждения и набора расчетной прочности буроинъекционных свай разрешается начинать земляные работы. Разработку котлована следует осуществлять частями, уступами, начиная в тех зонах, где отсутствует примыкание существующих зданий к строительной площадке. В качестве землеройных машин используют экскаваторы со средними и малыми ковшами вместимостью до 1 м<sup>3</sup>. По мере вывоза грунта высвобождаются металлические трубы шпунтового ограждения. Для обеспечения противодействия давления грунта, расположенного вне площадки, трубы соединяют металлическими балками, в которые упираются раскосы в углах, расположенные на примыкающих сторонах котлована, и распорки между противоположными сторонами котлована. Закончив установку раскосов и частично распорок (не мешающих дальнейшим землеройным работам) на верхнем уровне котлована, приступают к разработке и вывозу грунта с расположенных ниже отметок, устанавливая через каждые 3–5 м (в соответствии с расчетом) раскосы и распорки. По окончании вывоза грунта приступают к возведению несущих конструкций здания, демонтируя постепенно снизу вверх металлические конструкции крепежа котлована.

При осуществлении земляных работ вдоль фундаментов и стен подвальных этажей существующих зданий необходимо оставлять берму, разработку которой выполняют в последнюю очередь или даже после частичного возведения подземной части нового здания. Грунтовую берму можно рассматривать как естественный контрфорс, выполняемый посредством неполной разработки грунта в зонах существующих зданий. Последовательность возведения подземной части здания следующая.

1. Разрабатывают и вывозят грунт из пятна застройки до отметки возводимых фундаментов или фундаментной плиты, за исключением зоны, располагающейся вдоль существующей застройки.

2. Рассчитывают размеры естественного контрфорса в виде грунтовой бермы. При этом обязательным требованием является снятие верхнего слоя бермы так, чтобы разница между ее верхом и нулевой отметкой возводимого здания составляла не менее 1 м.

3. Возводят конструкции подземной части: фундаменты, перекрытия, колонны внутренние и наружные несущие стены. Наружные несущие стены, как правило, в таких случаях выполняемые из монолитного железобетона, подводят

вплотную к земляной берме. Укладку бетона заканчивают за 30–70 см от границы бермы на всю высоту до нулевой отметки, далее остаются только арматурные выпуски.

4. В верхних зонах стен, там где отсутствует грунт бермы, возводят участок наружной железобетонной стены, связанный с помощью арматурных выпусков с возведенным каркасом подземной части здания. Таким образом, по периметру всего котлована образуется монолитный железобетонный пояс, жестко связанный с пространственным каркасом возводимого здания.

5. Разрабатывают и вывозят грунт естественного контрфорса. Возводят оставшиеся конструкции подземной части здания.

Для снижения уровня шума на строительной площадке необходимо использовать шумопонижающие методики и оборудование. Осуществляются мероприятия по снижению динамического воздействия работающих машин и механизмов.

Необходима защита от выброса в атмосферу пылевых частиц мелких и средних фракций. Обеспечив поставку на строительную площадку наибольшее количество предварительно окрашенных изделий и оборудования, можно свести до минимума осуществление этих процессов в построечных условиях, а следовательно, уменьшить вредные выбросы в атмосферу. Необходимо наладить четкую систему сбора и вывоза строительного и бытового мусора с объекта.

Необходимо на стадии подготовительных работ обеспечить организованный сток воды со строительной площадки.

При согласовании стройгенплана совместно с органами безопасности дорожного движения разрабатывают схемы рационального движения транспорта вокруг строительной площадки на период строительства.

