

Содержание журнала «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР» №3(17)		Contents of the journal "MILITARY ENGINEER" №3(17)	
Содержание	1	Contents	
Редакционная коллегия	2	Editorial Board	
Проектирование, строительство и реконструкция объектов военного назначения	3	Design, construction and reconstruction of military facilities	
<i>Гуков Д.В., Загуляев С.Д., Иванов С. М.</i>	3	<i>Gukov D.V., Zagulyaev S.D., Ivankov S. M.</i>	
Исследование распределения магнитной индукции в магнитопроводе силового трансформатора при работе под нагрузкой		Investigation of the distribution of magnetic induction in the magnetic core of a power transformer when operating under load	
<i>Филинков Е.Л., Попов А.В., Волокушин Р.В., Карпов А.Д.</i>	13	<i>Filinkov E.L., Popov A.V., Volokushin R.V., Karpov A.D.</i>	
Устройство экспресс-диагностирования турбокомпрессоров дизельного двигателя		Device for rapid diagnostics of diesel engine turbochargers	
<i>Поправко Д.П.</i>	22	<i>Popravko D.P.</i>	
Методика формирования комплектов автомобильного имущества для проведения технического обслуживания автомобильной техники территориальных органов войск национальной гвардии		Methodology for the formation of sets of automobile property for performing maintenance of automobile equipment of territorial bodies of the National Guard troops	
<i>Саркисов С.В., Лопатин Н.В., Эль-Салим С.З.</i>	30	<i>Sarkisov S.V., Lopatin N. V., El-Salim S.Z.</i>	
Определение состояния высоковольтных трансформаторов методом газоаналитического мониторинга		Determination of the state of high-voltage transformers by gas-analytical monitoring	
Теория воинского обучения и воспитания	44	Theory of military training and education	
<i>Цховребов А.С.</i>	44	<i>Tskhovrebov A.S.</i>	
Сложноподчиненные предложения расчлененной структуры с причинными отношениями в практике преподавания русского языка как иностранного		Complex sentences of a dissected structure with causal relations in the practice of teaching Russian as a foreign language	
<i>Литвинова Н.Б., Тупицын Ю.Е., Шишкин Е.В.</i>	52	<i>Litvinova N.B., Tupitsin Y.E., Shishkin E.V.</i>	
Методика определения средних удельных затрат на техническую эксплуатацию механического оборудования специальных технических систем при использовании гибких стратегий технического обслуживания		Methodology for determining the average unit costs for the technical operation of mechanical equipment of special technical systems using flexible maintenance strategies	
Сведения об авторах	59	Information about the authors	
Правила оформления, направления и рецензирования рукописей в журнале «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР»	61	Rules of registration, send to the editor and review manuscripts in the journal "MILITARY ENGINEER"	

Главный редактор журнала – Саркисов С.В.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Председатель редакционной коллегии

Коновалов Владимир Борисович, доктор экономических наук профессор;

Заместитель председателя редакционной коллегии

Кащеев Роман Леонидович, кандидат технических наук доцент;

Члены редакционной коллегии

Аверьянов Владимир Константинович, доктор техн. наук проф., член-корр. РААСН, засл. деят. науки РФ;

Бирюков Александр Николаевич, доктор технических наук профессор, засл. работник высш. шк. РФ;

Борисов Алексей Александрович, кандидат технических наук, профессор;

Бондарев Алексей Валентинович, доктор технических наук;

Ваучский Михаил Николаевич, доктор технических наук профессор;

Гуков Дмитрий Васильевич, доктор технических наук профессор;

Даутова Ольга Борисовна, доктор педагогических наук профессор;

Дружинин Пётр Владимирович, доктор технических наук профессор, засл. работник высш. шк. РФ;

Ивахнюк Григорий Константинович, доктор химических наук профессор;

Игнатчик Виктор Сергеевич, доктор технических наук профессор;

Казаков Юрий Николаевич, доктор технических наук профессор;

Крисковец Татьяна Николаевна, доктор педагогических наук доцент;

Курмышов Василий Михайлович, доктор исторических наук доцент;

Маляров Валерий Николаевич, доктор исторических наук профессор, засл. работник высш. шк. РФ;

Печников Андрей Николаевич, доктор технических наук, доктор педагогических наук, профессор, заслуженный деятель техники Российской Федерации;

Сайданов Виктор Олегович, доктор технических наук профессор;

Саркисов Сергей Владимирович, доктор технических наук доцент;

Смирнов Александр Васильевич, доктор технических наук профессор;

Таранцев Александр Алексеевич, доктор технических наук профессор, засл. работник высш. шк. РФ;

Третьяков Юрий Александрович, доктор военных наук профессор;

Фоминич Эдуард Николаевич, доктор технических наук профессор;

Фёдоров Александр Борисович, доктор технических наук доцент;

Чернобай Михаил Петрович, кандидат педагогических наук профессор, засл. работник физич. культуры РФ;

Черимисин Суад Зухер, доктор физико-математических наук профессор;

Путилин Павел Александрович, кандидат технических наук.

Учредитель и издатель научного журнала «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР» - Унитарная некоммерческая организация Фонд содействия развитию Военного института (инженерно-технического) «ВИТУ».

Средство массовой информации – журнал «Военный инженер» зарегистрировано 15 сентября 2016 года. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 77–67057 от 15.09.2016 выдано Федеральным агентством по печати и массовым коммуникациям.

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук с 22.12.2020 г.

Электронные версии журнала размещаются на сайте Научной электронной библиотеки (www.elibrary.ru).

Журнал включён в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Подписной индекс журнала «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР» в ФГУП «Почта России» П4852.

Выпускающий редактор: Путилин П.А.	Сдано в набор .05.07.2021	Бумага типографская
Редактор текстов на английском языке: Путилин П.А.	Подписано в печать 06.07.2021	Печать офсетная
Экспертиза текстов статей на объём заимствований: Зотов А.С.	Формат бумаги 60 x 90 1/8	Заказ № 3145.
Дизайн обложки: Сорокин А.А.		Тираж 300 экз.
Вёрстка: Путилин П.А.		Цена договорная

Почтовый адрес редакции журнала «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР»: 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, д.22, оф.716, телефон 8(812)7198786, e-mail: me_journal@mail.ru, страница журнала на сайте: http://viit.spb.ru/military_engineer/

Журнал «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР» 2020, №3 (№17)

УДК 355.7:621.314.222

Д.В. Гуков, С.Д. Загуляев, С. М. Иваньков

D.V. Gukov, S.D. Zagulyaev, S. M. Ivankov

Исследование распределения магнитной индукции в магнитопроводе силового трансформатора при работе под нагрузкой

Investigation of the distribution of magnetic induction in the magnetic core of a power transformer when operating under load

Аннотация: *Исследовано распределение магнитной индукции по длине магнитопровода трансформатора с concentric обмотками при работе под нагрузкой. Выявлено разделение магнитопровода на две зоны: с высокой (влияние первичной обмотки) и с низкой (влияние вторичной обмотки) магнитной индукцией. При внутреннем расположении первичной обмотки зона высокого значения индукции минимальна. Для снижения магнитных потерь предложено предусматривать первичную обмотку внутренней concentric, а сечение магнитопровода под ней увеличить. Это позволит выровнять магнитную индукцию по длине магнитопровода. Для количественного определения оптимальных параметров трансформатора при различных условиях применено математическое моделирование.*

Abstract: *The distribution of magnetic induction along the length of the magnetic core of a transformer with concentric windings during operation under load is studied. The magnetic circuit is divided into two zones: with high (the influence of the primary winding) and with low (the influence of the secondary winding) magnetic induction. With the internal arrangement of the primary winding, the zone of high induction value is minimal. To reduce the magnetic losses, it is proposed to provide for a primary winding of the inner concentric, and to increase the cross-section of the magnetic core under it. This will align the magnetic induction along the length of the magnetic core. Mathematical modeling is used to quantify the optimal parameters of the transformer under various conditions.*

Ключевые слова: *силовой трансформатор; concentric обмотки, магнитная индукция, системы военного назначения, магнитные потери.*

Keywords: *power transformer; concentric windings, magnetic induction, military systems, magnetic losses.*

Силовые трансформаторы широко применяются в системах жизнеобеспечения объектов и комплексов военной инфраструктуры. Они хорошо изучены и исследованы. Тем не менее, современные силовые трансформаторы имеют ряд недостатков, например, потери электроэнергии в ходе ее преобразования. Это накладывает определенные финансовые издержки на поддержание боеготовности военных объектов. Кроме того, Методическое руководство [1] предписывает необходимость снижения потерь в элементах систем электроснабжения. Поэтому снижение потерь в трансформаторах представляется весьма актуальным вопросом.

Одним из видов потерь в трансформаторах являются магнитные потери. Они определяются величиной магнитной индукции в магнитопроводе. Магнитный поток трансформатора можно разложить на основной магнитный поток, который замыкается по магнитопроводу и пронизывает витки первичной и вторичной обмоток и потоки рассеяния отдельных обмоток, которые замыкаются частично по воздуху, поэтому магнитопровод они нагружают избирательно. В итоге распределение магнитной индукции по длине магнитопровода определяется наложением магнитных потоков рассеяния отдельных обмоток и основного магнитного потока.

При работе трансформатора под нагрузкой потоки рассеяния разгружают магнитопровод. Чем меньше магнитная индукция в магнитопроводе, тем меньше будут потери в стали.

Распределение полей рассеяния отдельных обмоток исследовано в ряде публикаций. Работы [2-3] свидетельствуют об изменении намагничивающего тока под нагрузкой, вследствие влияния полей рассеяния.

Наиболее распространенными на объектах военной инфраструктуры являются силовые трансформаторы на напряжение 10/0,4 кВ [4]. В них применяют концентрические обмотки, а в качестве первичной (высоковольтной) используют обмотку дальнюю (внешнюю) от магнитопровода. Так легче обеспечить изоляцию высоковольтной обмотки от магнитопровода.

Возможно и другое расположение обмоток, первичную (высоковольтную) можно расположить ближе к магнитопроводу. Как это скажется на работе трансформатора и на его магнитных потерях? Является ли традиционное исполнение трансформатора оптимальным с точки зрения работы трансформатора?

Для ответа на поставленные вопросы, выполнено исследование с целью выяснить распределение магнитных потоков рассеяния в нагруженном трансформаторе, их влияние на загруженность магнитопровода и на магнитные потери в двух случаях: при традиционном расположении концентрических обмоток и в случае расположения первичной обмотки ближе к магнитопроводу.

Объектом исследования был выбран переделанный однофазный сварочный трансформатор ТДМ-317. От трансформатора был использован магнитопровод. Сварочные трансформаторы имеют повышенное рассеяние магнитного поля, что облегчит исследование распределения полей рассеяния. Размеры магнитопровода: высота 580 мм, ширина 209 мм, глубина 105 мм, размер окна 476x105 мм. Марка стали 3414. Толщина пластин магнитопровода 0,35мм.

Для проведения опытов были изготовлены два комплекта concentрических обмоток. Первый комплект - первичная ближняя к магнитопроводу, вторичная - дальняя. Вторым комплект с первичной обмоткой дальней от магнитопровода. Первичную обмотку выполнили алюминиевым проводом сечением 13,3мм², число витков 186. Вторичная обмотка имела 32 витка алюминиевого провода сечением 75мм².

Кроме обмоток, по всей длине магнитопровода с расстоянием друг от друга 5-10 см были размещены витки провода - датчики магнитной индукции. Схема для проведения испытаний приведена на рис. 1. На рис. 2 отражена схема для измерения магнитной индукции.

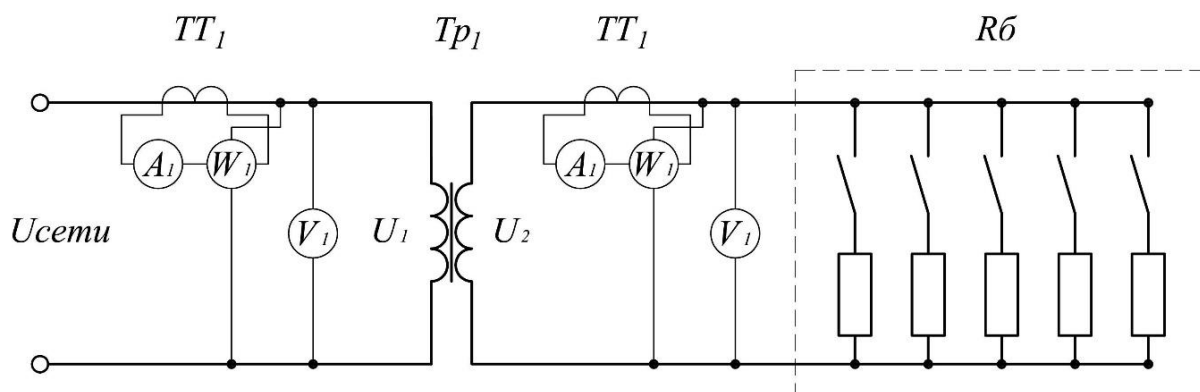


Рис. 1. Схема испытательной установки

$U_{сети}$ – напряжение сети, U_1 и U_2 – напряжения на обмотках трансформатора, Tr_1 – исследуемый трансформатор, TT_1 и TT_2 – трансформаторы тока, $R_б$ – установка с балластными реостатами

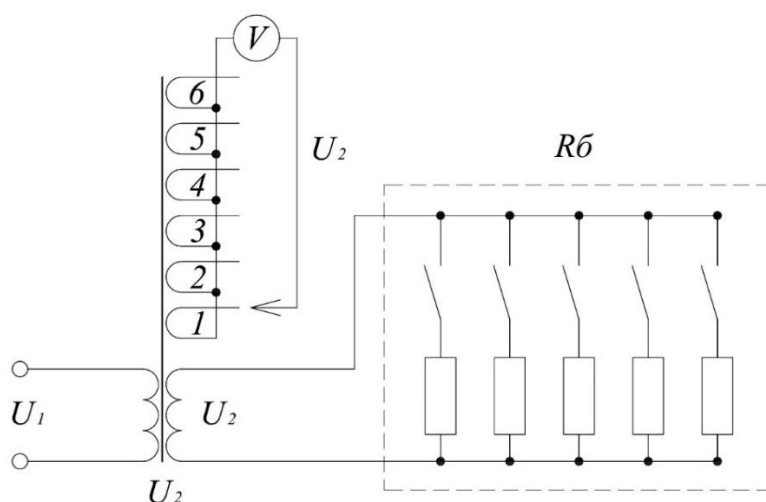


Рис. 2. Схема измерения магнитной индукции в магнитопроводе
 Т1 – исследуемый трансформатор, U_1 и U_2 – напряжения на обмотках трансформатора, S1 –
 переключатель, U – вольтметр магнитоэлектрической системы с диодным мостом, Rб –
 установка с балластными реостатами

Исследования выполнялись в следующем порядке:

1. Трансформатор включали в режиме холостого хода, когда индукция имеет наибольшее значение. Производилось измерение магнитной индукции по длине магнитопровода, самое высокое значение было принято за 100% загрузки магнитопровода, все последующие измерения с ним сравнивались.

2. Включали нагрузку (балластные реостаты РБ-300) на трансформатор с такой величиной, чтобы вторичное напряжение снизилось по сравнению с режимом холостого хода на 30%. Значение выбрано несколько большим, чем в стандартном силовом трансформаторе для того, чтобы было легче выявить распределение магнитного поля.

3. Выполнялся контроль измеряемых значений токов, напряжений и мощности, фиксировалось распределение магнитной индукции по длине магнитопровода.

4. Выполняли смену конструкции трансформатора, опыт повторялся.

Результаты исследований приведены на рис. 3 и 4.

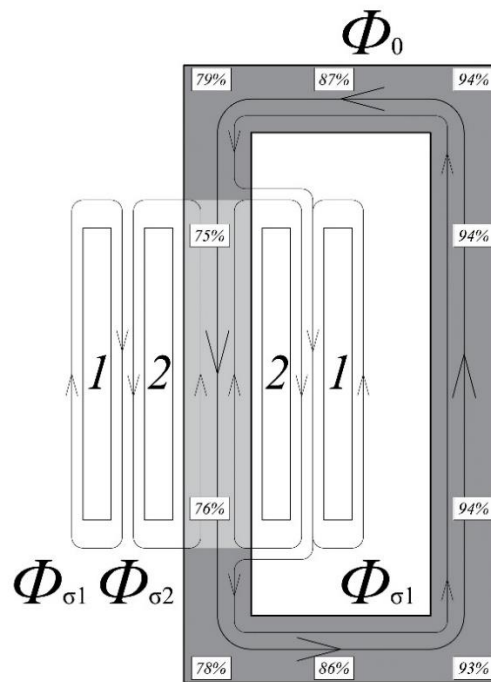


Рис. 3. Распределение магнитного поля по длине магнитопровода при стандартном расположении обмоток

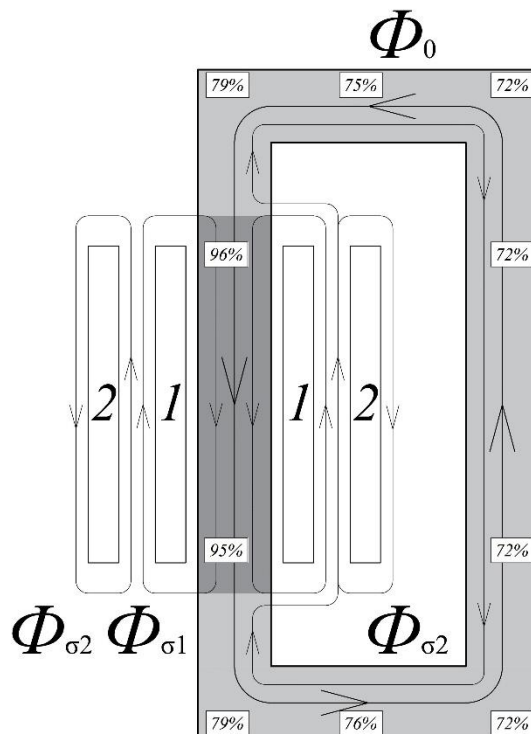


Рис. 4. Распределение магнитного поля по длине магнитопровода при внутреннем расположении первичной обмотки

Видно, что всю длину магнитопровода можно условно поделить на две зоны, с высоким и низким значениями магнитной индукции. На рис. 3 и 4 области магнитопровода с высоким значением магнитной индукции затемнены, а низким значением более светлые. Существенная разница определяется значительным рассеянием магнитного потока при работе трансформатора под нагрузкой. В случае размещения первичной обмотки ближе к магнитопроводу протяженность светлых участков магнитопровода больше, что определяет меньшие магнитные потери.

Для дальнейшего снижения потерь можно выровнять (снизить) магнитную индукцию под первичной обмоткой с индукцией на остальном участке магнитопровода, за счёт выполнения магнитопровода с переменным сечением, завышенным в области расположения первичной обмотки (рис. 5). Т.к. сечение магнитопровода обратно пропорционально значению магнитной индукции, то определение степени увеличения сечения проблем не составляет.

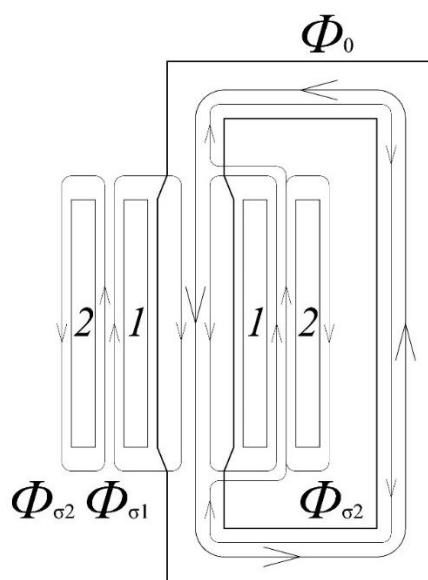


Рис. 5. Форма магнитопровода для выравнивания магнитной индукции в магнитопровode при работе трансформатора под нагрузкой

Определение разницы в загруженности магнитопровода при различном взаимном расположении concentрических обмоток с помощью опытного исследования далеко не всегда представляется возможным, а на этапе конструирования трансформатора и вовсе не выполнимо. К тому же, после проведения опыта затруднительно рассчитать разницу в магнитных потерях. Решение данной проблемы – в математическом моделировании.

Для определения влияния индуктивностей рассеяния отдельных обмоток на работу трансформатора была разработана уточненная математическая модель силового трансформатора [5]. С помощью данной модели возможно рассчитать магнитную индукцию

на участках магнитопровода, по которым замыкаются потоки рассеяния первичной и вторичной обмоток, а также намагничивающий ток под нагрузкой.

Отличие уточненной математической модели в том, что она учитывает насыщение магнитопровода, фактическое расположение обмоток относительно магнитопровода, характер нагрузки, нелинейная магнитная характеристика стали магнитопровода.

Модель основана на двух схемах замещения силового трансформатора: электрической (рис. 6) и магнитной (рис. 7).

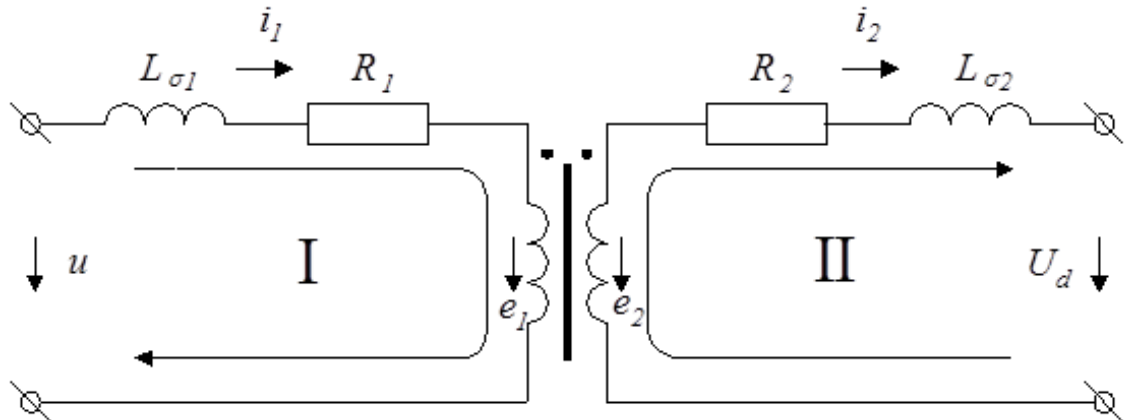


Рис. 6. Электрическая схема с учетом индуктивностей рассеяния

$L_{\sigma 1}$ и $L_{\sigma 2}$ — индуктивности рассеяния по воздуху (не насыщаются), R_1 и R_2 — активные сопротивления обмоток, i_1 и i_2 — мгновенные значения токов в обмотках, u и U_d — значения напряжений на зажимах обмоток

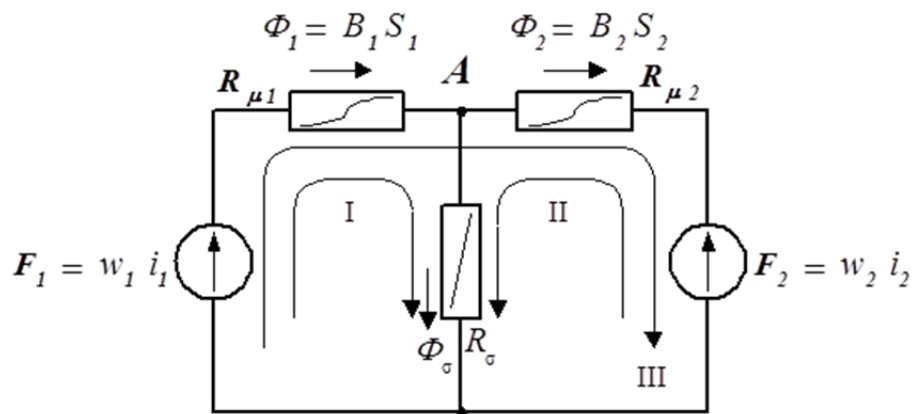


Рис. 7. Схема замещения магнитной цепи

F_1 , F_2 — МДС обмоток; Φ_1 , Φ_2 — потоки через первичную и вторичную обмотки;

R_{σ} — линейное воздушное сопротивление магнитному потоку в воздухе;

$R_{\mu 1}$, $R_{\mu 2}$ — магнитные сопротивления участков магнитопровода в области размещения первичной и вторичной обмоток

По схемам замещения составлены уравнения: по электрической — уравнения (1) и (2) по заданным направлениям обхода токов, ЭДС и напряжений в I и II контурах, а по магнитной

– уравнение (3) для III направления обхода и система уравнений (4) для контуров I и II (H_0 и B_0 – коэффициенты аппроксимации основной кривой намагничивания).

$$U_{1m} \sin \omega t = w_1 S_1 \frac{dB_1}{dt} + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 \quad (1)$$

$$w_2 S_2 \frac{dB_2}{dt} = i_2 R_2 + U_d + L_{\sigma 2} \frac{di_2}{dt} \quad (2)$$

$$l_1 H_0 \operatorname{sh} \frac{B_1}{B_0} + l_2 H_0 \operatorname{sh} \frac{B_2}{B_0} = w_1 i_1 - w_2 i_2 \quad (3)$$

$$\begin{cases} w_1 i_1 = \Phi_1 R_{\mu 1} + \Phi_{\sigma} R_{\sigma}; \\ w_2 i_2 = \Phi_2 R_{\mu 2} + \Phi_{\sigma} R_{\sigma} \end{cases} \quad (4)$$

После дифференцирования уравнения (3) и уравнения, полученного после решения системы уравнений (4), учитывая первые два уравнения, получаем систему исходных уравнений для расчетов:

$$\begin{cases} u_m \sin \omega t = w_1 S_1 \frac{dB_1}{dt} + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + R_1 i_1 \\ w_2 S_2 \frac{dB_2}{dt} + i_2 (R_2 + R_n) + (L_{\sigma 1} + L_n) \frac{di_2}{dt} \\ \frac{l_1 H_0}{B_0} \frac{dB_1}{dt} \operatorname{ch} \frac{B_1}{B_0} + \frac{l_2 H_0}{B_0} \frac{dB_2}{dt} \operatorname{ch} \frac{B_2}{B_0} = w_1 \frac{di_1}{dt} - w_2 \frac{di_2}{dt} \\ \frac{dB_1}{dt} (S_1 + \frac{l_1 H_0}{2R_{\sigma} B_0} \operatorname{ch} \frac{B_1}{B_0}) - \frac{di_1}{dt} \frac{w_1}{2R_{\sigma}} - \frac{di_2}{dt} \frac{w_2}{2R_{\sigma}} - \frac{dB_2}{dt} (\frac{l_2 H_0}{2R_{\sigma} B_0} \operatorname{ch} \frac{B_2}{B_0} + S_2) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (5) решается в программной среде QuickBasic. Мгновенное значение намагничивающего тока определяется разницей между мгновенными значениями первичного $i_1(t)$ и приведенного вторичного $i'_2(t)$ токов. Для каждого шага времени в периоде определяются мгновенные значения токов и индукций методом Рунге-Кутты 4 порядка.

С помощью данного математического аппарата были смоделированы два силовых понижающих трансформатора, применяющихся на объектах военной инфраструктуры: ТМ-630/10 и ТСЗ-1600/10. Первичные обмотки у трансформаторов расположены стандартно (питающая обмотка концентрическая наружная).

В ходе расчетов моделировались режим номинальной нагрузки для исходной конструкции трансформаторов и для предлагаемой конструкции (рис. 5). Увеличение сечения в области размещения первичной обмотки было подобрано таким, чтобы уравнивать магнитные индукции по всей длине магнитопровода. Расчёт магнитных потерь выполнен по полученным в ходе моделирования значениям намагничивающего тока (I_{μ}) с учётом квадратичной

зависимости магнитных потерь от величины магнитной индукции. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета намагничивающего тока, магнитных потерь и сечения магнитопровода под первичной обмоткой в трансформаторах ТСЗ-1600/10 и ТМ-630/10

Силовой трансформатор	Режим номинальной нагрузки при исходной конструкции		Увеличение сечения магнитопровода	Режим номинальной нагрузки, конструкция с предлагаемыми решениями (рис. 5)	
	I_μ , А	ΔP_m , Вт		I_μ , А	ΔP_m , Вт
ТСЗ-1600/10	0,269	863,68	14,6	0,260	808,41
ТМ-630/10	0,343	475,74	16,9	0,330	439,10

Таким образом, ориентировочное снижение магнитных потерь в режиме номинальной нагрузки в силовых трансформаторах ТСЗ-1600/10 и ТМ-630/10 с предлагаемыми конструктивными решениями составит 6,4% и 7,7% соответственно. При этом экономия электроэнергии за год на одном трансформаторе указанных типов – 484 и 320 кВтч/год соответственно. С учетом наличия на объектах военной инфраструктуры большого количества силовых трансформаторов, эффект от внедрения предлагаемых решений может быть значительным.

Выводы:

1. При работе трансформатора с концентрическими обмотками под нагрузкой взаимное расположение первичной и вторичной обмоток относительно магнитопровода определяет различное насыщение отдельных участков магнитопровода.
2. В области расположения первичной обмотки (там, где поток рассеяния этой обмотки проходит по участку магнитопровода) магнитная индукция определяется величиной действующего значения первичного напряжения;
3. В области расположения вторичной обмотки (там, где поток рассеяния вторичной обмотки замыкается по магнитопроводу) магнитная индукция определяется величиной действующего значения вторичного напряжения;
4. Магнитная индукция в области расположения вторичной обмотки в режиме номинальной нагрузки снижается на величину напряжения короткого замыкания. Таким

образом, магнитная индукция в магнитопроводе различается на отдельных участках магнитопровода: в области первичной обмотки - выше, а под вторичной обмоткой ниже.

5. Произведены измерения, для трансформаторов с различным расположением обмоток с целью выявить в каком случае зона повышенной магнитной индукции наиболее короткая (это определит меньшее значение намагничивающего тока и потерь в стали).

6. Наиболее неблагоприятный результат у трансформатора с concentрическими обмотками и внешней первичной обмоткой, именно такое расположение обмоток применяют в силовых трансформаторах.

7. Существенно лучше распределение магнитной индукции по магнитопроводу у трансформатора с concentрическими обмотками, с первичной ближней к магнитопроводу. Следует отметить, что участок влияния первичной обмотки относительно короткий и наибольшая магнитная индукция будет именно в середине участка. Именно в середине этого участка имеет место наибольшее насыщение магнитопровода, что с учётом его нелинейной характеристики может служить серьёзным препятствием магнитному полю.

8. Возможно исключить область с повышенной магнитной индукцией, если выполнить магнитопровод с переменным сечением, увеличенным в области расположения первичной обмотки. В этом случае магнитные потери при работе трансформатора под нагрузкой будут наименьшими. Данный вариант размещения обмоток и формы магнитопровода наиболее предпочтителен. Предположение подтверждено моделированием.

Список литературы:

1. Методическое руководство по обеспечению в Министерстве Обороны Российской Федерации, подведомственных организациях и воинских частях энергосбережения и повышения энергетической эффективности, утверждено Заместителем Министра обороны в 2014 г.;

2. Гуков Д.В., Загуляев С.Д. Снижение магнитных потерь трехфазного трансформатора с помощью дискового исполнения обмоток и делением вторичной пополам // Промышленная энергетика. – 2019. - № 1. – с. 33-37.

3. Гуков Д.В., Загуляев С.Д., Иванов С.М. Влияние максимального значения магнитной индукции на степень снижения намагничивающего тока силовых трансформаторов под нагрузкой // IV межвузовская научно-практическая конференция «Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях»: Труды конференции, Том 2 – СПб.: ВАС, 2019. – С. 88-92.

4. Раскрытие информации АО «Оборонэнерго» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://oboronenergo.su/documents/disclosure-of-information/> (дата обращения: 10.09.2019).

5. Гуков Д.В., Загуляев С.Д., Иванов С.М. Уточненная математическая модель силового трансформатора для расчета намагничивающего тока под нагрузкой // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. – 2019. – Выпуск 669. – с. 196-202.

Е.Л. Филинков, А.В. Попов, Р.В. Волокушин, А.Д. Карпов

E.L. Filinkov, A.V. Popov, R.V. Volokushin, A.D. Karpov

Устройство экспресс-диагностирования турбокомпрессоров дизельного двигателя

Device for rapid diagnostics of diesel engine turbochargers

Аннотация:

В статье рассмотрено устройство, применение которого при контроле технического состояния элементов системы газотурбинного наддува дизельного двигателя, направлено на объективное определение их технического состояния, путем осуществления экспресс-диагностирования.

Abstract:

The article considers the device that is used in the implementation of control of the technical condition of the elements of the gas turbine supercharging system of diesel fuel engine, aimed at on objective determination of the technical condition, through the implementation of rapid diagnostics.

Ключевые слова: турбокомпрессор, дизельный двигатель, техническое диагностирование, техническое состояние, устройство.

Key words: turbocharger, diesel engine, technical diagnostics, technical condition, device.

В Вооруженных Силах Российской Федерации широко применяется автомобильная техника, в том числе и автомобильные базовые шасси (АБШ). Для обеспечения их высокой надежности на протяжении всех стадий жизненных циклов, необходимо качественное проведение мероприятий по их техническому обслуживанию [1, 2]. Одним из направлений технического обслуживания АБШ является проведение технического диагностирования [3]. Наиболее эффективными в условиях проведения технического обслуживания АБШ в парке воинской части является применение мобильных средств технического диагностирования. Учитывая условия ограниченного времени на проведение технического обслуживания АБШ, а также стремление к минимизации трудозатрат при его проведении, актуальным является развитие различных методик с применением специальных устройств, позволяющих проводить экспресс-диагностирование систем, узлов и агрегатов АБШ [3].

Одним из важных направлений технического диагностирования является контроль технического состояния системы газотурбинного наддува, а в частности турбокомпрессоров [4]. Это связано с тем, что в настоящее время применение газотурбинного наддува является общепринятым способом повышения мощностных характеристик двигателя внутреннего

сгорания [5]. Из проведенного анализа парка автомобильной техники Вооруженных Сил Российской Федерации следует, что значительная часть АБШ комплектуются силовыми установками с газотурбинным наддувом [6].

Из проведенного анализа технической документации следует, что в настоящее время при проведении технического обслуживания системы газотурбинного наддува, в том числе турбокомпрессоров двигателей АБШ, применение специальных мобильных устройств технического диагностирования не предусмотрено [6, 7, 8]. Все проверки технического состояния системы газотурбинного наддува предполагают применение органолептических методов, частичную разборку элементов турбокомпрессоров или их демонтаж с двигателя [9]. Такое техническое диагностирование имеет субъективный характер и влечет за собой определенные трудозатраты, связанные с выполнением работ по демонтажу турбокомпрессоров или разборке их отдельных элементов.

Из проведенного анализа неисправностей, возникающих в турбокомпрессорах системы газотурбинного наддува двигателя, сформировано противоречие, которое заключается в изменении параметров наддува турбокомпрессоров двигателя при эксплуатации и отсутствии объективных методов и устройств их технического диагностирования.

В целях решения сформированного противоречия, а также поддержания АБШ, применяемых под монтаж и для транспортирования ВВСТ, в готовности к использованию (боевому применению), за счет обеспечения стабильных (номинальных) мощностных показателей двигателя было разработано устройство экспресс-диагностирования синхронных турбокомпрессоров двигателя (далее устройство).

На основании обозначенных требований и проведенного анализа в качестве диагностических параметров контроля технического состояния турбокомпрессоров, доступных для контроля непосредственно на двигателе АБШ, были выбраны давление и температура наддувочного воздуха после компрессорной части турбокомпрессора, а также температура отработавших газов перед турбиной [10]. На основании выбранных диагностических параметров был проведен подбор конструктивных элементов для реализации устройства.

В качестве датчика давления наддувочного воздуха после компрессорной части турбокомпрессора был использован высокоточный датчик давления газа MPXHZ6400AC6T1, пьезорезисторный преобразователь на базе монолитного кремневого сенсора. В соответствии с требованиями технической документации подключение датчика к блок-модулю обработки и преобразования сигналов осуществлялось по схеме, указанной на рисунке 1.

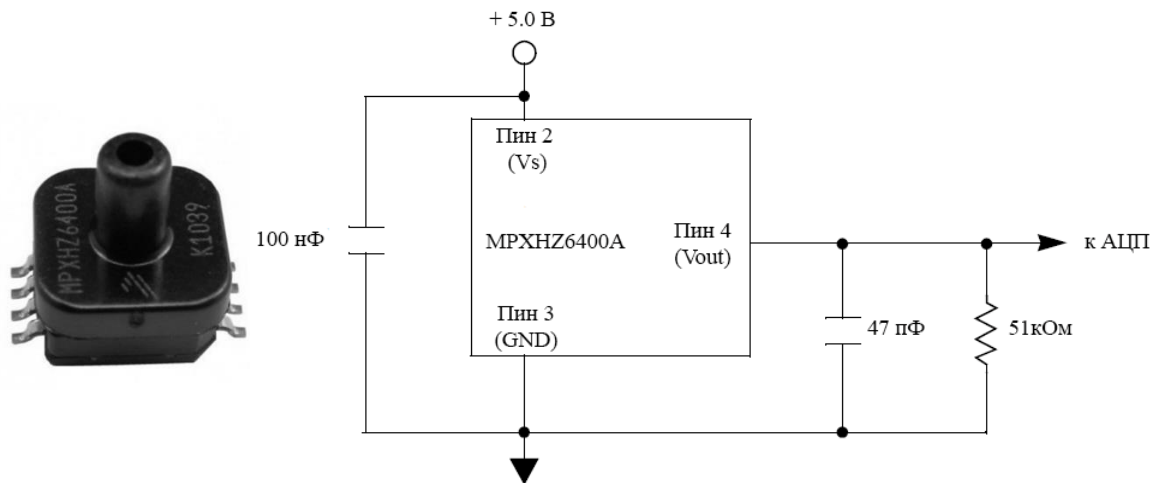


Рис. 1. Датчик давления газа MPXHZ6400AC6T1 и схема его подключения.

Для измерения температуры наддувочного воздуха после компрессорной части турбокомпрессора был использован датчик (цифровой измеритель температуры) DS18B20. В соответствии с требованиями технической документации подключение датчика к блоку модулю обработки и преобразования сигналов осуществлялось по схеме, указанной на рисунке 2.

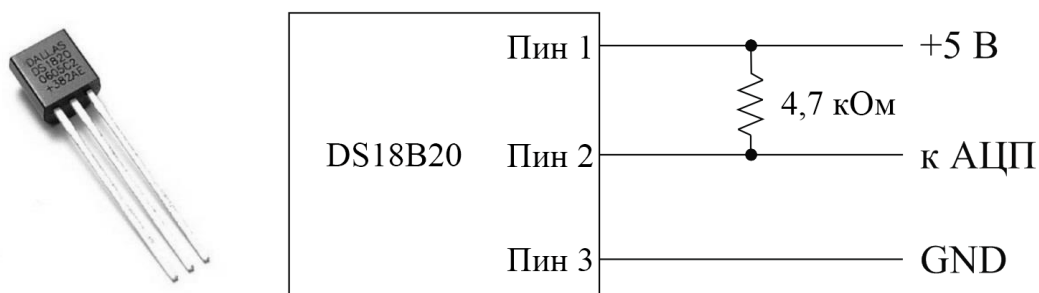


Рис. 2. Датчик температуры DS18B20 и схема его подключения.



Рис. 3. Датчик температуры MAX6675 с АЦП.

Для измерения температуры корпуса турбины турбокомпрессора использовался датчик температуры (термопара) MAX6675 в комплекте с 12-разрядным аналогово-цифровым преобразователем (АЦП) на микросхеме MAX6675 АЦП, рисунок 3.

Для измерения давления газов в картере двигателя применялся датчик давления BMP280, рисунок 4.

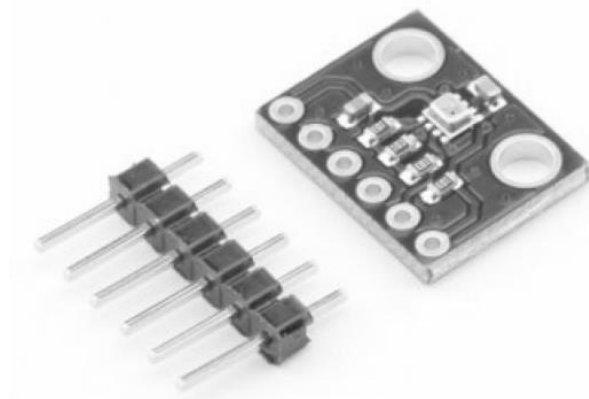


Рис. 4. Датчик давления BMP280

В качестве блок-модуля обработки и преобразования сигналов использовался контроллер Arduino Uno micro USB, рисунок 5.

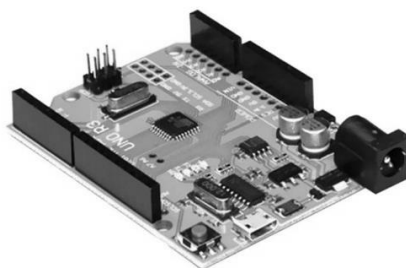


Рис. 5 – Контроллер Arduino Uno micro USB.

Плата контроллера основана на микроконтроллере ATmega 328. Настоящий контроллер имеет 14 цифровых и 8 аналоговых выходов. Наличие такого количества выходов обеспечило возможность одновременного подключения нескольких измерительных датчиков, с обработкой, за короткий временной промежуток, получаемых от них сигналов.

Подключение измерительных датчиков к контроллеру осуществлялось при помощи монтажного провода 30 AWG (диаметр 0,5 мм, медный сердечник 0,25 мм) и штекерных соединений, состоящих из штыревых и розеточных частей. На рисунке 6 показана схема подключения измерительных датчиков к контроллеру.

Блок-модуль обработки и преобразования сигналов (контроллер) подключается к устройству вывода информации (ноутбуку) при помощи micro USB дата-кабеля через COM-порт.