Снижение шумового воздействия достигают за счет реализации ряда технических и технологических решений. В числе наиболее часто применяемых — установка вдоль транспортных магистралей звукопоглощающих экранов, выполняемых из железобетона, дерева, усиленного стекла или пластмассы. Кроме этого для снижения шума в ограждающих конструкциях возводимых зданий применяют звуко- и теплоизоляционные материалы, обладающие повышенными шумопоглощающими свойствами. В качестве звукоизоляционного материала используют полужесткие и жесткие минераловатные волокнистые плиты, устанавливаемые в толщу ограждающих конструкций в процессе их возведения или укрепляемые на наружную, а иногда и на внутреннюю поверхность возводимой стены.

Одним из способов, позволяющих снижать шумовое воздействие в возводимых зданиях, является использование окон и балконных дверей специальных конструкций. Для остекления применяют одно- и двухкамерные стеклопакеты.

К традиционным методам снижения динамических воздействий относится установка виброгасителей в фундаментную плиту и другие конструктивные элементы подземной части здания. Виброгасители, обладающие демпфирующими свойствами, воспринимают на себя передающиеся от основания колебания и препятствуют их дальнейшему распространению по конструктивным элементам

здания. Новым методом является использование виброизоляционных рулонных материалов. Эти материалы изготавливаются в заводских условиях и представляют собой соединенные вместе три функциональных слоя. Первый, наружный слой — гидроизоляционный, к нему с помощью второго слоя, состоящего из большого числа пружинок, навитых из тонких (до 1,5 мм) пластиковых нитей, крепится третий слой, состоящий из геотекстильного материала. Рулонный материал укладывают в вырытый котлован: по вертикальным стенам — на устраиваемую по шпунтовому ограждению обрешетку, по дну — на укладываемую по подготовленному основанию бетонную стяжку. Затем возводят несущий каркас подземной части, который оказывается внутри виброизолирующего слоя. Этот слой и воспринимает как вертикальные, так и горизонтальные динамические колебания, гасит их, препятствуя дальнейшему распространению по конструктивным элементам возведенного здания.

Соблюдение целого ряда факторов обеспечивает не только качество и долговечность возводимых объектов, но и устойчивое равновесие как близлежащей застройки, так и городской среды в целом.

#### Литература

1. Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лапидус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учебник для строит. вузов / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лапидус. М.: Высш. шк., 2006.
2. А. А. Афанасьев. Технология возведения полносборных зданий: учебник / А. А. Афанасьев, С. Г. Арутюнов, И. А. Афонин и др.; Под ред. член-корр. РААСН, РПОФ., д. т. н. А. А. Афанасьева. М.: Издательство АСВ, 2007.
3. Соколов Г. К. Технология строительного производства: учеб. пособие для студ. высш. учеб. Заведений / Г. К. Соколов. М.: Издательский центр «Академия», 2006.

#### Об авторе

**Бугаева Татьяна Николаевна** — кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, инженерно-строительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: tanya.bugaeva.69@mail.ru

*T. N. Bugaeva*

## PARTICULARLY THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS IN URBAN AREAS

*Consider ways and methods of construction of buildings in dense urban areas. Maintaining the operational properties of the existing building. Measures to protect the building being erected and the protection of the ecological environment.*

**Key words:** construction of buildings, dense urban.

#### About the author

**Bugaeva Tatiana Nikolaevna**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Civil Engineering Faculty, Pskov State University, Russia.

E-mail: tanya.bugaeva.69@mail.ru



## СОДЕРЖАНИЕ

### **МЕТАЛЛУРГИЯ, МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАТЕРИАЛООБРАБОТКА**

<b>Петров Ю. И., Лукин М. А.</b> Аналитическое определение контура ядра сечения .....	3
<b>Глебов В. Д.</b> Повышение надежности и производительности грузоподъемных машин .....	10
<b>Гринёв Д. В.</b> Устранение избыточных связей в рычажно-кулачковом механизме роторно- лопастной машины .....	14
<b>Семёнова О. И.</b> Обзор современного оборудования для швейного производства .....	19
<b>Ивасышин Г. С.</b> Научные открытия в области микро-нано-пико- и фемтотрибологии .....	33