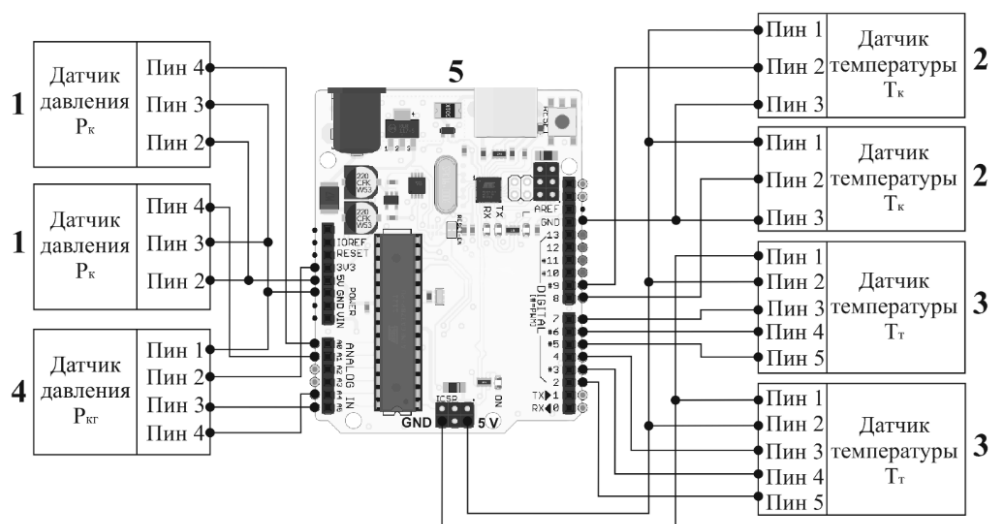


Рис. 6. Схема подключения измерительных датчиков к контроллеру:

1 — датчик давления наддувочного воздуха; 2 — датчик температуры наддувочного воздуха; 3 — датчик температуры корпуса турбины ТК; 4 — датчик давления газов в картере двигателя; 5 — контроллер.

Для размещения датчиков давления и температуры наддувочного воздуха после компрессорной части турбокомпрессора был разработан адаптивный блок, рисунок 7. Конструкция адаптивного блока обеспечивает возможность его крепления на месте крепления соединительного рукава (резиновой манжеты), размещенного между турбокомпрессором и воздухопроводом, с размещением измерительных датчиков непосредственно в воздуховоде после компрессорной части.



Рис. 7. Адаптивный блок с датчиками MPXHZ6400AC6T1 и DS18B20.

Для измерения давления газов в картере двигателя датчик давления был установлен в крышке маслозаливной горловины двигателя, рисунок 8.

Датчик измерения температуры корпуса турбины турбокомпрессора крепился при помощи втулки с внутренней резьбой и магнитным основанием.

Разработанное устройство предназначено для проведения экспресс-диагностирования как одного, так и нескольких турбокомпрессоров, установленных на двигателе, и работает следующим образом.

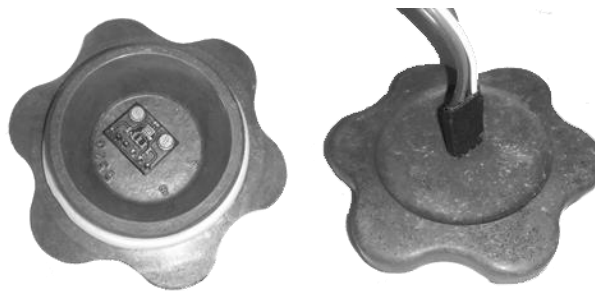


Рис. 8. Крышка маслозаливной горловины с датчиком давления BMP280.

На устройстве ввода информации по средствам установленного прикладного программного обеспечения вводятся эталонные максимально допустимые параметры давления и температуры воздуха после компрессорных частей, температуры корпусов турбинных частей турбокомпрессора, давления газов в картере двигателя (в зависимости от модификации двигателя, на котором установлены синхронные (параллельные) турбокомпрессоры).

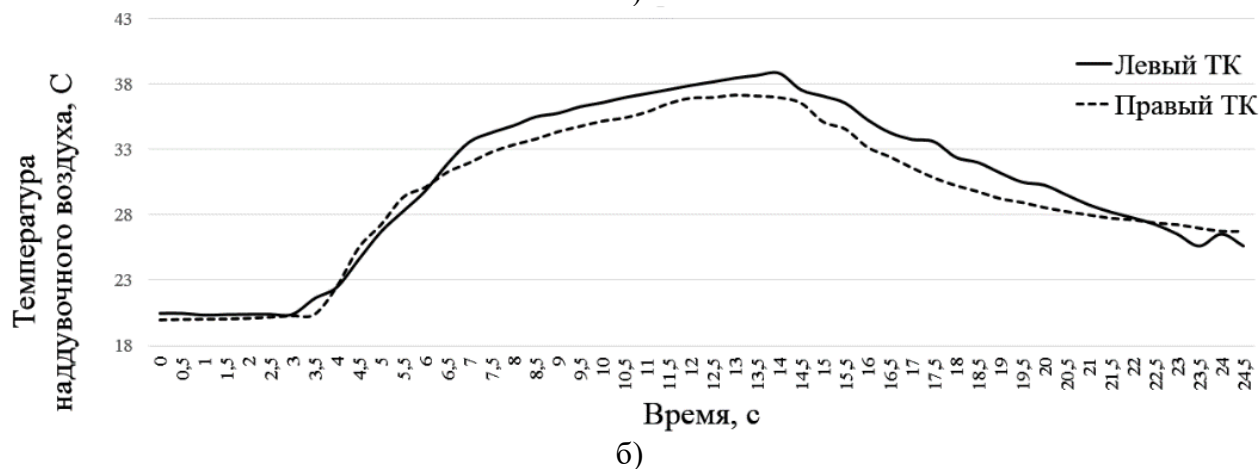
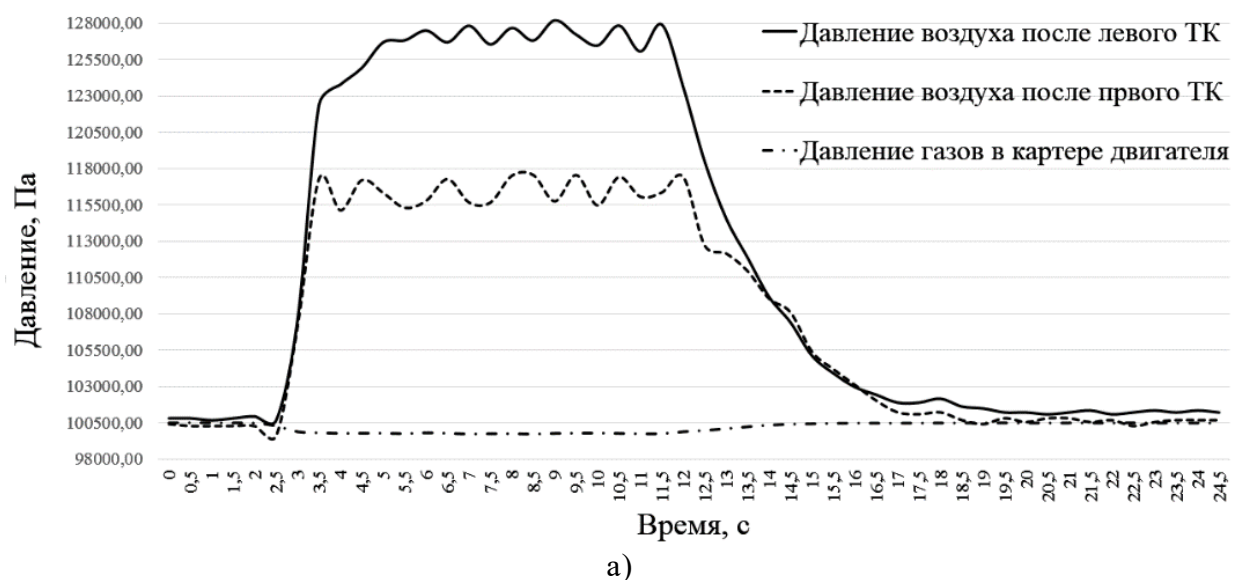
Производится демонтаж соединительных рукавов (резиновых манжет), размещенных между турбокомпрессорами и воздуховодами со стороны охладителя наддувочного воздуха. На место соединительных рукавов устанавливаются два быстросъемных адаптивных блока с комплектами датчиков измерения контролируемых параметров. На турбинных частях турбокомпрессоров устанавливаются датчики температуры. Вместо штатной крышки маслозаливной горловины двигателя устанавливается крышка с датчиком давления газов в картере двигателя. В целях исключения гидравлических потерь, связанных с сопротивлением воздуха в системе питания двигателя воздухом, демонтируется воздушный фильтр. Блок-модуль обработки и преобразования сигналов от измерительных датчиков подключается к устройству ввода информации, на котором запускается прикладное программное обеспечение, позволяющее визуально отображать величины измеряемых параметров наддува.

Производится пуск двигателя, в результате чего турбокомпрессоры начинают нагнетать воздух в цилиндры двигателя внутреннего сгорания. Устанавливается необходимая частота вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания. Сигналы с датчиков поступают на блок-модуль обработки и преобразования сигналов от измерительных датчиков. После чего информация поступает на устройство вывода информации, где с помощью установленного прикладного программного обеспечения информация обрабатывается и по средствам специального интерфейса визуально отображается на экране устройства вывода информации для сравнения контролируемых параметров, диагностируемых

турбокомпрессоров, с ранее введенными предельно допустимыми величинами эталонных параметров наддува.

Предлагаемое устройство обеспечивает оперативное проведение экспресс-диагностики непосредственно на АБШ с помощью визуализации и регистрации промежуточных и результирующих данных, что позволяет определить техническое состояние синхронных (параллельных) турбокомпрессоров, сделать заключение о возможности (невозможности) их дальнейшей эксплуатации, исключает проведение операций по ненужному демонтажу работоспособных турбокомпрессоров. Вследствие чего возможно снизить число unplanned ремонтов и повысить эффективность работы турбокомпрессоров.

Апробация разработанного устройства проводилась на дизельном двигателе автомобиля семейства «Мустанг» КАМАЗ-53501. На рисунке 9 изображены графики изменения контролируемых параметров, с заданным темпом, частоты вращения коленчатого вала двигателя ($n_{кв}$) с минимально допустимых ($600 \pm 20 \text{ мин}^{-1}$) до максимально допустимых ($2530_{-80} \text{ мин}^{-1}$) и обратно, при работе двигателя без нагрузки.



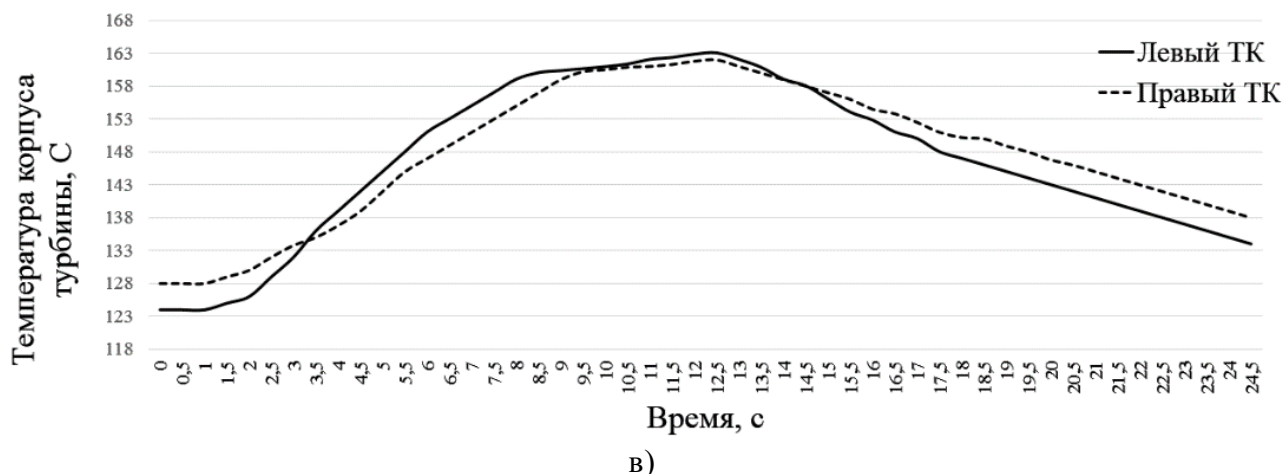


Рис. 9. Графики изменения контролируемых параметров: а – график изменения давления наддувочного воздуха после турбокомпрессоров и давления газов в картере двигателя; б – график изменения температуры наддувочного воздуха после турбокомпрессоров; в – график изменения температуры корпусов турбин.

Испытания разработанного устройства показали удовлетворительные результаты. В ходе проведения испытаний было проведено измерение давления (P_k) и температуры (T_k) наддувочного воздуха после компрессорных частей, температуры отработавших газов (T_t) перед турбинными частями испытуемых турбокомпрессоров, а также время стабилизации давления наддувочного воздуха при переходе с минимально допустимых ($600 \pm 20 \text{ мин}^{-1}$) до максимально допустимых ($2530_{-80} \text{ мин}^{-1}$) (Δt_1) и обратно (Δt_2). В целях исключения потери мощности на турбине, в результате нарушения уплотнений цилиндропоршневой группы и уменьшении расхода отработавших газов через турбину, дополнительно проводилось измерение давления газов в картере двигателя ($P_{кг}$). Результаты полученных измерений указаны в таблице 1.

Таблица 1

Значения контролируемых параметров, полученных при испытании устройства

№ п/п	Турбокомпрессор	$n_{кв}, \text{мин}^{-1}$	$P_{кг}, \text{Па}$	$P_k, \text{Па}$	$T_k, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$\Delta t_1, \text{с}$	$\Delta t_2, \text{с}$
1	Левый ТК	600 ± 20	100824	100512	20	124	3,5	9,5
		2530_{-80}	100061	127811	38	162		
2	Правый ТК	600 ± 20	100824	100506	20	128	2	7,5
		2530_{-80}	100061	117174	37	162		

Таким образом использование полученных данных при реализации методик технического диагностирования с применением сопутствующего программного обеспечения представляет возможность проведения экспресс-диагностирования турбокомпрессоров и цилиндропоршневой группы дизельного двигателя, а также определения возможности их дальнейшей безаварийной эксплуатации турбокомпрессоров, либо прогнозирования мощностных потерь двигателя АБШ в зависимости от её пробега.

Список литературы:

1. Калявин В.П., Давыдов Н.А. Надежность и диагностика автотранспортных средств: монография – Санкт-Петербург: Элмор, 2014. – 480 с.
2. Степанов Ю.А. Научные основы и методология совершенствования эксплуатационных свойств военной автомобильной и бронетанковой техники: монография – Санкт-Петербург: ВА МТО, 2015. – 340 с.
3. Техническая диагностика. Термины и определения. ГОСТ 20911-89. – М. Стандартиформ, 2009, – с. 11.
4. Надежность в технике. Термины и определения. ГОСТ 27002-82015. – М. Стандартиформ, 2018, – с. 24.
5. Бурячко В.Р., Гук А.В. Автомобильные двигатели: Рабочие циклы. Показатели и характеристики. Методы повышения эффективности энергопреобразования – Санкт-Петербург: НПИЦК, 2005. – 292 с.
6. Типаж военной автомобильной техники для Вооруженных Сил Российской Федерации на 2011-2020 годы: Книга 1 – М.: ГАБТУ, 2014. – 18 с.
7. Руководство по эксплуатации автомобилей семейства «Мустанг»: Руководство по эксплуатации – М.: ГАБТУ, 2006. – 488 с.
8. Седельный тягач УРАЛ-6470: Руководство по эксплуатации – Миасс: УРАЛАЗ, 2007. – 167 с.
9. Ленденбургский В.В., Иншаков А.П., Курбаков И.И. Совершенствование диагностирования турбокомпрессоров двигателей мобильной техники: монография – Пенза: ПГАСУ, 2015. – 196 с.
10. Попов А.В., Филинков Е.Л. Параметры наддува радиального турбокомпрессора и их информативность для оценки его технического состояния // Открытый сборник 1-й межведомственной научно-практической конференции «Актуальные вопросы перспективы направления применения вооружения, военной и специальной техники». – Санкт-Петербург: ООО Медиапир, 2019. – С. 217-222.

Методика формирования комплектов автомобильного имущества для проведения технического обслуживания автомобильной техники территориальных органов войск национальной гвардии

Methodology for the formation of sets of automobile property for performing maintenance of automobile equipment of territorial bodies of the National Guard troops

Аннотация:

В данной статье предлагается методика, способствующая повышению эффективности обеспечения автомобильным имуществом подразделений войск национальной гвардии за счёт формирования комплектов автомобильного имущества для проведения технического обслуживания автомобильной техники.

Abstract:

This article proposes a methodology that contributes to increasing the efficiency of the provision of automobile property to units of the National Guard forces by forming sets of automobile property for carrying out maintenance of automobile equipment.

Ключевые слова: *обеспечение, автомобильное имущество, комплект, техническое обслуживание, моторесурс, запасные части.*

Keywords: *provision, automobile property, set, maintenance, motor resource, spare parts.*

В существующей системе обеспечения автомобильным имуществом (АИ) войск национальной гвардии РФ запасные части для каждого вида технического обслуживания (ТО) определяются перечнем отдельных номенклатур применительно к конкретной марке автомобильной техники (АТ), не сформированных в виде комплекта, что усложняет процесс планирования и определения потребности в автомобильном имуществе. Указанный проблемный вопрос может решить разработка методики формирования комплектов АИ для проведения ТО АТ (комплектов) войск национальной гвардии [1].

Комплект автомобильного имущества предназначен для обеспечения запасными частями при выполнении операций плановых видов ТО группы образцов АТ одной марки силами ремонтных органов воинской части (организации) в течение календарного года. [2].

Комплект должен соответствовать следующим требованиям [3]:

по своему назначению обеспечивать выполнение ТО группы машин одной марки в количестве 6-8 единиц с малым объемом работ (до 15 чел.-ч) в течение календарного года силами ремонтных органов с привлечением водителей;

обеспечивать потребность в АИ для полного и своевременного проведения мероприятий ТО АТ в соответствии с перечнем и периодичностью, установленной технической документацией, в течение календарного года;

в состав комплекта должны включаться запасные части и материалы, рекомендуемые заводом-изготовителем, перечень которых указан в руководстве по эксплуатации автомобиля;

полученный номенклатурный перечень имущества соответствует технологическим возможностям ремонтных органов, из перечня исключаются крупногабаритные запасные части;

комплекты должны быть применимы также в малочисленных подразделениях, действующих автономно.

Процесс формирования комплектов для проведения ТО (перечня номенклатуры АИ и его количества) осуществляется в 3 этапа.

1 Этап. Определение входных параметров для формирования комплекта АИ.

Для упрощения понимания объёма данных о множестве запасных частей, используемых для выполнения операций ТО АТ всех основных марок территориальных органов войск национальной гвардии, применяя метод кластерного анализа, производится разбиение всего множества запасных частей на однородные группы по схожим признакам, учитывающих функциональное предназначение элементов, что в дальнейшем даёт возможность упростить обработку данных при принятии решения на обеспечение АИ и формировании комплектов АИ [4,5].

Входной информацией для формирования комплектов для проведения ТО АТ являются:

i – индекс марочного состава АТ парка организации;

j – индекс наименования запасных частей, необходимых для проведения ТО образца АТ;

$S_i^{ГН}$ – годовой нормируемый расход моторесурса машин i -ой марки, км;

μ_j – интервал замены запасной части j -го наименования в соответствии с документацией завода-изготовителя, км;

Z_i – возможность комплекта (количество АТ i -ой марки, для которой разрабатывается комплект, в зависимости от особенностей её оперативно-служебного применения), ед.

На данном этапе для выбора запасных частей j и определения периодичности их замены μ_j изучаются требования эксплуатационной документации завода-изготовителя.

Для определения годового нормируемого расхода моторесурса автомобильной техники $S_i^{ГН}$ изучаются требования руководящих документов, устанавливающих данную норму.

Для определения возможности комплекта Z_i учитываются характер оперативно-

служебного применения подразделений. Максимальной эффективности при поддержании АТ в готовности к применению следует ожидать в результате применения комплектов АИ в подразделениях, дислоцирующихся на удалённом расстоянии от обеспечивающего органа с целью возможности оперативного проведения мероприятий по обслуживанию образцов АТ. Возможность комплекта должна соответствовать показателю средней численности образцов АТ малочисленных автономных подразделений [6]:

$$Z_i = \overline{R_n} = \frac{1}{n} \cdot \sum R_n = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}, \quad (1)$$

где R_n – количество АТ в малочисленном автономном n -ом подразделениях, *ед.*;

n – количество малочисленных автономных подразделений.

2 этап. Расчет состава комплекта по наименованию и количеству запасных частей.

При выполнении операций ТО АТ с разным запасом моторесурса до очередного планового технического обслуживания применяется различная номенклатура запасных частей. Значит при формировании комплекта стоит задача иметь такой состав запасных частей по количеству и наименованию, который бы с наибольшей долей вероятности обеспечил выполнение операций ТО группы образцов АТ с любыми сроками эксплуатации и расходом моторесурса.

Для определения количества запасных частей в комплекте, необходимо определить с какой вероятностью $P(A_j)$ потребуется использование j -ых запасных частей для выполнения операций ТО образцов АТ i -ой марки в количестве Z_i единиц в течение календарного года.

Для определения вероятности использования запасных частей j -го наименования применяется классическая теория вероятностей [7]:

$$P(A_{ij}) = \frac{N(A_{ij})}{N}, \quad (2)$$

где A_{ij} – событие, при наступлении которого на образце АТ i -ой марки должны выполняться операции ТО с использованием запасной части j -го наименования;

$N(A_{ij})$ – число благоприятных исходов события A_{ij} ;

N – число всех возможных событий A_{ij} .

Для упрощения представления о распределении величины годового пробега образцов АТ рассмотрим гистограмму, на которой вдоль горизонтальной оси изображены линии величины расхода моторесурса с начала эксплуатации образцов АТ марки $i1, i2, i3$, на которых нанесены отрезки, числовые значения которых отображают интервал годового пробега

рассматриваемых образцов:

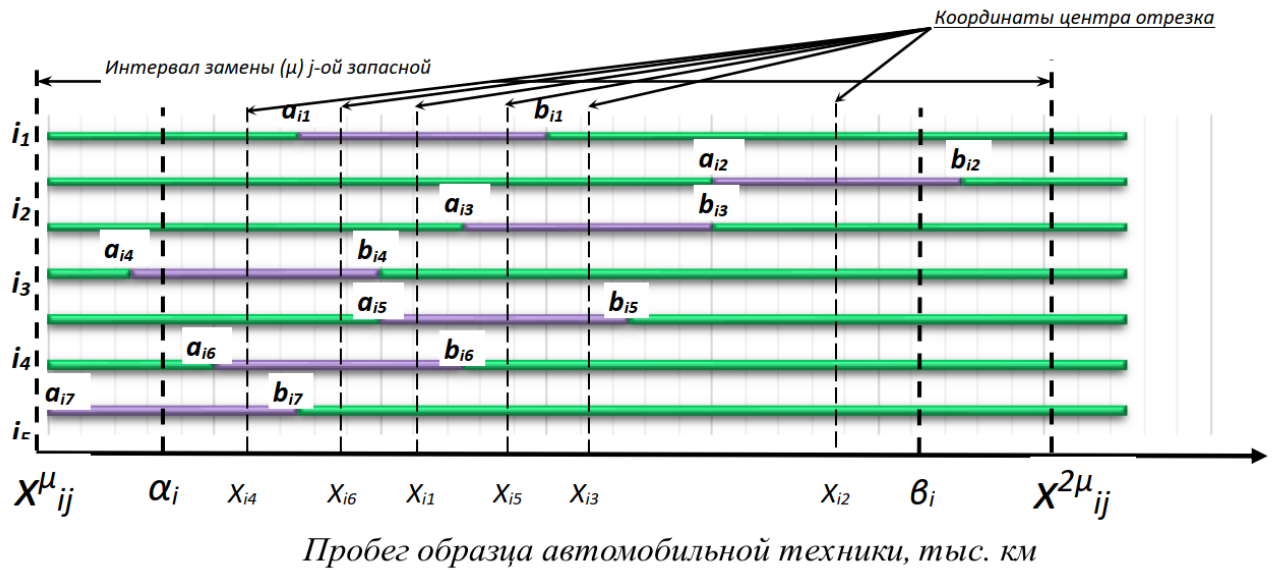


Рис. 1 – Гистограмма распределении величины годового пробега образцов автомобильной техники

Пусть x_{ij}^μ – величина пробега образца АТ i -ой марки с начала эксплуатации, при котором должны выполняться операции технического обслуживания с использованием запасной части j -го наименования, км;

a_i – величина пробега образца АТ i -ой марки в начале года, км;

b_i – величина пробега образца АТ i -ой марки в конце года, км;

X_i – координаты середины отрезка $[a_i; b_i]$. Длина отрезка $[a_i; b_i]$ численно равна годовому нормируемому расходу моторесурса машин i -ой марки S_i^{FH} .

Условимся для определённости, что если величина X_i принимает значение, заключённое в некоторых пределах от α_{ij} до β_{ij} , то операции ТО с использованием запасной части j -го наименования не должны выполняться. Тогда вероятность попадания случайной величины X_i на заданный участок равна приращению функции распределения на этом участке [7]:

$$P(\alpha_{ij} < X_i < \beta_{ij}) = \int_{\alpha_{ij}}^{\beta_{ij}} f(x) dx = F(\beta_{ij}) - F(\alpha_{ij}), \quad (3)$$

где $f(x)dx$ – элемент вероятности $P(\alpha_{ij} < X_i < \beta_{ij})$.

Применяя теорему сложения вероятностей, определяется вероятность события A_{ij} по формуле:

$$P(A_{ij}) = 1 - P(\overline{A_{ij}}) = 1 - P(\alpha_{ij} < X_i < \beta_{ij}) = 1 - (F(\beta_{ij}) - F(\alpha_{ij})). \quad (4)$$

Значение α_{ij} предела величины пробега образца автомобильной техники рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{ij} = x_{ij}^{\mu_q} + \frac{S_i^{\Gamma\Phi}}{2}, \quad (5)$$

где $S_i^{\Gamma H}$ – величина предполагаемого годового фактического расхода моторесурса образца АТ i -ой марки, км.

Значение β_{ij} предела величины пробега образца АТ рассчитывается по формуле:

$$\beta_{ij} = x_{ij}^{\mu_{q+1}} - \frac{S_i^{\Gamma\Phi}}{2}. \quad (6)$$

Функция распределения непрерывной случайной величины X_i задана выражением:

$$F(x) = x_{a_i} + \frac{S_i^{\Gamma\Phi}}{2}, \quad (7)$$

где x_{a_i} – величина пробега образца АТ i -ой марки в начале года, км.

Значение величины $S_i^{\Gamma H}$ предполагаемого годового фактического расхода моторесурса образца АТ i -ой марки рассчитывается в зависимости от условий оперативно-служебного применения подразделений территориального органа войск национальной гвардии по формуле [3,8,9]:

$$S_i^{\Gamma\Phi} = k_{\Phi O C \Pi} \cdot S_i^{\Gamma H}, \quad (8)$$

где $k_{\Phi O C \Pi}$ – коэффициент фактора оперативно-служебного применения, который определяется в зависимости от условий выполнения задач подразделениями территориального органа войск национальной гвардии РФ.

Таким образом, вероятность события A_{ij} , при котором запасные части j -го наименования должны быть использованы при выполнении операций технического обслуживания образца автомобильной техники i -ой марки зависит от величины годового нормированного расхода моторесурса машин i -ой марки $S_i^{\Gamma H}$, интервала замены запасной части j -го наименования в соответствии с документацией завода-изготовителя μ_j и условий выполнения оперативно-служебных задач подразделениями территориального органа войск национальной гвардии.

Количество запасных частей j -го наименования в комплекте $W_{ij}^{3\chi}$ определяется с учётом вероятности их замены $P(A_{ij})$ и количеству образцов FN Z_i , обеспеченных этим комплектом, по формуле:

$$W_{ij}^{3\chi} = P(A_{ij}) \cdot W_{ij}^Z, \quad (9)$$

где W_{ij}^Z – количество запасных частей j -го наименования, необходимых для обслуживания всех образцов АТ i -ой марки в количестве Z_i единиц при максимальной вероятности их замены $P(A_{ij})$ равной 1, шт.

Общий объём запасных частей W_i^{KT} , входящих в состав комплекта для автомобильной техники i -ой марки, определяется как совокупность запасных частей всех наименования W_{ij}^{34} , необходимых для проведения обслуживания в соответствии с эксплуатационной документацией.

Этап 3. Определение требуемого количества комплектов для проведения ТО АТ на планируемый период.

Требуемое количество комплектов для АТ i -ой марки рассчитывается по формуле:

$$D_i = \frac{M_i}{Z_i}, \quad (10)$$

где M_i – количество АТ i -ой марки в подразделении, *ед.*;

Z_i – возможности комплекта (количество АТ, проведение ТО которой обеспечивается комплектом), *ед.*

Выходным документом в результате формирования комплекта будет являться ведомость количественного и качественного состава запасных частей в комплекте для i -ой марки АТ.

Обеспечение территориальных органов войск национальной гвардии РФ комплектами АИ для проведения ТО АТ следует осуществлять централизованными закупками и поставками в необходимых объёмах на более длительную перспективу, например, на трехлетний период и более. За счёт формирования и внедрения комплектов в систему обеспечения АИ, их централизованной закупке и поставки, возможно повысить оперативную эффективность организации АТО в территориальных органах войск национальной гвардии РФ. При осуществлении централизованной закупки АИ в комплектах фактическая нагрузка на должностное лицо органа управления АТО территориального органа снижается на величину трудоёмкости выполнения процедуры электронного аукциона при осуществлении закупки АИ [2].

Для практической реализации предлагаемых научных решений разработана программа [10], позволяющая рассчитать количественно - качественный состав комплектов АИ для проведения ТО основных марок АТ территориальных органов ВНГ РФ по каждой номенклатуре запасных частей, а также оценивать годовую потребность территориального органа в комплектах и обеспеченность в них в процентном соотношении от годовой потребности.

Сущность методики заключается в расчёте комплекта АИ по количественно-качественному составу запасных частей, предназначенного для проведения ТО АТ.

Научная новизна методики, в отличие от существующих, заключается в совершенствовании научно-методического аппарата в области обеспечения АИ,

позволяющего на основе классической теории вероятности произвести расчёт количественно-качественного состава запасных частей для формирования комплекта АИ для проведения ТО АТ с применением современного программного обеспечения «Программа расчёта показателей обеспеченности АИ образцов АТ».

Теоретическая значимость разработанной методики заключается в развитии теоретических положений в области логистики поставок АИ для территориальных органов войск национальной гвардии РФ [4,11,12].

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанной методики и разработанного программного продукта при обеспечении АИ должностными лицами органа управления АТО в системе технического обеспечения войск национальной гвардии РФ.

Таким образом, применение методики формирования комплектов АИ для проведения ТО АТ территориальных органов ВНГ РФ позволит:

осуществлять централизованную закупку и заблаговременную поставку в территориальные органы войск национальной гвардии РФ АИ в виде комплектов в объёмах, соответствующих требуемому периоду эксплуатации АТ;

повысить оперативную эффективность работы должностных лиц АТО территориального органа войск национальной гвардии РФ путём снижения трудоёмкости процесса организации обеспечения АИ за счёт уменьшения количества времени, затрачиваемого непосредственно на участие должностных лиц территориального органа в закупке АИ для проведения ТО АТ и оценке обеспеченности указанным имуществом;

сократить время на определение потребности и обобщение информации при подаче и сборе заявок на АИ;

обеспечить требуемую укомплектованность подразделений АИ для своевременного проведения ТО АТ, что способствует повышению уровня готовности территориальных органов войск национальной гвардии РФ к выполнению задач;

обеспечить экономию денежных средств Федерального бюджета на осуществление закупочной деятельности АИ должностными лицами непосредственно в территориальных органах субъектов РФ за счёт осуществления централизованных закупок и поставок комплектов АИ на длительную перспективу (например, на трехлетний период и более) и исключения влияния инфляции на рост стоимости АИ.

Список литературы:

1. Ефремов В.В. Эксплуатация автомобильной техники: учебник / В.В. Ефремов, А.В. Крайнюков, В.М. Подчинок – Рязань: РВВДКУ, 2016. – 398 с.
2. Дубовский В.А. Сетевая модель планирования и управления процессами жизненного цикла вооружения и военной техники: процедура построения и реализации/

Дубовский В.А., Курбанов А.Х., Плотников В.А. // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук № 3, 2020.

3. Постановление Правительства РФ от 20 января 2017 года № 41 «О материально-техническом обеспечении войск национальной гвардии Российской Федерации». – М.: КонсультантПлюс, 2017. – 3 с.

4. Уемов, А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уемов. – М.: «Мысль», 1972. – 272 с.

5. Стативка В.С. Основы научных исследований в управлении материально-техническим обеспечением войск: учебник / В.С. Стативка, С.Г. Дубинин, В.Г. Назаркин – СПб.: ВАМТО, 2015. – 414 с.

6. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учебник для вузов / Е.Н. Львовский – М.: Высшая школа, 1988. – 157 с.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятности – М.: «Наука», 1969. – 576 с.

8. Указ Президента РФ от 30 сентября 2016 года № 510 «О Федеральной службе войск национальной гвардии Российской Федерации» – М.: КонсультантПлюс, 2016. – 4 с.

9. Федеральный закон от 3 июля 2016 года № 226-ФЗ «О войсках национальной гвардии Российской Федерации»: – М: КонсультантПлюс, 2016. – 5 с.

10. Свидетельство № 2020662271 о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа расчёта показателей обеспеченности имуществом образцов автомобильной техники / Поправко Д.П., Плотников В.А., Терентьев А.С.; заявитель и патентообладатель Поправко Д.П. – № 2020660905; заявл. 22.09.2020; опубл. 09.10.2020, бюл. № 10.

11. Военная логистика: история, методология, современное состояние и перспективы развития / ред. А.Х. Курбанов. – СПб.: Копи-Р Групп, 2014. – 284 с.

12. Алесинская Т.В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления: в 3-х ч. / Т.В. Алесинская. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – 116 с. – 2 ч.

**Определение состояния высоковольтных трансформаторов методом
газоаналитического мониторинга**

Determination of the state of high-voltage transformers by gas-analytical monitoring

***Аннотация:** В работе рассмотрены проблемы определения растворенных газов в трансформаторных маслах в условиях эксплуатации. В качестве аналитической системы предложены полупроводниковые газочувствительные сенсоры, обладающие высокой чувствительностью, необходимой селективностью и стабильностью работы. Показаны примеры использования устройства in-situ (на месте) и проведения измерений концентраций растворенных в маслах веществ в режиме реального времени. Полупроводниковые газочувствительные сенсоры позволяют реализовать разработанные ранее методики Дорненбурга (Dornenburg's method), Мюллера (Muller's method), Роджерса (CEGB/Rogers Ratios), МЭК (IEC 60599) для контроля растворенных в трансформаторных маслах газов.*

***Abstract:** In work problems of definition of gases in solution in transformer oils under operating conditions are considered. As analytical system the semiconductor gas-sensing sensors having high sensitivity, necessary selectivity and stability of work are offered. Examples of use of the in-situ device (in situ) and carrying out measurements of concentration of the substances dissolved in oils in real time are shown. Semiconductor gas-sensing sensors allow to realize the techniques of Dornenburg's method developed earlier, Muller's method, CEGB/Rogers Ratios, MEK (IEC 60599) for monitoring of the gases dissolved in transformer oils.*

***Ключевые слова:** Полупроводниковые газочувствительные сенсоры, трансформаторные масла, селективность, чувствительность.*

***Keywords:** Semiconductor gas-sensing sensors, transformer oils, selectivity, sensitivity.*

Введение

Трансформаторное масло и твердая изоляция в течение срока службы электрооборудования подвержены процессам естественного старения и износа. Большинство трансформаторов имеют герметичный корпус, который исключает попадание влаги и доступ воздуха и, тем не менее, ухудшение параметров масла в них все-таки происходит, хотя достаточно медленно.

Периодичность проведения испытаний зависит от вида анализа, достоверности применяемых методов контроля, наличия информации о возникновении неисправности, а также от проблем, имеющих место для подобных типов трансформаторов [13].

Большинство испытаний состояния трансформаторов основаны на методиках, согласованных с ASTM и включают в себя анализ поверхностного натяжения, температуры застывания, относительной плотности, вязкости, цвета и ряда других физических параметров. Такие параметры, как содержание воды, кислотное число, окисление ингибитора и полихлорированные бифенилы (ПХБ), анализируют с помощью химических тестов или соответствующего аналитического стационарного оборудования.

Подобные испытания могут дать общую информацию о качестве масла, но не позволяют обеспечить углубленную диагностику. Поэтому, разработка методов и методик контроля химических и физических параметров трансформаторов, на сегодняшний день весьма актуальна.

Типичные трансформаторные масла

Важную роль при внедрении новых методов играет системный подход к оценке состояния силовых трансформаторов, при котором оценка состояния базируется на результатах различных измерений и учете конструктивных особенностей диагностируемых объектов, что позволяет повышать достоверность полученных результатов.

Электрические разряды или неэффективное охлаждение изоляции, применяемой в трансформаторах, приводит к ее перегреву и выделения оксида углерода. Как правило, трансформаторы сохраняют большую часть образующихся газов, и, следовательно, можно воспроизвести общую картину износа изоляционных материалов. Изучение относительных состава или отношения присутствующих газов может обеспечить дальнейшее уточнение диагноза по методам Роджерса и Дорненбурга.

К типичным газам, образующимся из минерального масла и целлюлозы (бумаги и картона) в трансформаторах, относятся: водород H_2 , метан CH_4 , этан C_2H_6 , этилен C_2H_4 , ацетилен C_2H_2 , угарный газ CO , углекислый газ CO_2 .

- *Отечественные производители*
- *Масло T-1500У*

Обладает относительно хорошей газостойкостью и стабильностью против окисления, но не отвечает зарубежным требованиям по этим показателям. Содержание серы – не больше 0,3%. Область использования масла T-1500У сходна с T-1500 – электрооборудование напряжением до 500 КВ без дополнительных условий и до 750 КВ после изучения характеристик масла в нейтральной специальной лаборатории.

- *Масло ГК*

Производится с использованием операций гидрокрекинга и каталитической депарафинизации из западносибирских нефтей. Главной особенностью этого масла является то, что оно содержит очень мало сернистых соединений и ароматических углеводородов. Обладает высокими электроизоляционными свойствами, низкой гигроскопичностью, легко обезвоживается и дегазируется.

Стойкость к воздействию кислорода находится на уровне масел зарубежного производства. Это масло имеет относительно низкую устойчивость к воздействию электрического поля высокой напряженности. Основная область применения – электрооборудование напряжением до 1150 КВ. Нежелательно применение масла данной марки в высоковольтных вводах и измерительных трансформаторах тока и напряжения.

- *Масло ТСП*

Получают путем селективной очистки и низкотемпературной депарафинизации из западносибирских нефтей. Характеризуется относительно низким качеством, высоким содержанием серы (до 0,6%), высоким значением тангенса угла диэлектрических потерь, низкой стабильностью против окисления, неудовлетворительной совместимостью с конструкционными материалами, хорошей стойкостью к воздействию электрического поля высокой напряженности. Основная область использования – электрооборудование до 220 КВ включительно.

- *Масло АГК*

Получают путем глубокой гидроочистки легкого газойля, выделением остаточной фракции и ее каталитической депарафинизацией. Базовые характеристики масла данного вида: низкая температура застывания, низкая вязкость, когда столбик термометра находится ниже и выше нуля. Применяют масло АГК в основном в районах, которые характеризуются холодным климатом.

Следует отметить, что трансформаторные масла многих типов эксплуатируются также и в трансформаторах, которые работают на морских буровых платформах.

- *Зарубежные производители*

Базовым сырьем для производства трансформаторного масла в Швеции является венесуэльская нефть. Она содержит мало сернистых соединений и твердых парафинов. В результате и масло, получаемое с венесуэльских нефтей, обладает лучшими низкотемпературными свойствами, чем масла ГК, Т-1500У.

На отечественном рынке присутствуют масла австрийской фирмы «Технолол» (Technol-2000). Их производят путем кислотной очистки специальных нафтенных австрийских нефтей. Эта же фирма с целью восстановления показателей бумажной изоляции маслонаполненного оборудования предлагает применять специальные масла типа Регенол.

- **Метод DGA**

Наиболее распространенная сегодня методика анализа трансформаторного масла, результаты которой можно использовать для диагностики рабочего состояния электрооборудования, это метод «анализ растворенных газов в масле» (DGA), в основу которого положена газовая хроматография. Методика DGA относится к стандартам в сервисной промышленности во всем мире и является одной из важных при тестировании изоляционных жидкостей в электрическом оборудовании [2, 11].

Метод DGA, выполняемый в соответствии со стандартами ASTM D3612 или IEC 60567, на сегодняшний день является наиболее востребованным диагностическим тестом для анализа трансформаторного масла, поскольку изоляция трансформатора разрушается как от чрезмерного перегрева, так и от перегрузки. При этом газ, как побочный продукт, может указать на причины и условия возникновения повреждений.

Методика DGA предусматривает извлечение или поглощение (абсорбцию) газов из масла, и впрыскивание их в газовый хроматограф (GC) [3, 4]. Обычно для определения концентрации газа, применяется пламенно-ионизационный детектор (FID) и детектор теплопроводности. Большинство систем также использует метод преобразования окись и двуокись углерода в метан. После сжигания метана определяется газ при помощи чувствительного сенсорного датчика FID [5, 6].

Извлечение газа из масла является одной из наиболее сложных и ответственных этапов процедуры. При анализе методом ASTM D3612A, для извлечения наибольшей части газа, требуются создание высокого вакуума в стеклянной герметичной системе. Газ собирается и измеряется в специально градуированной трубке. Далее газ извлекается из градуированной колонки через перегородку газонепроницаемым шприцем и сразу вводится в систему GC - в газовую колонку хроматографа.

Один из методов прямой инъекции – это извлечение газов из масла и анализ газов происходит уже внутри газового хроматографа. При запуске хроматографа образец масла с контура переходит через серию клапанов к металлической сфере испарителя. Газ-носитель, проходя через испаритель, извлекает растворенные газы из масла, которые затем переносятся в хроматографическую колонку, где происходит их разделение и затем определение. Масло смывается с поверхности сферы и выдувается из системы до ввода следующей пробы [1].

Второй метод - метод свободного пространства - парофазы. Эта технология применяется для анализа растворенных газов, но не является надежным стандартным методом.

Однако приведенные методы не обеспечивают полного извлечения всех газов из масел. Это связано с различными коэффициентами растворимости газов, которые должны учитываться при заключительном определении состава и их концентрации.

Повторяемость и точность испытаний также имеют огромное значение, так как небольшие изменения могут повлиять на принятие решения о состоянии исследуемой системы, в данном случае, трансформатора. Так же эффективная практика отбора проб имеет большое значение для получения точных данных при применении метода DGA.