### **ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

<b>Марков А. М.</b> Проектирование и изготовление коротковолнового всдиапазонного трансивера .....	43
<b>Кодолич Д. А.</b> Моделирование реактивного момента для расчета вынужденных колебаний в валопроводе турбогенератора.....	53
<b>Хитров А. И.</b> Инженерная подготовка по профилю «Электропривод и автоматика» направления «Электроэнергетика и электротехника» в Псковском государственном университете.....	62
<b>Марков А. М.</b> Автоматизированный электропривод поворотной узконаправленной приемо-передающей антенны .....	79
<b>Кодолич Д. А.</b> О регистрации крутильных колебаний .....	83
<b>Козырева О. И., Плохов И. В., Журавлёв Ю. Н., Ильин А. В.</b> Диаграммы Айнса — Стретта для электромагнитного контура узла скользящего токосъема турбогенератора.....	91

### **ИНФОРМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА**

<b>Вергешев С. М., Коневцов В. А., Полетаев И. А.</b> Устройства дискретной автоматики для АСУ ТП.....	101
---	-----

### **АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО**

<b>Воронков С. С.</b> Обобщение формулы для скорости звука в вязком совершенном газе на газ Ван-дер-Ваальса.....	111
<b>Бугаева Т. Н.</b> Особенности возведения зданий в условиях городской застройки .....	116

## CONTENTS

### **METALLURGY, MECHANICAL ENGINEERING, METAL WORKING**

<b>Petrov Yu. I., Lukin M. A.</b> Analytical determination of the contour of the nucleus cross section ....	3
<b>Glebov V. D.</b> Increase of reliability and productivity of load-lifting cars .....	10
<b>Grinev D. V.</b> Elimination redundant links in the lever and cam mechanism of the rotor and bladed machines .....	14
<b>Semenova O. I.</b> Review of modern equipment for sewing production .....	19
<b>Ivasyshin G. S.</b> Scientific advances in the field of micro- nano- pico- femtotribology .....	33

**ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING**

<b>Markov A. M.</b> Designing and fabrication short-wave HF transceiver .....	43
<b>Kodolich D. A.</b> Modeling reactive moment to calculate the forced oscillations in the turbine generator shaft lines .....	53
<b>Khitrov A. I.</b> Learning of engineers of profile «electric drive and automation» of direction «electric power and electrical engineering» at Pskov state university .....	62
<b>Markov A. M.</b> Automated electric drive thumb directed acceptance-sending antenna .....	79
<b>Kodolich D. A.</b> Registration methods of torsional vibrations .....	83
<b>Kozyreva O. I., Zhuravlev Yu. N., Plohov I. V., Iliin A. V.</b> Chart for ince strutt of electric circuits of the brush-contact devices turbogenerator .....	91

**INFORMATICS AND COMPUTER FACILITIES**

<b>Verteshev S.M., Konevtsov V.A., Poletaev I.A.</b> Discrete automatic schemes for ASC TP .....	101
---	-----

**ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION**

<b>Voronkov S. S.</b> A generalization of the formula for the speed of sound in a viscous perfekt gas on gas van der waals .....	111
<b>Bugaeva T. N.</b> Particularly the construction of buildings in urban areas .....	116



*Научное издание*

# ВЕСТНИК

ПСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА

*СЕРИЯ*

*«Технические науки»*

*1/2015*

Редактор: Д. В. Гринёв

Компьютерная вёрстка: Д. В. Гринёв, Н. А. Васильева

Корректор: С. Н. Емельянова

---

Подписано в печать 14.09.2015. Формат 70×108/16.

Гарнитура Times New Roman. Усл. п. л. 10,825.

Тираж 45 экз. Заказ № 5116.

Отпечатано на Versant 2100.

Адрес издательства:

Россия, 180000, г. Псков, ул. Л. Толстого, д. 4<sup>а</sup>, корп. 3<sup>а</sup>.  
Издательство Псковского государственного университета