Основные газы, такие как водород и угарный газ легко могут испариться из отобранного образца. Для того чтобы свести к минимуму потери газов, требуется чтобы образцы проб содержались в газонепроницаемых стеклянных шприцах или металлических колбах (рисунок 1).

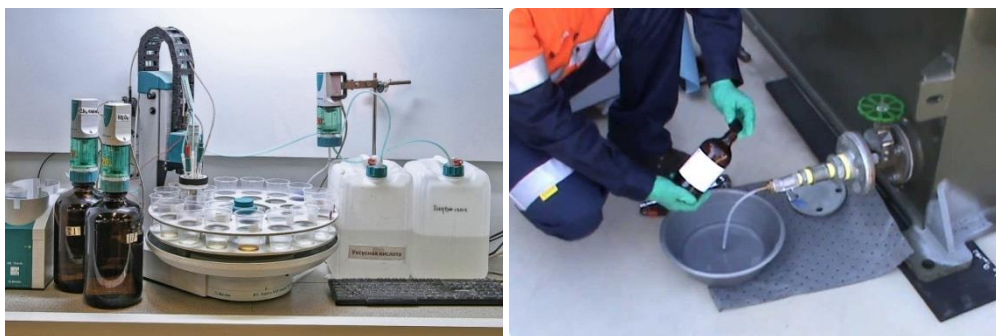


Рис. 1 – Традиционный метод контроля DGA и принятый метод отбора проб

Разработка и внедрение новых методов диагностики с целью выявления дефектов и повреждений, оценка функциональной исправности оборудования, определения возможности продления срока эксплуатации трансформаторов, выполнения других задач диагностики, является неотъемлемой частью постоянного совершенствования методик оценки состояния и повышения их эффективности (рисунок 2) [14].

Особенности различных технологий измерения концентраций газов

Технология	Преимущества	Недостатки	Точность	Цена
NDIR Недисперсионный инфракрасный анализ	• одновременное измерение газов • не нужна калибровка • минимум обслуживания • малое время измерения газа • высокая легкость установки	• ограничения по определению очень низких концентраций газов • интерференция газов может влиять на погрешность показаний, но это обычно компенсируется	хорошая	низкая
NIR Ближний инфракрасный анализ	• одновременное измерение газов • нечастые калибровки • минимум обслуживания • легкая установка	• ограничения по определению очень низких концентраций газов • интерференция газов может влиять на замеры	низкая	средняя
ХАРГ Хроматография	• возможность измерения различных газов и соединений • базируется на стандартах во многих лабораториях	• нужны частые калибровки • нужен дополнительный газ (носитель) – ведет к росту расходов • сложность в установке и применении системы	хорошая	высокая
ФАС (PAS) Фотоакустическая спектроскопия	• может определять/измерять очень низкие концентрации (ppm и ppb) газа • минимум обслуживания (в зависимости от системы используемых фильтров)	• ограничения по определению высоких концентраций газов • интерференция газов может влиять на погрешность показаний, но это обычно компенсируется • вибрация влияет на показания • есть сложности/ограничения в установке	хорошая	высокая
Электрохимия	• малый размер сенсора • хороша для измерения газов, трудно измеряемых другими технологиями	• нужны частые калибровки • короткий/ограниченный срок службы сенсора – требуется замена • измеряется только один газ	низкая	низкая

Рис. 2 – Современные технологии лабораторного контроля выделяемых из масел газов

Чрезмерно высокий перегрев масла приведет к выделению газа в низких концентрациях, однако более высокие концентрации свидетельствуют, как правило, о наличии длительной устойчивой электрической дуги, что является более серьезной эксплуатационной проблемой, способной вызвать поломку трансформатора, если вовремя не остановить процесс.

Сегодня в аналитическом приборостроении на первый план выходят, как контроль рабочих параметров, так и сервисные функции:

- расширенный контроль эксплуатационных параметров;
- самодиагностика;
- удобное (дистанционное) отображение;
- сбор и анализ информации;
- автоматическая выдача рекомендаций.

Также, необходимо учитывать сложность подготовки проб для проведения анализа методом DGA.

• Полупроводниковые сенсоры

Для аналитического контроля выделяемых газов и растворенных в масле веществ целесообразно применить метод, основанный на полупроводниковых газочувствительных сенсорах, обладающих техническими, технологическими и метрологическими характеристиками, соответствующими современным требованиям газового анализа технологических процессов. Также, проведенные испытания показывают, что с помощью полупроводников можно успешно определять растворенные в масле вещества при их эманации (диффузии) в газовую фазу [7, 8].

Полупроводниковые сенсоры, применяемые в качестве первичных преобразователей, состоят из газочувствительного слоя, подложки-диэлектрика и нагревательного элемента. Электрические соединения осуществляются через контактные площадки, изготовленные из золотосодержащей проводящей пасты, соединения выполнены Au-проводом диаметром 37 мкм и длиной 1 - 2 мм [9].

В качестве чувствительных слоев используются нанодисперсные оксиды металлов (SnO_2 , ZnO , NiO , Cu_2O , In_2O_3 и др.) с глубокой запрещенной зоны – более 2,5 эВ и обогащенные электроуправляющими и катализирующими примесями – оксидами металлов Pb, Pd, Ag, Co, Mn и рядом других элементов.

Развитая структура поверхности газочувствительного слоя достигается технологическими приемами и составляет 120 – 140 м²/г. Растровые изображения поверхности газочувствительного слоя приведены на рисунке 3.

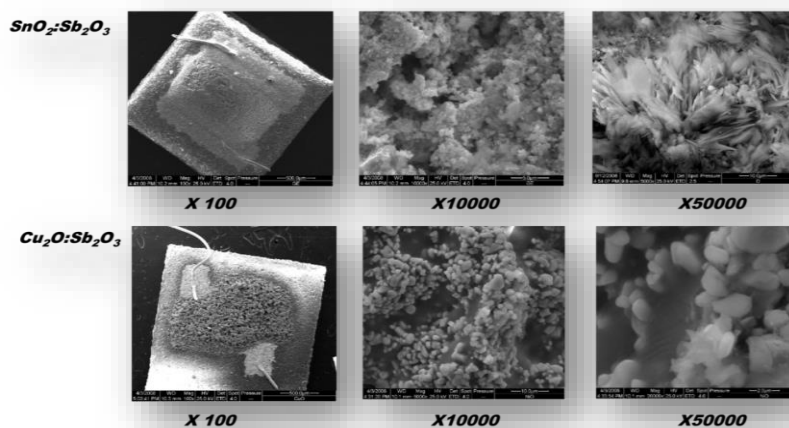


Рис. 3 - Электронные микроскопические изображения поверхности полупроводниковых газочувствительных сенсоров

Применение полупроводниковых сенсоров позволяет, во-первых, провести миниатюризацию проектируемых газоаналитических приборов, во-вторых, расширить перечень определяемых веществ, также проводить количественный анализ с удовлетворительной погрешностью (не выше 25 относительных %), и обеспечить применение непосредственно в условиях эксплуатации трансформаторов, что исключает необходимость отбора и хранения проб, например, для метода DGA [10].

Электронная схема газоанализатора включает микропроцессор, который обеспечивает нагрев газочувствительного слоя, измерение и обработку первичной информации, расчеты по заданному алгоритму, передачу информации по интерфейсам RS485, USB, I²C, SPI, RS232, сетям Ethernet, WiFi и радиоканалу. На рисунке 4 приведены основная плата газоанализатора и возможные интерфейсные решения.

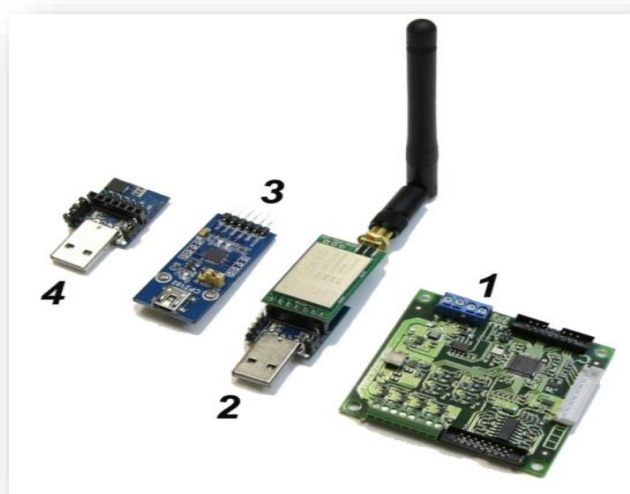


Рис. 4 – Схемотехнические и интерфейсные решения:
1 – плата анализатора, 2 – сопряжение с оператором по радиоканалу, 3 – сопряжение с ПК по RS 485, 4 – интерфейс USB-2.0

Применение полупроводниковых сенсоров и OEM-решений, построенных на их основе, позволяют создать эффективные средства контроля веществ, растворенных в маслах и в других растворах. Высокая чувствительность сенсоров – от 10^{-6} мг/м³ и технологичность серийного выпуска, делает их конкурентно способными для разработки OEM-систем для решения задачи контроля состояния параметров трансформаторов [12, 15].

Схемотехнические решения и разработанные математические методы, положенные в основу алгоритма работы и обработки первичной информации, показывают, что методики многопараметрического контроля сред позволяют:

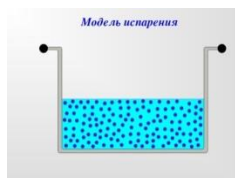
- использовать контрольные устройства in-situ (на месте), устранив, тем самым, сложную процедуру отбора и хранения проб;
- проводить измерения концентрации растворенных веществ в маслах в режиме реального времени с минимальной (до 1 - 2 с) экспозицией, что позволяет осуществлять динамический мониторинг состояния трансформатора по любой из разработанных ранее методик: Дорненбурга (Dornenburg's method), Мюллера (Mailier's method), Роджерса (CEGB/Rogers Ratios), МЭК (IEC 60599). Увеличение частоты измерений позволяет применить нелинейные динамические методы для прогнозирования развития состояния трансформаторов;
- полностью автоматизировать аналитические процедуры.

Оригинальные методики обработки результатов измерений позволяют контролировать прямые параметры исследуемой среды, а также кинетику и динамику переходных процессов.

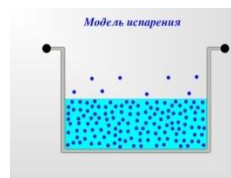
• **Контроль растворенных веществ**

Экспресс-метод контроля загрязненного масла проводится с помощью газового анализа паров веществ, растворенных, а затем испаряемых над поверхностью масел в соответствии с их составом и концентраций в растворе. Газоаналитические системы определяют наличие и параметры паров и газов над поверхностью исследуемого объема масла, которые образуются в результате переноса молекул из жидкой фазы в газовую фазу с парциальным давлением, зависящим от температуры и молекулярной массы целевого вещества.

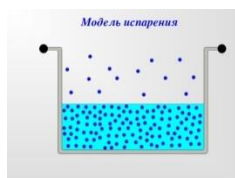
Давление насыщенного пара при заданной температуре рассчитывается по уравнению Антуана как $lg P^S = A - \frac{B}{K+T_P}$, $P^S = 10^{\left(A - \frac{B}{K+T_P}\right)}$, где, P^S - давление насыщенного пара, кПа, T_P - рабочая (заданная) температура в °C, A , B , K - константы уравнения Антуана. Зная давление насыщенного пара, рассчитывается объемная концентрация паров целевых веществ. Объемная концентрация паров или газов в замкнутом объеме определяется как $C_{Vol}, \% = \frac{P^S}{P_{atm}} \times 100 \%$.



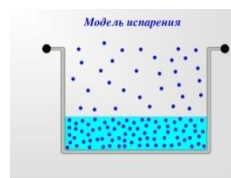
Состояние раствора с молекулами вещества в
начальный момент времени t_0



Состояние раствора с молекулами вещества в
начальный момент времени t_1



Состояние раствора с молекулами вещества в
начальный момент времени t_2



Состояние раствора с молекулами вещества в
начальный момент времени t_3

Рис. 5 – Стадии испарения растворенного вещества

Процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул в объеме носителя, которым в данном случае является трансформаторное масло. Также факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней диффузии целевого вещества, химические свойства и концентрация растворенной примеси.

Модель испарения примесей из объема можно представить следующим образом (рисунок 5). Давление насыщенного пара P^s над раствором, ограниченным регулярной поверхностью, является фундаментальной характеристикой равновесного состояния жидкость – пар, как для однокомпонентных, так и для сложных, многокомпонентных смесей.

Определение изменения массы молекул растворенного вещества в газовой фазе проводится методом Ленгмюра. Для реализации метода необходимо использование эталонных веществ с известными параметрами формирования насыщенного пара, что требует предварительной калибровки – «обучению», системы для проведения измерений неизвестных жидких сред.

Основу метода составляет уравнение Ленгмюра для испарения вещества с открытой регулярной поверхности:

$$\frac{dm}{dt} = -\alpha P^s S_V \sqrt{\frac{RT}{2\pi M^2}}, \quad (1)$$

где $\frac{dm}{dt}$ – скорость испарения целевого вещества, α - коэффициент испарения, P^s – давление насыщенного пара, M - молярная масса целевого вещества, T – температура среды, R – универсальная газовая постоянная.

Для практического применения методики Ленгмюра требуется определение коэффициента испарения по эталонным веществам. Это актуально для веществ, различных по

структуре для эталонов и реальных составов. Фоке предложен метод, в котором коэффициент испарения определяется через диффузию целевых веществ из растворов:

$$\alpha = \frac{D}{x_0} \sqrt{\frac{2\pi M}{RT}}, \quad (2)$$

где, D - коэффициент диффузии целевого вещества, x_0 - расстояние, на которое диффундируют молекулы целевых веществ.

Подставив значение коэффициента испарения Фоке в уравнение Ленгмюра получим:

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{D}{x_0} P^S S_V \sqrt{\frac{1}{M}}. \quad (3)$$

Для повышения точности обнаружения и воспроизводимости измерений эмпирические параметры, к которым относятся D , x_0 и P^S , по возможности необходимо либо исключить, либо перевести их в разряд расчетных величин.

Дополняя уравнение Ленгмюра системой Фика, с помощью анализа паров и газов, образованных над поверхностью масла, можно определять их содержание в объемах трансформаторов.

Применяя усредненный по пространству коэффициент диффузии к уравнению (3), получим зависимость изменения концентрации в единицу времени:

$$\frac{dC}{dt} = -\frac{P^S}{2t} \sqrt{\frac{1}{M}}. \quad (4)$$

Изменения концентрации рассчитывается по решению дифференциального уравнения:

$$-\frac{P^S}{2t} \sqrt{\frac{1}{M}} = \frac{x}{t} \frac{dC}{dx} + \frac{x^2}{2t} \frac{d^2C}{dx^2}. \quad (5)$$

Сокращая в уравнение (5) время, получаем пространственное распределение концентраций в объеме над поверхностью масла при диффузии вещества из объема носителя:

$$x^2 \frac{d^2C}{dx^2} + x \frac{dC}{dx} = -\frac{P^S}{2} \sqrt{\frac{1}{M}}. \quad (6)$$

Полученное распределение позволяет определить метрологические характеристики концентраций целевых веществ в газовой фазе, которые соответствуют концентрациям веществ, содержащихся в масляном растворе.

- **Исследования экспериментальных образцов газоаналитических систем контроля растворенных в маслах веществ**

Объектом исследований и испытаний являются экспериментальные газоаналитические 16-ти канальные системы: экспериментальный 16-ти канальный образец газоаналитической системы Gas-16PC и устройство отбора и доставки проб.

В ходе исследований проведена оценка возможности предлагаемого метода DGA для контроля целевых веществ в маслах.

Экспериментальный 16-ти канальный газоанализатор выполнен в защитном корпусе, имеет встроенный компьютер, систему отбора проб, устройство автоматического управления функциями отбора, измерения и обработки полученной информации. Общий вид газоанализатора приведен на рисунках 5 и 6.



Рис. 5 - Газоаналитическая система Gas-16PC

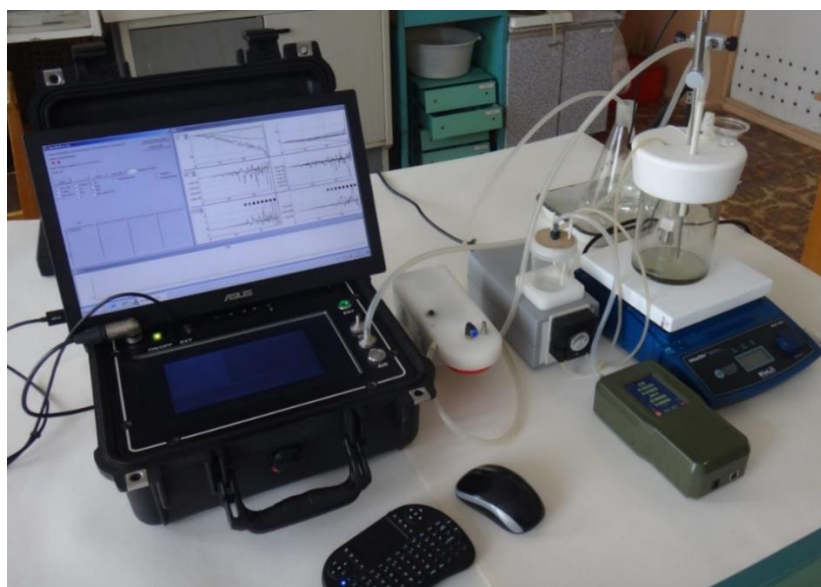


Рис. 6 - Экспериментальная установка в сборе

В ходе проведенных исследований экспериментально оценена возможность обнаружения целевых веществ, таких как полихлорированные бифенилы (ПХБ), водород H_2 , метан CH_4 , этан C_2H_6 , этилен C_2H_4 , ацетилен C_2H_2 , угарный газ CO , углекислый газ CO_2 в маслах с помощью газоаналитического метода в широком диапазоне концентраций при

различных режимах работы. Также проверена возможность контролировать другие вещества, не входящие в стандартный перечень.

Проведено обнаружение целевых веществ, как в однокомпонентных смесях, так и многокомпонентных масляных растворах различных масел. По полученным спектрам проведена идентификация веществ методом парного корреляционного анализа и методом множественной корреляции. Для проведения градуировки и формирования базы данных, содержащей эталоны, приготовлены источники микропотоков ИМП на основе масляных носителей.

- **Результаты экспериментов**

Для испытаний приготовлены ИМП на основе отечественных и зарубежных масел. Из отечественных использованы масла серий Т1500, ТК, ТСП и АГК, из зарубежных – масла компаний Technol и Regenol. Диффузия веществ из масел проведена при различных температурах нагрева – от 50 до 150°C (верхняя граница нагрева ограничена материалом капсулы ИМП). Срок службы используемых масел – менее 1 года.

Начиная от температуры 80°C все масла, применяемые в эксперименте, показывают присутствие водорода в концентрациях от 1 ppb до 10 ppm. Углеводороды обнаружены в каждом образце при температурах, начиная от 120°C. Газы CO, CO₂ выявлены при температурах, начиная от 80°C в концентрациях от 2 – 3 ppb, при этом водород не мешает определению оксидов углерода. Сероводород обнаружен при высоких температурах нагрева – 100 – 120°C. Корреляционный метод идентификации позволяет определить сероводород при наличии легких углеводородов: CH₄, C₂H₂, C₂H₄.

Проведенные эксперименты показывают, что применение газоаналитических систем, построенных на основе полупроводниковых сенсоров, позволяют осуществить контроль трансформаторных масел различных марок по качественным и количественным характеристикам. Соответственно, по результатам измерений можно делать выводы о состоянии трансформаторов в целом.

- **Выводы**

Метод газоаналитического контроля масел обоснован как теоретически, так и подтвержден экспериментально. В лабораторных условиях показана возможность контроля различных типов (марок) масел непрерывном режиме (режим мониторинга), так и в дискретном, с интервалом отбора проб не более 2 минут.

Предлагаемый метод не требует дополнительного расходного материала и позволяет проводить анализ менее чем за 120 с.

Предлагаемый метод не требует смены сенсоров при изменении перечня целевых веществ. Переход осуществляется трансляцией необходимой конфигурации условий измерений через установленный интерфейс.

В целом предлагаемый метод позволяет обнаруживать растворенные вещества на уровне концентраций, соответствующих современным требованиям анализа DGA.

Необходимо отметить, что применение ИМП оправдывает получение контрольных потоков с фиксированным составом паров из масел необходимой концентрации. Помимо отмеченных преимуществ необходимо отметить ряд недостатков, к которым относятся:

- несовершенное устройство отбора проб. Необходимо разработать конструкцию для проведения контроля без отбора пробы масла;

- расширение базы данных эталонов, что требует изготовления ИМП для каждого типа масла в количестве для расчета метрологических параметров: чувствительности, воспроизводимости и селективности обнаружения;

- разработка методов обработки результатов измерений, как единичных, так и в режиме мониторинга, для прогнозирования состояния трансформаторов;

- приведение применяемого метода к стандартным и аттестованным методикам по ASTM D3612.

Таким образом, необходимо разработать программу дальнейших исследований для разработки конструктивного решения контроля в режиме реального времени непосредственно установленного на трансформаторах в наиболее достоверных точках отбора.

Список литературы:

1. Ryder S. Frequency Response Analysis for Diagnostic Testing of Power Transformers // Electricity Today Mag. Article, Issue 0601, 2006.

2. Объем и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97. -М.:Энас, 1998.

3. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в трансформаторном масле. РД 34.45-51.300-97. - М, 1989.

4. Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Эль-Салим С.З. Корреляционный метод идентификации вещества // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 2 (14). С. 9-21.

5. Касаткина Т.Е., Львов М.Ю. Опыт применения хроматографического анализа газов для оценки состояния силовых трансформаторов // Новое в российской электроэнергетике, 2001, № 7.

6. N.R. Brletich, M.J. Waters, G.W. Bowen, M.F. Tracy. Worldwide Chemical Detection Equipment Handbook. [Текст] / Chemical and Biological Defence Information Center. October, 1995, - P. 105-438].

7. Мясников И.Я., Сухарев В.Я., Куприялов Л.Ю., Завьялов С.А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. – М. : Наука, 1991. – 327 с.

8. Саркисов С.В., Эль-Салим С.З., Никонов В.С., Игнатьев А.А. Метод контроля токсичных химикатов в водных растворах по газоаналитическим измерениям концентрации насыщенного пара растворенных веществ // Научно-технический журнал «Вопросы оборонной техники» Серия 16: Технические средства противодействия терроризму 7-8 (145-146) – СПб – 2020 г.
9. Налимова С.В. Анализ газочувствительных наноструктур с варьируемым типом и концентрацией адсорбционных центров: Автореф. дис. канд. физ.мат. наук: / Санкт-Петербургский государственный электротехнический ун-т, СПб, 2013. 22 с.
10. Odor identification using SnCVbased sensor array / T. Maekawa, K. Suzuki, T. Takada, T. Kabayushi, M. Egashira // Sensors and Actuators. 2001. V. 80. P. 51-58.
11. D. Ban, H. Luo, H.C. Liu, Z.R. Wasilevski, A.J. SpringThorpe, R. Glew, M. Buchanan. J. Appl. Phys., 96 (9), 5243, 2004.
12. Саркисов С.В., Эль-Салим С.З. Игнатьев А.А. Применение систем оригинального оборудования (ОЕМ-систем) в полевых аналитических лабораториях // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 2 (14).
13. Кащеев Р.Л., Саркисов С.В., Зенкевич М.Ю., Лопатин Н.В. Вопросы реабилитации почв, загрязненных нефтепродуктами в условиях вечной мерзлоты // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2021. № 1 (13).
14. Коновалов В.Б., Саркисов С.В., Курбанов А.Х., Вакуненко В.А. Задачи и особенности развития системы материально-технического обеспечения военной организации государства в направлении совершенствования систем жизнеобеспечения объектов военной инфраструктуры МО РФ // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 7 (8).
15. Саркисов С.В., Эль Салим С.З., Игнатьев А.А., Малышев А.В. Многопараметрическая система определения качества воды // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S8 (9).

А.С. Цховребов

A. S. Tskhovrebov

Сложноподчиненные предложения расчлененной структуры с причинными отношениями в практике преподавания русского языка как иностранного

Complex sentences of a dissected structure with causal relations in the practice of teaching Russian as a foreign language

Аннотация:

В статье рассматривается вопрос о презентации сложноподчиненного предложения с причинными отношениями в практике преподавания русского языка как иностранного. В работе проанализирована и определена теоретическая база изучения сложноподчиненного предложения с придаточной причинной частью для создания педагогической модели обучения иностранцев сложноподчиненному предложению с придаточной причинной частью. В процессе работы установлено, что в отечественной лингвометодике сложноподчиненные предложения с придаточной причинной частью рассматриваются в качестве предмета обучения, поскольку уже на начальном этапе обучения русскому языку как иностранному назревает необходимость использования данных синтаксических конструкций в речи.

Abstract:

The article deals with the presentation of a complex sentence with causal relations in the practice of teaching Russian as a foreign language. The paper analyzes and defines the theoretical basis for creating a pedagogical model of teaching foreigners a complex sentence with a subordinate causal part. In the process, found that in domestic linguamethodical complex sentences with subordinate causes are often seen as old, because already at the initial stage of teaching Russian as a foreign language necessity of the use of these syntactic constructions in speech.

Ключевые слова: *сложноподчиненное предложение, русский язык как иностранный, обучение, методика преподавания, практика, причинные отношения.*

Keywords: *complex sentence, Russian as a foreign language, training, teaching methods, practice, causal relations.*

Проблема обучения синтаксису сложного предложения иностранных обучающихся является актуальной в современной лингвометодике, поскольку владение русским языком на уровне сложного предложения представляется важным для становления будущего специалиста. Основная цель преподавания русского языка как иностранного (далее - РКИ) – формирование русскоязычной профессиональной компетенции. В данной статье попытаемся рассмотреть сложноподчиненные предложения (далее – СПП) расчлененной структуры, выражающие причинные отношения, которые презентуются в практике преподавания РКИ. С этой целью обратимся к некоторым лингвистическим характеристикам данных сложных синтаксических конструкций, в которых предполагается связь двух ситуаций – одна в достаточной степени реализует другую. Как правило, в СПП с причинными отношениями выразителем значения достаточного основания является придаточная часть – «ее содержание выполняет роль мотивирующего фактора (аргумента) по отношению к сообщаемому в главной части, которая информирует о следствии» [1, с. 576].

Итак, в сложноподчиненных предложениях с причинным значением соотнесены две ситуации таким образом, что «в придаточной указывается причина, аргумент, основание того, что отражено в главной части как следствие» [9, с. 136]. В СПП причины содержатся следственный оттенок, поскольку в них может фиксироваться как причина, так и следствие. В этой связи во многих источниках причинные СПП рассматриваются в призме причинно-следственных конструкций. Так, Р.М. Теремова в работе «Опыт функционального описания причинных конструкций» говорит о том, что в СПП причины есть «отрезок реальной действительности, а именно: две ситуации, связанные между собой как причина и следствие (причина с необходимостью обуславливает следствие), непосредственно связан с языковыми формами – предикативными единицами» [8, с. 9]. Как правило, ситуация, которая содержит причину, представлена в придаточной части СПП; ситуация, которая указывает на следствие, отражена в главной предикативной части. Итак, в причинных СПП причина имеет тесную связь со следствием – «в зависимости от коммуникативной установки говорящего или пишущего в предложении актуализируется то значение причины, то значение следствия» [6, с. 271].

О функционально-семантической категории причинно-следственных отношений говорит М.В. Всеволодова, которая отмечает, что «причинно-следственные отношения – одна из важнейших категорий, отразившаяся в языке» [3, с. 7]. Действительно, в зависимости от логического характера, содержащегося в функционально-семантической категории, причинные предложения квалифицируют как наиболее национально индивидуализированные, нежели другие предложения обусловленности, что нередко приводит к трудностям в освоении иностранцами данных СПП.

Как уже отмечалось нами, обусловленность (каузальность) представляет собой категорию, которая охватывает все явления в языке, однако «причинность в языке всегда конкретизируется, упрощается» [2, с. 91]. Семантические особенности и формальные маркеры, которые эксплицируют причинно-следственные отношения, служат выразителями каузальных конструкций, однако не всегда возможно идентифицировать собственно причинные отношения – они могут сливаться с другими каузальными предложениями: следственными, целевыми, условными, уступительными.

В функциональной грамматике принято считать, что семантическим ядром каузальности являются СПП с причинными отношениями, поскольку «в основе понятия «каузальность лежит понятие «причинность» и каузальная ситуация – всегда обобщенная логическая причинно-следственная ситуация» [4, с. 32], то есть причина рассматривается как основная категория логических отношений в рамках поля обусловленности [7].

Придаточная часть, выражающая причинное значение, присоединяется к главной части семантическими каузальными (причинными) союзами, которые являются главными дифференциальными критериями идентификации семантической категории причинности. В русском языке причинные союзы (как и все союзы с оттенком каузальности) делят на две группы – «союзы функционально не однозначные, не специализированные, т.е. указывающие на каузальность в наиболее общем виде... и союзы функционально однозначные, т.е. специализированные как выразители того или другого вида каузальности» [1, с. 577]. В этой связи все причинные союзы характеризуются как союзы недифференцированного значения (*потому что, так как, поскольку, ибо, ведь и др.*) и дифференцированного значения (*оттого что, из-за того что, ради того что, благодаря тому что, вследствие того что, в результате того что, в связи с тем что, ввиду того что, исходя из того что, исходя из того что и др.*)

Рассмотрим СПП с причинными отношениями в практике преподавания русского языка как иностранного. Анализ учебно-методического комплекса показал, что в силу коммуникативной необходимости (речеобразующей значимости) СПП с причинными отношениями включаются в обучение на элементарном уровне. Знакомство с данной темой начинается с союза недифференцированного значения *потому что*, который передает связь двух ситуаций в СПП – придаточная часть указывает на причину того, о чем говорится в главной части.

Как показывает практика, знакомство с причинными предложениями на элементарном уровне начинается с моделей: *Мне нравится Петербург, потому что это мой родной город Я еще плохо понимаю русский язык, потому что я иностранка; Джон плохо знает Москву, потому что он живет в Москве недавно; Он повторяет грамматику, потому что завтра контрольная работа; Анна любит осень, потому что это красивое время года.* Как правило, сложноподчиненные предложения, презентованные на элементарном уровне, в главной части

содержат глаголы, с которыми обучающиеся знакомятся параллельно – *нравиться, понимать, любить, знать*. На данном этапе рассмотрения целесообразным является презентация союза *потому что* в вопросно-ответной форме: *Почему тебе нравится этот журнал? - Мне нравится этот журнал, потому что здесь красивые фотографии.*

Как мы уже отмечали выше, на элементарном уровне иностранцам предлагаются задания на построение сложного предложения с союзом *потому что* и его трансформация в конструкцию со словом *поэтому*: *Мне нравится эта куртка, потому что это теплая куртка. – Это теплая куртка, поэтому она мне нравится.* В курсе РКИ введение данных СПП на элементарном уровне обязательно, поскольку отношения причинности (каузальности) устанавливаются между событиями и ситуациями, которые обозначаются использованием следующих грамматических категорий – модальности, времени, лица, наклонения. В связи с этим в практике преподавания РКИ на начальном этапе рекомендуется презентация СПП, в которых придаточная часть представляет собой предложение глагольного типа, поскольку вышеназванными грамматическими категориями обладает только глагол.

Союз *потому что* как наиболее употребительный среди причинных союзов используется на всех трех уровнях обучения: *Юра никогда не видел своего знаменитого дедушку, потому что он погиб много лет назад (базовый уровень); Ему стало страшно, потому что он знал не все инструменты и лекарства.* В лингвистической литературе союз *потому что* квалифицируется как выразитель самой общей идеи причинной обусловленности событий и может отсылать к событию, которое указывает на прямую причину, или на событие, которое является косвенным аргументом того, о чем говорится в главной части. В этой связи в лингвистике СПП с союзом *потому что* разделяются на две группы: а) собственно-причинные; б) причинно-аргументирующие. Итак, в СПП придаточное предложение может обозначать «не причину события главного предложения, а наблюдаемый признак, на основании которого говорящий (или персонаж повествования) делает заключение, предположение о ненаблюдаемом признаке, высказываемое в главном» [5, с. 364]. Как правило, вторая группа (причинно-аргументирующая) сопровождается субъективно-модальными словами: *вероятно, наверное, может быть, кажется* и др.: *Кажется, он не хочет больше учить русский язык, потому что не ходит на практические занятия.* В курсе РКИ на анализируемых уровнях не встречаются модели с союзом *потому что* второго типа.

Рассматривая функционально-семантические категории причинных предложений, Р.М. Теремова выделяет два уровня познания объективной действительности – эмпирического и теоретического, в связи с чем обозначает две сферы причинно-следственных отношений: «сферу предметной причины и сферу обоснования и, соответственно, две ситуации: предметной причины и причинного обоснования» [8, с. 12]. По мнению Р.М. Теремовой, в пределах основной предметной причины выделяется ситуация основной эксплицитной

(выраженной) причины и ситуация основной имплицитной (невыраженной) причины, в пределах ситуации обоснования выделяются два компонента – мотивирующий, который содержит обоснование сообщаемого в мотивируемом компоненте, мотивируемый, который содержит рассудочное, опосредованное знание.

Как известно, причинные союзы (кроме *так как*) могут расчленяться: «в придаточном предложении остается лишь союз *что*, а первая часть союза входит в главное предложение в качестве указательного слова» [6, с. 275]: *Я счастлив оттого, что работаю с вами*. При расчлененности структуры СПП в главной части могут содержаться «усилительно-выделительная частица, вводное слово, отрицание и другие актуализирующие факторы» [9, с. 138]. Следует отметить, что союз *так как*, несмотря на его состав, не имеет способности к расчленению – его расчленение приводит к изменению причинной семантики.

Вторым по релевантности после союза *потому что* в практике преподавания РКИ является союз *так как*, который способен к расположению как в постпозиции, так и в препозиции: *Он свободно говорит по-русски, так как изучал русский язык в институте; Так как смех положительно влияет на наше здоровье, людям надо больше смеяться*. Союз *так как* вносит в предложение книжный оттенок, употребляется в научном стиле, в языке общего владения редко встречается на базовом и первом уровнях. Следует отметить, что данный союз коммуникативно необходим в обучении языку специальности, поскольку научный стиль, содержащийся в письменных текстах для изучения, насыщен моделями, где основным средством связи является союз *так как*.

Вопрос о расчлененности/нерасчлененности союзов в курсе РКИ занимает особое место, поскольку при изучении многокомпонентных союзов, способных расчленяться, иностранные обучающиеся допускают многочисленные ошибки. На наш взгляд, во избежание подобных синтаксических ошибок следует давать предложения с многокомпонентными союзами в сопоставлении друг с другом с указанием на возможность расчлененного союза подчеркивать значимость причины. Практика РКИ показывает, что на анализируемых этапах синтаксические конструкции, которые могут расчленяться, не презентуются, однако они встречаются на продвинутом этапе обучения и могут наблюдаться в материалах для обучения языку специальности. Например, научному стилю речи присущи причинные союзы *потому, что; так как, то; поскольку, то; так как, то; из-за того, что; тем более, что; вследствие того, что; ввиду того, что; благодаря тому, что; оттого, что* и др.

Итак, в программу продвинутого этапа включаются вышеприведенные союзные средства причины, которые свойственны книжному стилю речи – научному, официально-деловому, публицистическому. Усвоение данных союзов обеспечит понимание текстов по соответствующей специальности. Как правило, соотносительное слово в союзах *поскольку, то; так как, то* в подобных конструкциях нельзя опустить, вторая часть двойного союза

факультативна. Придаточная часть по отношению к главной части препозитивна при двойных причинных союзах.

Дифференцированный подход в обучении данным синтаксическим единицам необходим и в случае с умением определять позицию, которую занимает придаточная часть по отношению к главной части. В зависимости от позиции придаточной части причинные союзы принято делить на две группы: а) союзы, допускающие препозицию придаточной части; б) союзы, не допускающие препозицию придаточной части. Как правило, союзы *потому что*, *ибо* требуют постпозицию придаточной части, при остальных союзах - придаточная часть может быть перед главной части, после нее и внутри нее.

Как показывает практика, ССП с препозицией придаточной части на элементарном и базовом уровне не наблюдаются, поскольку основным квалификатором в моделях этого уровня является союз *потому что*, который неспособен к препозиционному расположению.

Однако на первом уровне обучения презентуются модели, в которых придаточная часть занимает препозицию: *Так как спортсмен много тренировался, он хорошо выступал на соревнованиях; Благодаря тому что появился интернет, люди могут быстро получать нужную информацию; Из-за того что молодые люди постоянно работают за компьютером, их зрение ухудшается; В результате того что все спортсмены выступили хорошо, команда выиграла.* Из данных примеров следует, что на первом уровне, помимо недифференцированных союзов *потому что*, *так как*, презентуются модели с дифференцированными союзами – *благодаря тому что*, *из-за того что*, *в результате того что* как в препозиции, так и в постпозиции: *Спортсмен хорошо выступал на соревнованиях, так как он много тренировался; Врачи могут проверить работу всего организма человека, благодаря тому что компьютер используется в медицине; Дети стали меньше читать, из-за того что они много играют на компьютере; Больной человек выздоровел, в результате того что ему была сделана сложная операция.* Важно отметить, что трудности в усвоении причинных сложных предложений имеют два основания: а) сложность в многообразии в выражении причинных отношений; б) сложность, вызванная интерференцией. С этой целью на общем владении рекомендуется использовать причинные предложения, выражающие собственно причинные отношения.

Целесообразно, на наш взгляд, при изучении причинных отношений проводить аналогии с простыми предложениями, которые также содержат причинное значение: *Благодаря тому что в медицине используется компьютер, врачи могут поставить правильный диагноз. – Благодаря использованию компьютера в медицине врачи могут поставить правильный диагноз; Из-за того что он поленился выполнить задание, он получил неудовлетворительную отметку. – Из-за его лени выполнить задание он получил неудовлетворительную отметку; В результате того что было сделано новое открытие,*

наука сделала скачок вперед. – В результате нового открытия наука сделала скачок вперед. Данные примеры показывают, что при трансформации сложных предложений с союзами дифференцированного значения в простые со значением причины используются предложно-падежные конструкции – предлоги *благодаря, из-за, в результате*. В придаточной части при трансформации происходит замена глагола на отглагольное существительное: *использовать – использование, лениться – лень*.

Таким образом, проанализировав СПП с причинными отношениями в лингвистической науке и в курсе РКИ, мы можем констатировать, что на начальном и среднем этапах в основном используются союзы недифференцированного значения - *потому что*, который допускает только постпозитивное расположение придаточной части, и *так как*, который допускает как постпозицию, так и препозицию придаточной части. Данные союзы наиболее употребляемы, поскольку являются коммуникативно необходимыми, используются в нейтральном стиле речи. Следует отметить, что союзы дифференцированного значения *благодаря тому, что; из-за того, что; в результате того, что*, презентованные в курсе РКИ на первом уровне, также коммуникативно необходимы, поскольку сфера употребления их – письменная речь научного, официально-делового, публицистического стилей речи, навыки по которым следует развивать уже на начальном этапе.

Список литературы:

1. Брызгунова Е.А. Русская грамматика: [В 2 т.] / АН СССР, Ин-т рус. яз; [Редкол.: д. филол. н. Н.Ю. Шведова (гл. ред.) и др.]. Т. 2: Синтаксис / [Е.А. Брызгунова, К.В. Габучан, В.А. Ицкович и др.]. - 1982. - 709 с.
2. Всеволодова М.В. Вопросы коммуникативно-функционального описания синтаксического строя русского языка / [Всеволодова М.В., Воробьева Г.К., Дементьева О.А. и др.] ; Под ред. М.В. Всеволодовой, С.А. Шуваловой МГУ им. М.В. Ломоносова. - М. : Изд-во МГУ, 1989. - 183 с.
3. Всеволодова М.В., Яценко Т.А. Причинно-следственные отношения в современном русском языке. – М.: Рус.яз., 1988. – 207 с.
4. Дружинина С.И. Сложноподчиненные предложения обусловленности: виды и разновидности //Вестник Челябинского государственного университета. 2008. № 26. С. 30-38.
5. Золотова Г. А., Онипенко Н. К., Сидорова М. Ю. Коммуникативная грамматика русского языка. М., 2004. – 544 с.
6. Книга о грамматике. Русский язык как иностранный / Под ред. А.В. Величко. 3-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. – 648 с.
7. Мустайоки А. Теория функционального синтаксиса: от семантических структур к языковым средствам. – М.: Языки славянской культуры, 2010. – 512 с.

8. Теремова Р.М. Опыт функционального описания причинных конструкций: Учеб. пособие к спецкурсу / Р. М. Теремова. - Л.: ЛГПИ, 1985. - 70 с.

9. Формановская Н.И. Сложное предложение в современном русском языке. Теория и упражнения (включенное обучение). – М.: Русский язык, 1989. – 192 с.

**Методика определения средних удельных затрат на техническую эксплуатацию
механического оборудования специальных технических систем при использовании
гибких стратегий технического обслуживания**

***Methodology for determining the average unit costs for the technical operation of mechanical
equipment of special technical systems using flexible maintenance strategies***

Аннотация.

В статье приводится решение задачи определения оптимального по критерию минимума средних удельных затрат на техническую эксплуатацию механического оборудования специальных технических систем периода проведения технического обслуживания.

В качестве модели отказа элемента специальных технических систем рассматриваются две характерные для механического оборудования стадии процесса развития отказа: случайное время возникновения повреждения и время, за которое повреждение перерастает в отказ.

Abstract.

The article provides a solution to the problem of determining the optimal minimum by the criterion of the average unit costs for the technical operation of mechanical equipment of special technical systems during the maintenance period.

As a model of failure of an element of special technical systems, two stages of the failure development process characteristic of mechanical equipment are considered: the random time of damage occurrence and the time during which the damage develops into a failure.

Ключевые слова: *техническое обслуживание, средние удельные затраты на техническую эксплуатацию, возникновение повреждения, техническое состояние, распределение случайной величины, специальные технические системы.*

Keywords: *maintenance, average unit costs for technical operation, occurrence of damage, technical condition, random variable distribution, special technical systems.*

Введение

Специальные технические системы (СТС) сооружений специальных объектов, предназначены для формирования и поддержания параметров микроклимата в помещениях и

выполняют важную роль в обеспечении выполнения целевых задач вооружением, военной техникой и технологическими системами специальных объектов [1].

СТС, включающие в свой состав системы вентиляции и кондиционирования воздуха, системы холодоснабжения, системы оборотного водоснабжения состоят преимущественно из механического оборудования [1].

Известно, что значительную роль в повышении надежности СТС играет система технической эксплуатации, определяющая периодичность и объемы проведения работ по техническому обслуживанию (ТО) и профилактическому ремонту [2]. При этом теоретические исследования и опыт практического внедрения показывают эффективность применения гибких стратегий обслуживания по фактическому техническому состоянию.

Модель развития отказа механического оборудования.

Анализ причин возникновения отказов механического оборудования показывает, что им предшествует появление повреждения. Например, ослабление резьбовых или других разъемных соединений насосных и вентиляционных агрегатов, образование трещин в пластинах клапанов компрессоров холодильных машин, появление небольшой по объему течи в трубопроводах не сразу приводят к нарушению их работоспособности [3].

Графическое изображение процесса развития отказа элемента представлено на рис.1, где символом t_1 обозначен интервал времени возникновения повреждения, t_2 – интервал времени, в течение которого повреждение перерастает в отказ, t – время безотказной работы элемента.

Как показано в [4], между значениями времен возникновения повреждений и второй стадии развития отказа существует весьма слабая статистическая зависимость, которой в практических расчетах можно пренебречь и считать их статистически независимыми, распределенными по экспоненциальному закону. Принимая во внимание данное допущение, предположим, что время возникновения повреждения и время второй стадии развития отказа механического оборудования СТС подчинены экспоненциальному закону распределения, для которого можно записать следующие выражения для плотности распределения:

$$f_{t_1}(t) = \lambda_1 \exp(-\lambda_1 t), \quad (1)$$

$$f_{t_2}(t) = \lambda_2 \exp(-\lambda_2 t), \quad (2)$$

где λ_1 , - интенсивность возникновения повреждений механического оборудования СТС, 1/ч;

λ_2 – интенсивность развития второй стадии отказа механического оборудования СТС, 1/ч.

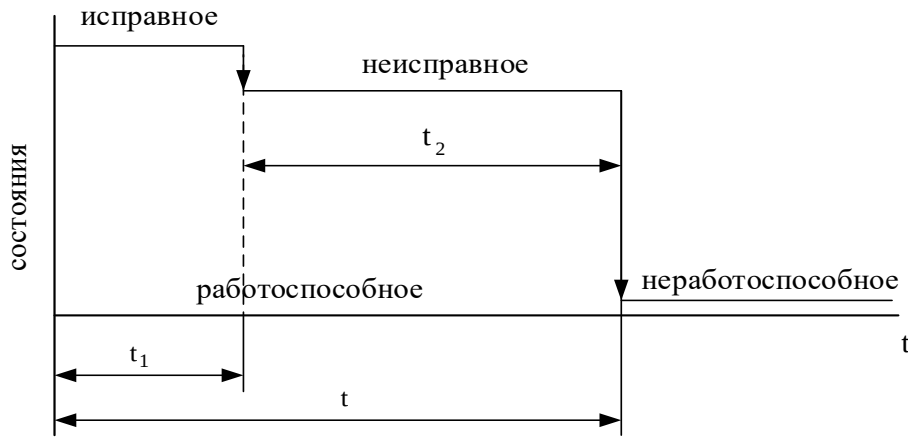


Рис.1 – Графическое изображение процесса развития отказа механического оборудования СТС

Случайное время безотказной работы механического оборудования СТС равно сумме случайных величин t_1 и t_2 , поэтому плотность распределения времени безотказной работы представляет собой свертку функций распределения [5]:

$$f(t) = \int_0^t f_{t_1}(\tau) f_{t_2}(t - \tau) d\tau \quad (3)$$

После подстановки выражений (1) и (2) в формулу (3) и выполнения преобразований Лапласа для свертки функций, получим следующее выражение для плотности распределения времени возникновения отказа механического оборудования СТС:

$$f_1(t) = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (\exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t)) \quad (4)$$

После интегрирования (4) можно получить выражение для функции распределения времени возникновения отказа механического оборудования СТС:

$$F_t(t) = 1 - \exp(-\lambda_1 t) - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (\exp(-\lambda_2 t) - \exp(-\lambda_1 t)) \quad (5)$$

Модель технической эксплуатации специальных технических систем

Для вывода зависимости средних удельных затрат на техническую эксплуатацию от периодичности выполнения профилактических работ примем следующую последовательность проведения профилактических и аварийных ремонтно-восстановительных работ, характерную для практики эксплуатации СТС.

В начальный период эксплуатации механического оборудования СТС планируется выполнение работ по ТО через некоторый случайный период времени ξ с функцией распределения $H_\xi(x)$. Если отказа механического оборудования СТС за время ξ не произошло, то в этот момент начинаются профилактические работы продолжительностью $t_{го}$, которые полностью обновляют свойства оборудования, характеризующие его техническое состояние.

Если механическое оборудование СТС отказало до назначенного времени проведения ТО ξ , то сразу после возникновения отказа начинаются внеплановые аварийно-восстановительные ремонтные работы, продолжительностью t_p , которые также полностью восстанавливают свойства оборудования. После проведения ремонтных работ назначаются новые сроки проведения следующих профилактических работ.

Принятую последовательность выполнения профилактических и аварийных работ отражает случайный процесс $\xi(t)$, характеризующий состояние механического оборудования в произвольный момент времени:

$$\xi(t) = \begin{cases} S_0, & \text{если в момент } t \text{ механическое оборудование СТС находится в} \\ & \text{работоспособном состоянии;} \\ S_1, & \text{если в момент } t \text{ производится аварийное восстановление} \\ & \text{механического оборудования СТС;} \\ S_2, & \text{если в момент } t \text{ выполняются профилактические} \\ & \text{восстановительные работы на механическом оборудовании СТС.} \end{cases}$$

Процесс $\xi(t)$ обладает одним важным свойством. Вследствие того, что в моменты перехода процесса в состояние S_0 после выполнения профилактических или аварийных работ механическое оборудование СТС полностью восстанавливает свойства, характеризующие его техническое состояние, и производится перепланирование последующих профилактических работ, то течение процесса в будущем не будет зависеть от прошлого.

Поэтому, моменты перехода процесса в состояние S_0 представляют собой моменты регенерации процесса, а сам процесс $\xi(t)$ – регенерирующим случайным процессом. Следует отметить, что интервалы времени между моментами регенерации образуют последовательность положительных, одинаково распределенных независимых случайных величин, или образуют процесс восстановления.

Зависимость средних удельных затрат на техническую эксплуатацию от периода проведения технического обслуживания

Задача заключается в определении зависимостей средних удельных затрат от периодов проведения ТО ξ , распределенных по закону $H_\xi(t)$ и нахождении такой функции $H_\xi(t)$, при которой достигается экстремальное значение данных показателей.

Будем понимать под средними удельными затратами $\bar{c}_{уд}$ суммарные средние затраты на профилактические и аварийные восстановительные работы, приходящихся на единицу времени безотказной работы механического оборудования СТС.

Для регенерирующих случайных процессов математическое выражение для средних удельных затрат определяется, как отношение средних затрат за период между моментами регенерации процесса $\xi(t)$ к среднему времени безотказной работы оборудования за этот же период [8].

Среднее время безотказной работы оборудования за период регенерации определяется по следующему выражению [8]:

$$\bar{T}_{op}(\xi) = \int_0^{\infty} \bar{F}_t(x) \bar{H}_{\xi}(x) dx \quad (6)$$

Предположим, что при проведении аварийного ремонта элемента СТС средние удельные затраты за единицу времени нахождения процесса $\xi(t)$ в состоянии S_1 составляют $\bar{c}_p$. Следует отметить, что при расчете средних удельных затрат на аварийно-восстановительные работы в их перечень могут включаться затраты на компенсацию ущерба, связанного с отказом элемента в зависимости от критичности его отказа и вызванных негативных последствий как для СТС, так и специального объекта в целом.

При проведении ТО средние удельные затраты в единицу времени пребывания процесса $\xi(t)$ в состоянии $S_2 - \bar{c}_{то}$, тогда средние затраты на профилактические и аварийные восстановительные работы определим по формуле полного математического ожидания:

$$\bar{c}_p \bar{\tau}_p P(t < \xi) + \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то} P(t \geq \xi) = \bar{c}_p \bar{\tau}_p \int_0^{\infty} F_t(x) dH_{\xi}(x) + \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то} \int_0^{\infty} \bar{F}_t(x) dH_{\xi}(x) \quad (7)$$

Таким образом, средние удельные затраты на техническую эксплуатацию оборудования можно записать в виде:

$$\bar{c}_{y\partial} = \frac{\bar{c}_p \bar{\tau}_p \int_0^{\infty} F_t(x) dH_{\xi}(x) + \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то} \int_0^{\infty} \bar{F}_t(x) dH_{\xi}(x)}{\int_0^{\infty} \bar{F}_t(x) \bar{H}_{\xi}(x) dx} \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой дробно-линейный функционал, экстремальное значение которого можно найти в классе вырожденных функций распределения [5]. Следовательно, данное выражение можно представить в виде:

$$\bar{c}_{y\partial} = \frac{(\bar{c}_p \bar{\tau}_p - \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то}) F_t(t_{то}) + \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то}}{\int_0^{\infty} \bar{F}_t(x) dx} \quad (9)$$

Подставив в (9) выражение для функции распределения времени безотказной работы элемента (5), проинтегрировав и проведя необходимые преобразования, получим:

$$\bar{c}_{y\partial} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \left((\bar{c}_p \bar{\tau}_p - \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то}) \left(1 - \exp(-\lambda_1 t_{то}) \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} (\exp(-\lambda_2 t_{то}) - \exp(-\lambda_1 t_{то})) \right) + \bar{c}_{то} \bar{\tau}_{то} \right) \quad (10)$$

Выражение (10) также удовлетворяет необходимому условию существования экстремума [8], причем максимум $\bar{c}_{y\partial}$ достигается при $t_{то} \neq \infty$. Подтверждением этому являются графическая интерпретация зависимостей средних удельных затрат на техническую

эксплуатацию элемента от периода ТО при различных значениях λ_1 , λ_2 , $\bar{t}_{\text{ТО}}$, $\bar{t}_p$, которые представлены на рис.2. Анализ зависимостей показывает, что чем больше средние удельные затраты на аварийное восстановление элемента по сравнению с плановым профилактическим обслуживанием элемента, тем меньше оптимальный период проведения ТО.

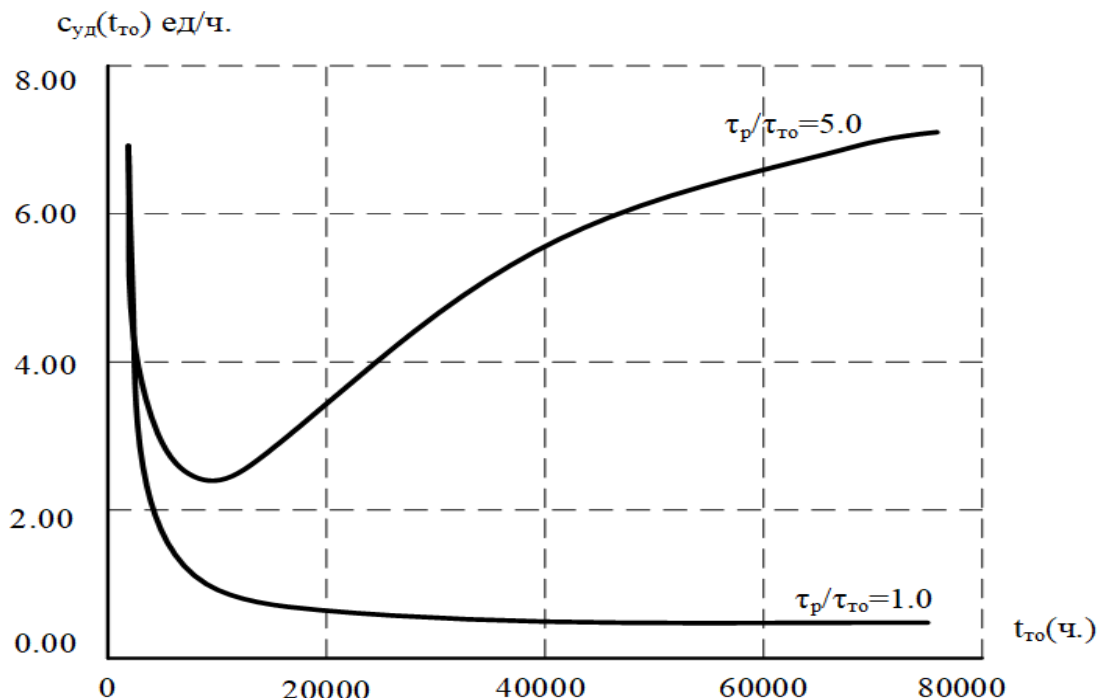


Рис.2 Зависимость средних удельных затрат на техническую эксплуатацию элемента от периода ТО при различных соотношениях $\bar{t}_p$ и $\bar{t}_{\text{ТО}}$.

Определение оптимального периода технического обслуживания элемента СТС, при котором достигается минимум средних удельных затрат на техническую эксплуатацию, заключается в решении задачи безусловной оптимизации: дифференцировании выражения 10 по переменной $t_{\text{ТО}}$ и нахождении корней полученного уравнения.

Для совокупности элементов СТС задача определения перечня элементов, подлежащих профилактическому обслуживанию, решается в виде задачи долгосрочного оптимального планирования, где в качестве целевого функционала принимается минимум суммарных средних удельных затрат на техническую эксплуатацию СТС при заданных ограничениях в периодах и продолжительности проведения технического обслуживания на интервале планирования.

Заключение.

Разработанная методика позволяет определять оптимальные периоды проведения технического обслуживания механического оборудования СТС, при которых достигаются минимальные значения средних удельных затрат на техническую эксплуатацию.

Список литературы:

1. Росляков Е.М. Специальные технические системы: учебник. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2003. – 330 с.
2. Эксплуатация космических средств: учебник/ Г.Д. Петров и д.р.; под ред. А.П. Вышинского - СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2015. – 455 с.
3. Авсюкевич Д.А. Технология применения технических систем РКК по назначению. Учебное пособие – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2009. – 74 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем – М.; Энергоатомиздат, 1986. – 479 с.
5. Вопросы математической теории надежности/ Е.Ю. Барзилович, Ю.К. Беляев, В.А. Каштанов и др.; под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Радио и связь, 1983. – 376 с.
6. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Прогнозирование состояния технических систем. – М.: Наука, 1990. – 125 с.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Высшая школа, 2004. – 365 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Волокушин Роман Валерьевич , заместитель начальника кафедры применения автомобильных подразделений, Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения. e-mail: roman.volokuschin@yandex.ru	Volokushin Roman V. , Deputy Head of the Department of Application of Automotive Units, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: roman.volokuschin@yandex.ru
Гуков Дмитрий Владимирович , доктор технических наук, профессор, ВИ(ИТ) ВА МТО. e-mail: guokovdmitry@rambler.ru	Gukov Dmitry V. , doctor of technical Sciences, professor, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: guokovdmitry@rambler.ru
Загуляев Сергей Дмитриевич , ведущий инженер, Обособленное подразделение АО «31 ГПИСС» «НИЦ 26 ЦНИИ». e-mail: zagulyaev.sd@yandex.ru.	Zagulyaev Sergey D. , leading engineer, a separate division of JSC "31 GPISS ""SIC 26 Central Research Institute" e-mail: zagulyaev.sd@yandex.ru.
Иваньков Сергей Михайлович , адъюнкт, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского e-mail: mihalych261@bk.ru	Ovankov Sergey M. , post graduate student, Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky e-mail: mihalych261@bk.ru
Карпов Алексей Дмитриевич , курсант, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: alexey.karpov.ak@mail.ru	Karpov Alexey D. , cadet, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: alexey.karpov.ak@mail.ru
Литвинова Наталья Борисовна , доктор педагогических наук, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского e-mail: skarlet27@list.ru	Litvinova Natalia B. , doctor of pedagogical sciences, assistant professor, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky e-mail: skarlet27@list.ru
Лопатин Николай Владимирович , адъюнкт, Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева e-mail: Lopatin.08@mail.ru	Lopatin Nikolay V. , post-graduate student, The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics, e-mail: Lopatin.08@mail.ru
Попов Александр Владимирович , кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры применения автомобильных подразделений, Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения e-mail: apopov53@bk.ru	Popov Alexander V. , Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, associate Professor of the Department of Application of Automotive Units, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: apopov53@bk.ru
Поправко Дмитрий Петрович , начальник кафедры (управления техническим обеспечением войск национальной гвардии) ФГКВОУ ВО «Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва», г. Санкт – Петербург e-mail: K20vatt@ya.ru	Popravko Dmitriy E. , head of the department The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: K20vatt@ya.ru

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Саркисов Сергей Владимирович , начальник кафедры, ВИ(ИТ) Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева e-mail: ser-sark@yandex.ru	Sarkisov Sergey V. , head of the department MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: ser-sark@yandex.ru
Тупицин Юрий Евгеньевич , кандидат технических наук, доцент, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского e-mail: nordman14056@yandex.ru	Tupitsin Yuri E. , candidate of technical sciences, assistant professor, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky e-mail: nordman14056@yandex.ru
Филинков Евгений Леонидович , адъюнкт, ВА МТО им. генерала армии А.В. Хрулёва. e-mail: fil55reg1@mail.ru	Filinkov Evgeniy L. , Post-graduate student, VAMTO named after army General A.V. Khrulev e-mail: fil55reg1@mail.ru
Цховребов Алан Солтанович , кандидат педагогических наук, доцент, Военный институт(инженерно-технический) ВА МТО e-mail: alanec1985@mail.ru	<i>Tskhovrebov Alan S., candidate of pedagogical sciences, assistant professor, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics</i> e-mail: alanec1985@mail.ru
Шишкин Евгений Вячеславович , кандидат технических наук, доцент, докторант, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского e-mail: shishkin78@yandex.ru	Shishkin Evgeny V. , candidate of technical sciences, assistant professor, doctoral student, Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky e-mail: shishkin78@yandex.ru
Эль-Салим Суад Зухер , доктор физико-математических наук, преподаватель, Военный институт(инженерно-технический) ВА МТО e-mail: suad-olka@yandex.ru	El-Salim Suad Z. , doctor of Physical and Mathematical Sciences, lecturer, MI(E) The General A.V. Khrulev Military Academy of logistics e-mail: suad-olka@yandex.ru

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ РУКОПИСЕЙ В ЖУРНАЛЕ «ВОЕННЫЙ ИНЖЕНЕР»

Утверждены Решением Редакционной коллегии «28» июня 2016 года.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

«Военный инженер» - научно-практический журнал, охватывающий широкий спектр направлений научного поиска и практического применения научных разработок. **В журнале публикуются научные статьи, отражающие итоговые или промежуточные результаты поиска инновационных подходов к путям развития и совершенствования процессов, обеспечивающих безопасность жизненного цикла объектов военной инфраструктуры, включая подготовку квалифицированных специалистов для достижения указанной цели.** Каждый номер журнала включает в себя соответствующие рубрики. Содержание публикуемых материалов должно в полной мере соответствовать требованиям статьи 4 Закона Российской Федерации от 27.12.1991 N 2124-1 (актуальная редакция) «О средствах массовой информации».

ЭТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ.

Журнал стремится соблюдать высокие стандарты публикационной этики. Редакционной коллегией журнала установлены общедоступные правила этического поведения. Авторы, рецензенты и Редакционная коллегия обязаны гарантировать и обеспечивать соблюдение этих правил.

Этика автора (авторов) статьи

Автор (авторы) статьи должен (должны) представлять в редакцию результаты исследования, содержащие научную новизну. Представляемые им (ими) научные результаты и выводы должны быть достоверны и изложены не только исчерпывающе полно, но и корректно и объективно. Если в статье используются результаты или цитаты из других научных материалов, то в отношении таких результатов или цитат должны быть указаны точные библиографические ссылки на первоисточник. Автор (авторы) статьи не должен (не должны) представлять в статье результаты, практически одинаковые с теми, которые были ранее опубликованы. Автор (авторы) статьи должен (должны) исчерпывающе и объективно отражать реальное состояние рассматриваемых в статье вопросов и путей их решения. Автор (авторы) обязан (обязаны) библиографически корректно указывать публикации (при необходимости — цитировать такие публикации), определяющие существующее состояние рассматриваемых в статье вопросов. На любое утверждение (наблюдение, аргумент или вывод), опубликованное ранее, в статье должна быть соответствующая библиографическая ссылка. Данные, полученные лично (например, в процессе беседы или переписки), не должны

использоваться без письменного разрешения первоисточника и без отражения в тексте статьи факта наличия такого разрешения. Все лица (но не более трёх), внесшие значительный вклад в получение научных результатов, отраженных в статье, должны быть включены в состав авторского коллектива статьи. Лицам, внесшим сопутствующий вклад в получение представляемых в статье научных результатов, может быть выражена благодарность в тексте статьи. При наличии конфликта интересов, который может подвергнуть сомнению научную объективность автора (авторов) статьи, такой конфликт интересов должен быть указан в тексте статьи с разъяснениями автора (авторов) по этому вопросу.

Автор (авторы), обнаруживший (обнаружившие) существенные неточности или ошибки в статье, представленной в журнал или уже опубликованной в журнале, должен (должны) немедленно письменно (по электронной почте редакции) уведомить об этом Редакционную коллегию для принятия совместного решения о форме представления объективной информации. При представлении статьи в журнал автор (авторы) статьи должен (должны) на бланке установленного образца **подтвердить то, что он (они) ознакомились** с перечисленными правилами этического поведения и не допустил (допустили) нарушения этих правил.

Этика рецензентов статьи

Рецензент, считающий, что он не является специалистом по рассматриваемым в статье вопросам, или понимает, что он не сможет своевременно представить рецензию на статью, должен незамедлительно сообщить Редакционной коллегии о невозможности рецензирования им представленной статьи.

Рецензент должен быть объективным в отношении научного содержания и научной значимости статьи. При наличии конфликта интересов, который может подвергнуть сомнению научную объективность рецензента, рецензент должен незамедлительно сообщить Редакционной коллегии о невозможности рецензирования им представленной статьи.

Персональная критика автора (авторов) статьи недопустима.

Рецензент должен оценить полноту и объективность отражения в статье существующего состояния рассматриваемых вопросов и, при необходимости, указать (насколько это возможно — с точными библиографическими ссылками) на недостаточность такой полноты и объективности.

Представленная в Редакционную коллегию рукопись статьи является конфиденциальным документом. Рецензент может обсуждать содержание представленной рукописи статьи только с лицами, согласованными с Редакционной коллегией. Рецензент обязан никоим образом не использовать идеи и информацию, изложенные в представленной статье, до опубликования этой статьи.

Этика Редакционной коллегии журнала

При принятии решения о публикации статьи главный редактор журнала учитывает все мнения, высказанные членами Редакционной коллегии журнала и рецензентами.

Редакционная коллегия журнала не допускает публикации статей, в отношении которых известно о наличии плагиата, нарушения авторских прав, клеветы и т.п.

Редакционная коллегия журнала не допускает публикации статей, в отношении которых установлено несоответствие принятой этике публикаций.

Члены Редакционной коллегии обязаны обеспечивать конфиденциальность содержания представленной статьи (в том числе никоим образом не использовать идеи и информацию, изложенные в представленной статье, до её опубликования).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ СТАТЬИ

Электронная версия создается в программе Microsoft Word и сохраняется с расширением .doc. Формат страницы – А 4 (книжный), размерность полей «узкое», поля – верхнее и нижнее 2 см, левое – 3 см, правое – 1,5 см, абзацный отступ – 1,25 см, выравнивание – по ширине, междустрочный интервал – 1,5. Гарнитура – Times New Roman, размер шрифта – 12. Весь текст должен быть черного цвета, набран одной гарнитурой и размером шрифта.

В файлах статей не должно быть специальных знаков:

- **принудительного переноса;**
- **неразрывного пробела;**
- **принудительного абзаца.**

Изображения (фотографии) представляются в тексте статьи в формате tiff (предпочтительно) или jpeg, разрешение не менее 300 dpi. Иллюстрации (диаграммы, схемы, графики, рисунки и т.п.) размещаются непосредственно в тексте статьи, исходя из логики изложения и сопровождаются подрисуночными подписями. Сложные иллюстрации дублируются отдельными файлами в формате .tiff, .tif, .jpg. В тексте статьи следует дать ссылку на конкретную иллюстрацию, например, (см. рис. 2). На иллюстрациях должно быть минимальное количество слов и обозначений. Каждая иллюстрация должна иметь порядковый номер, название и объяснение значений всех кривых, цифр, букв и прочих условных обозначений, размещенных под ней. Все иллюстрации представляются только в черно-белом варианте.

Формулы выполняются в редакторе MathType 6.9. (не во встроенном редакторе Word 2007-2019). Простые формулы, символы и обозначения набираются без использования редактора формул. Форматирование выравниванием по центру страницы. Номера формул проставляются справа. **Запрещено использовать опцию «Символ»** для того, чтобы

поставить математический или любой другой знак, тире, кавычки и т.п.

Таблицы набираются в тексте. Таблицы должны располагаться в пределах рабочего поля (не попадать в зону полей). При переносе таблицы на другую страницу следует переносить и шапку таблицы. Название таблицы выравнивается по центру страницы, номер таблицы выравнивается по правому краю страницы. Таблиц в статье должно быть не более трех. Все таблицы должны иметь заголовки. Все графы в таблицах должны также иметь заголовки. Сокращение слов допускается только в соответствии с требованиями ГОСТ 7.12-2011, ГОСТ 7.11-2004.

Одновременное использование таблиц и графиков для изложения одних и тех же результатов не допускается.

Ссылки на литературу обозначаются соответствующей цифрой заключённой в квадратные скобки.

Встречающиеся в тексте условные обозначения и сокращения должны быть раскрыты при первом появлении их в тексте.

Единицы физических величин, используемых в статье, должны входить в Международную систему единиц (СИ) и указываются в кириллице (на русском языке). Допускается использование единиц, разрешенных к применению наряду с единицами СИ, а также кратных и дольных единиц.

В связи с включением журнала в специализированную информационную систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ), обязательным техническим требованием к статье при размещении в журнале является её обработка в **разметке XML**.

Страницы не нумеруются. Использование подстрочных ссылок не допускается.

Рекомендуемый объем текста статьи 8–12 с. формата А-4 (книжный) с учетом графических вложений. Общее количество иллюстраций (диаграмм, графиков, рисунков, фотографий и т.п.) не должно превышать 10.

Представляемые материалы должны включать последовательно расположенные элементы:

- Индекс универсальной десятичной классификации (УДК), соответствующий заявленной теме и требованиям

ГОСТ 7.90-2016 СИБИД. Универсальная десятичная классификация. Структура, правила ведения и индексирования слева, обычное начертание. **В связи с тем, что научный журнал «Военный инженер» является специализированным изданием, код УДК любой статьи должен начинаться цифрами от 355 до 359, соответствующим описаниям «Военное искусство», «Военные науки», «Оборона страны», «Вооружённые силы» или 725.18 «Военные здания» (Архитектура);**

- Инициалы и фамилия автора (авторов) – на русском и английском языках, справа, полужирным курсивным начертанием;
- Название статьи – на русском и английском языках, строчные буквы, по центру полужирным начертанием;
- Аннотация (abstract) до 100 слов – на русском и английском языках, курсивом;
- Ключевые слова (keywords) - слова, несущие в тексте основную смысловую нагрузку. Пять-семь ключевых слов или словосочетаний, отделяемых друг от друга запятой – на русском и английском языках, курсивом;
- Текст статьи, оформленный в соответствии с указанными выше требованиями;
- Список литературы.

Элементы статьи отделяются друг от друга одной строкой.

Аннотация статьи выполняет важную представительскую функцию во всех информационных базах и является независимым от статьи источником информации. Аннотация отражает содержание статьи, излагает существенные факты и результаты научной работы. Аннотация не должна искажать содержание статьи или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации. В ней должна быть отражена суть исследования, а именно: структура статьи, включающая цель исследования, методы его проведения, полученные результаты. Название статьи не должно повторяться в аннотации.

Текст аннотации должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации. Следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.

Как в аннотации, так и в названии статьи не рекомендуется употреблять не общепринятые аббревиатуры и сокращения, используемые в статье.

Общие требования к оформлению, структуре и содержанию аннотаций к статьям указаны в ГОСТ Р 7.0.99-2018 (ИСО 214-76) «Реферат и аннотация. Общие требования».

Рекомендуемый объем аннотации - не более 100 слов (с учетом предлогов).

Автор (авторы) должны придерживаться **обобщенной структуры текста статьи**:

- вводная часть (актуальность, существующие проблемы) – объем 0,5–1 с.;
- основная часть (постановка и описание задачи, методика исследования, изложение основных результатов);
- заключительная часть (предложения, выводы) – объем 0,5–1 с.

В тексте статьи должны быть ссылки на все источники из списка литературы (порядковый номер источника в тексте статьи указывается в квадратных скобках). Список литературы дает представление о широте профессионального кругозора автора, а также об актуальности и качественном уровне проведенных им исследований. Рекомендуемое

количество источников литературы для научных статей практического содержания – не менее 5, для теоретических статей – не менее 10. Ссылаться на неопубликованные работы не разрешается.

В списке литературы источники располагаются в порядке их упоминания в статье.

Библиографические ссылки в списке литературы должны включать следующую информацию:

- для монографии — фамилии и инициалы всех авторов; полное название книги; наименование издательства и город, в котором оно находится; год издания; количество страниц книги;
- для статей — фамилии и инициалы всех авторов; полное название статьи; название журнала, газеты или сборника, в котором (которой) опубликована статья; год издания, идентификатор времени публикации (для газеты — номер выпуска или дата выхода, для журнала — год, том или номер выпуска, серия), номера страниц, занятых статьёй (начальная и конечная);
- для стандартов — название стандарта, номер стандарта, место и год издания, количество страниц;
- для патентных документов — название патента (изобретения); номер патента; страна, номер и дата заявки на изобретение, дата опубликования патента; номер бюллетеня изобретений, страницы;
- для депонированных научных работ — фамилии и инициалы всех авторов; полное название работы; название депонирующего информационного центра; номер и дата депонирования; количество страниц работы;
- для диссертаций — фамилии и инициалы автора, полное название диссертации; на соискание какой ученой степени представлена диссертация; место и год защиты диссертации; количество страниц диссертации;
- для электронных ресурсов удаленного доступа — фамилии и инициалы всех авторов, полное название материала, электронный адрес (URL), протокол доступа к сетевому ресурсу, дата публикации или создания, дата обращения к электронному ресурсу (если невозможно установить дату публикации или создания).

Названия книг, статей, иных материалов и документов, опубликованных на иностранном языке, а также фамилии их авторов должны быть приведены в оригинальной транскрипции.

В список литературы не должны включаться неопубликованные материалы или материалы, не находящиеся в общественном доступе. Максимальная длина одной библиографической ссылки не должна превышать 500 символов.

Единый формат оформления библиографических ссылок формируется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка».

Примеры оформления ссылок и списков литературы.

Монографии:

Тарасова В. И. Политическая история Латинской Америки : учеб. для вузов. — 2-е изд. — М.: Проспект, 2006. — С. 305-412

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы : межвуз. сб. науч. тр. / Саратов. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1999. — 199 с.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации.

Райзберг, Б. А. Современный экономический словарь / Б. А. Райзберг, Л. У. Лозовский, Е. Б. Стародубцева. -5-е изд., перераб. и доп. — М.:ИНФРА-М, 2006. — 494 с.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, не повторяются в сведениях об ответственности. Поэтому:

Райзберг Б. А., Лозовский Л. Ш., Стародубцева Е. Б. Современный экономический словарь. 5-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2006. 494 с.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Статьи из журналов и сборников:

Адорно Т. В. К логике социальных наук // Вопр. философии. — 1992. — № 10. — С. 76-86.

Crawford, P. J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P. J. Crawford, T. P. Barrett// Ref. Libr. — 1997. Vol. 3, № 58. — P. 75-85.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, могут не повторяться в сведениях об ответственности.

Crawford P. J., Barrett T. P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // Ref. Libr. 1997. Vol. 3. № 58. P. 75-85.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве/отсосе // Теплофизика и аэромеханика. — 2006. — Т. 13, №. 3. — С. 369-385.

Кузнецов, А. Ю. Консорциум — механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской

науке. — М.: Науч. мир, 2003. — С. 340-342.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья : аналит. обзор, апр. 2007/ Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. — М. : ИМЭМО, 2007. — 39 с.

Патенты:

Патент РФ № 2000130511/28, 04.12.2000.

Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат//Патент России № 2122745.1998. Бюл. № 33.

Материалы конференций

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион, конф.. Ярославль, 2003. 350 с.

Марьинских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11-12 сент. 2000 г.). — Новосибирск, 2000. — С.125-128.

Авторефераты

Глухов В.А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Новосибирск, 2000. —18 с.

Диссертации

Фенухин В. И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северо-Кавказского региона : дис.... канд. полит, наук. — М.. 2002. — С. 54-55.

Интернет-документы:

Официальные периодические издания : электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 2005-2007. URL: <http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html> (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.03. URL: <http://www.oim.ru/reader.asp?nomers=366> (дата обращения: 17.04.07).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121.html> (дата обращения: 17.10.08).

Литчфорд Е. У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А. В. Колчака: сайт. — URL: <http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm> (дата обращения 23.08.2007).

НАПРАВЛЕНИЕ РУКОПИСЕЙ НА РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Научная статья направляется докторантами, адъюнктами, соискателями, докторами и кандидатами наук Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии В.А. Хрулёва и подчинённых институтов, расположенных в Санкт-Петербурге в 2 экземплярах: 1 экземпляр на бумажном носителе и 1 экземпляр на электронном носителе.

Все другие авторы направляют свои скомпонованные работы одной папкой по электронной почте редакции журнала или на электронном носителе официальным почтовым отправлением. В названии папки должны быть указаны: слово «Статья», аббревиатура ВВУЗа (ВУЗа, научной или производственной организации), фамилия автора (одного из соавторов).

Последовательность расположения файлов в папке:

Файл №1. Текст статьи

1. УДК (слева).
2. Инициалы и фамилия автора (авторов) на русском и английском языках (строкой ниже по центру).
3. Заглавие статьи на русском и английском языках (по центру строчными буквами).
4. Аннотация и ключевые слова (5–7 слов или словосочетаний) на русском и английском языках (через строку по ширине)
5. Основной текст статьи.
6. Список литературы (Библиографический список).

Файл №2. Контактные данные организации (в случае, если статью направляет организация)

1. Полное наименование организации.
2. Почтовый (включая наименование страны или республики и почтовый индекс) и электронный адрес организации, контактный телефон, фамилия, имя, отчество уполномоченного сотрудника.

Файл №3. Экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в 1 экз.

Файл №4. Письменное подтверждение автора (авторов) соблюдения правил этического поведения, приведённые в настоящих «Правилах...» (на бланке установленного образца).

Файл №5. Анкета автора (каждого соавтора).

Требования к анкете автора

Анкета автора (каждого соавтора), должна содержать следующие данные:

- фамилия, имя, отчество полностью;
- ученая степень полностью;
- ученое звание;
- место работы (полное официальное название организации);
- занимаемая должность;
- шифр и наименование научной специальности;
- знак охраны авторского права, инициалы, фамилия автора, год публикации;
- контактный телефон (рабочий, домашний, сотовый) – в журнале не публикуется;
- адрес электронной почты – в журнале публикуется;
- название статьи;
- почтовый адрес с индексом, если журнал будет пересылаться по почте.

Сведения в полном объеме приводятся на русском и английском языках.

К научной статье прилагается:

- сканированное (с подписями и печатью) экспертное заключение о возможности открытой публикации материалов в 1 экз.
- письменное, по прилагаемой форме, подтверждение автора (авторов) того обстоятельства, что он (они) ознакомился (ознакомились) с правилами этического поведения и не допустил (не допустили) их нарушения, а также выражение согласия автора (авторов), на безвозмездное размещение статьи в сети Интернет, как на странице журнала на сайте, так и на сайте Научной электронной библиотеки.

РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ РУКОПИСЕЙ

Докторантам, адъюнктам, соискателям Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии В.А. Хрулёва её институтов и филиалов необходимо представить от кафедры, на которой готовится диссертация, следующие документы:

- выписку из протокола заседания кафедры о рекомендации статьи к публикации в журнале «Военный инженер»;
- оригинал подписанной и заверенной печатью рецензии по поручению кафедры от кандидата или доктора наук, чья научная специальность или перечень научных работ соответствуют научному направлению статьи.

Аналогичный перечень документов предоставляют сотрудники Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии В.А. Хрулёва и её филиалов, имеющим учёные степени кандидата наук и не являющиеся докторантами.

Авторам, являющимися докторантами, адъюнктами других высших военных образовательных учреждений, а также докторантам (аспирантам) иных ВУЗов и научных учреждений, следует представить внешнюю заверенную рецензию доктора наук, чья научная специальность или перечень научных работ соответствуют научному направлению статьи.

Наличие внешней рецензии (рецензий) не означает, что Редакционная коллегия журнала не вправе направить рукопись статьи на дополнительное рецензирование.

Авторам, являющимися докторами наук наличие рецензии не требуется.

Ответственный секретарь Редакционной коллегии журнала осуществляет регистрацию и учет движения поступивших документов в журнале регистрации.

Ответственный секретарь Редакционной коллегии журнала осуществляет (в трехдневный срок от даты поступления материалов статьи, предлагаемой к публикации) контроль комплектности и соответствия представленных материалов установленным требованиям.

Материалы статей, не соответствующие установленным требованиям, возвращаются авторам статей в семидневный срок от даты поступления таких материалов с указанием причин возврата.

Председатель Редакционной коллегии (заместитель председателя Редакционной коллегии) журнала в пятидневный срок от даты поступления материалов статьи определяет профильную рубрику (профильные рубрики) журнала.

Ответственный секретарь Редакционной коллегии журнала в семидневный срок от даты поступления материалов статьи, предлагаемой к публикации, направляет копии материалов статьи на бумажном носителе куратору профильной рубрики (кураторам профильных рубрик) журнала.

Статьи, предлагаемые к публикации в журнале, проходят обязательное рецензирование, кроме оговорённых выше случаев.

Рецензентом должен являться специалист, имеющий ученую степень доктора наук по профилю рецензируемой работы или два специалиста, имеющих ученую степень кандидата наук по профилю рецензируемой работы.

Рецензентами должны являться признанные специалисты по тематике рецензируемых материалов и имеющие в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемой статьи.

Персональный состав рецензентов определяется куратором рубрики журнала (как правило, из членов Редакционной коллегии журнала или из числа постоянных экспертов, рекомендованных Редакционной коллегией журнала). При необходимости, персональный

состав рецензентов может быть определен или дополнен председателем Редакционной коллегии журнала (заместителем председателя Редакционной коллегии журнала). При этом должны быть обеспечены компетентность, независимость и беспристрастность рецензентов.

Ответственный секретарь редакционной коллегии журнала в трехдневный срок от даты определения рецензента (рецензентов) статьи направляет рецензенту (рецензентам) статьи копии её статьи на бумажном носителе.

Срок представления рецензии на статью, как правило, не может превышать двух недель от даты направления материалов статьи рецензенту (рецензентам).

Структура рецензии на статью должна соответствовать установленным требованиям.

Содержание рецензии, содержащей рекомендацию статьи к публикации, должно аргументировано подтверждать, что рассмотренная статья содержит новые интересные результаты и заслуживает публикации.

Рецензия на статью представляется ответственному секретарю Редакционной коллегии журнала на бумажном носителе, должна быть подписана рецензентом (рецензентами) и иметь проставленную дату подписания рецензии.

Рецензии, не соответствующие указанным требованиям, ответственным секретарём Редакционной коллегии журнала не принимаются.

Рецензия хранится в делах Редакционной коллегии журнала в течение пяти лет от даты публикации статьи или от даты принятия Редакционной коллегии журнала решения об отказе в публикации статьи.

Заседание Редакционной коллегии журнала проводится по мере необходимости, но, как правило, не реже одного раза в квартал.

На заседании Редакционной коллегии журнала куратор рубрики (в случае невозможности присутствия на заседании куратора рубрики – уполномоченный им член Редакционной коллегии журнала), изучивший материалы представленной к публикации статьи и рецензию (рецензии) на эту статью, дает характеристику представленной к публикации статьи и свою оценку возможности (целесообразности) публикации данной статьи в журнале.

Решение Редакционной коллегии журнала о публикации статьи или о необходимости доработки статьи с учетом замечаний или о невозможности (нецелесообразности) публикации статьи принимается при наличии кворума заседания Редакционной коллегии журнала (присутствие на заседании более половины членов Редакционной коллегии журнала) квалифицированным большинством в две трети членов Редакционной коллегии журнала, присутствующих на заседании.

При наличии существенных разногласий во мнениях членов Редакционной коллегии журнала решение о публикации статьи, или о доработке статьи с учетом замечаний, или о

невозможности (нецелесообразности) публикации статьи принимается главным редактором (председателем Редакционной коллегии) журнала или председательствующим на данном заседании Редакционной коллегии журнала заместителем главного редактора (заместителем председателя Редакционной коллегии) журнала.

При наличии научных, правовых либо иных существенных оснований главный редактор (председатель Редакционной коллегии) журнала может:

- затребовать дополнительные материалы, подтверждающие обоснованность (целесообразность, допустимость) данной публикации;
- отказать в публикации представленной статьи.

Ответственный секретарь Редакционной коллегии журнала в семидневный срок после принятия Редакционной коллегией журнала решения о публикации статьи или об отказе в публикации статьи направляет автору (авторам) статьи выписку из решения (мотивированного, в случае отказа от публикации статьи) Редакционной коллегии журнала по присланной статье. К выписке прикладываются копии рецензий на статью (с удаленными из этих копий сведениями о рецензентах статьи).

Ответственный секретарь Редакционной коллегии журнала осуществляет хранение контрольного экземпляра поступивших документов в течение пяти лет от даты принятия Редакционной коллегией журнала решения о публикации статьи или об отказе в публикации статьи.

Автор статьи дает письменное согласие на её воспроизведение на безвозмездной основе в сети Интернет на странице журнала «Военный инженер» и на сайте Научной электронной библиотеки. Выплата гонорара за публикации не предусматривается.