

DOI: 10.30977/VEIT.2019.16.0

ISSN: 2226-9266



АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ
ВИДАННЯ**

ВИПУСК



ХАРКІВ

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Кафедра автомобільної електроніки

Автомобіль і Електроніка. Сучасні Технології

**Електронне наукове фахове видання
(друкована версія)**

16/2019

**Vehicle and Electronics.
Innovative Technologies**
Electronic scientific professional edition
(printed version)

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2019.16.0

Харків 2019

Журнал засновано в 2011 р. кафедрою Автомобільної електроніки, Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2019.16.0

В журналі публікуються матеріали теоретичних та практичних досліджень присвячених перспективним напрямкам розвитку автомобільної електроніки, впровадженню та удосконаленню гібридних та електромобілів, моделюванню транспортних процесів і систем, інформаційним технологіям й інтелектуальним системам на транспорті, сучасним технологіям діагностики систем і агрегатів транспортних засобів. Журнал також включає матеріали доповідей учасників Всеукраїнської науково-методичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку вищої освіти в Україні».

Затверджено: Вченою радою університету від 25.03.2011, протокол № 8

Журнал включено до **Переліку електронних наукових фахових видань України, категорія «Б» за спеціальностями – 113, 121, 122, 133, 151, 274, 275**, наказом Міністерства освіти і науки України № 612 від 07.05.2019 та **141, 142**, наказом Міністерства освіти і науки України № 975 від 11.07.2019.

Спеціальності: 113 - Прикладна математика
 121 - Інженерія програмного забезпечення
 122 - Комп'ютерні науки
 133 - Галузеве машинобудування
 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 274 - Автомобільний транспорт
 275 - Транспортні технології (за видами)
 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 142 - Енергетичне машинобудування

Редакційна колегія

Головний редактор: Дзюбенко Олександр Андрійович, к.т.н., доц.

Заступник головного редактора: Аргун Щасяна Валіковна, к.т.н., доц.

Відповідальний секретар: Трунова Ірина Сергіївна, к.т.н., доц.

Члени редколегії: Абрамчук Ф. І. (д-р техн. наук, проф.), Алексієв О. П. (д-р техн. наук, проф.), Бажинов О. В. (д-р техн. наук, проф.), Батигін Ю. В. (д-р техн. наук, проф.), Богаєвський О. Б. (д-р техн. наук, проф.), Богомолов В. О. (д-р техн. наук, проф.), Вдовиченко В. О. (канд. техн. наук, доц.), Волков В. П. (д-р техн. наук, проф.), Воронков О. І. (д-р техн. наук, проф.), Врублевський О. М. (д-р техн. наук, проф.), Гнатів А. В. (д-р техн. наук, проф.), Гурко О. Г. (д-р техн. наук, проф.), Горбачов П. Ф. (д-р техн. наук, проф.), Дваденко В. Я. (д-р техн. наук, проф.), Далека В. Х. (д-р техн. наук, проф.), Клименко В. І. (д-р техн. наук, проф.), Клец Д. М. (д-р техн. наук, проф.), Колодяжний В. М. (д-р фіз.-мат. наук, проф.), Корогодський В. А. (д-р техн. наук, проф.), Михалевич М. Г. (канд. техн. наук, доц.), Наглюк І. С. (д-р техн. наук, проф.), Нагорний Є. В. (д-р техн. наук, проф.), Ніконов О. Я. (д-р техн. наук, проф.), Подригало М. А. (д-р техн. наук, проф.), Полянський О. С. (д-р техн. наук, проф.), Сараєв О. В. (д-р техн. наук, проф.), Смирнов О. П. (д-р техн. наук, проф.), Солодов В. Г. (д-р техн. наук, проф.), Тропіна А. А. (д-р техн. наук, проф.), Чаплигін Є. О. (канд. техн. наук, доц.), Шуклінов С. М. (д-р техн. наук, проф.), Янютін Є. Г. (д-р техн. наук, проф.)

Адреса редакції: Харківський національний автомобільно-дорожній університет,
 Автомобільний факультет,
 Кафедра автомобільної електроніки,
 вул. Ярослава Мудрого, 25, Харків, Україна, 61002,

Тел.: (057) 707-36-96; **e-mail:** ae.hnadu@gmail.com

Статті друкуються в авторській редакції. Редакція не несе відповідальності за орфографічні, стилістичні чи інші помилки, допущені автором публікації.

ЗМІСТ

Хрулев А. Э. Использование логико-вероятностных методов для определения причин отказов турбокомпрессоров в эксплуатации ДВС.....	5
Смирнов О. П., Борисенко А. О., Марченко А. В. Діагностика високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf.....	19
Леонтьев Д. М., Тімонін В. О., Савчук А. Д., Губарьков С. С. Оцінка ефективності гальмування чотиривісного транспортного засобу в разі виходу з ладу одного з контурів його робочої гальмової системи.....	26
Гнатов А. В., Аргун Ш. В., Тарасов К. С., Тарасова В. В., Суханов А. С., Чуйко П. В. Ентропія в системах автоматичного управління складних електричних систем.....	35
Ponikarowska S. V. New approaches in teaching english to students of automobile.....	43
Ручка О. О., Рикун В. Г., Новіков С. В., Гнатова Г. А. Алгоритми тестового діагностування вентилярних кіл.....	49
Красников С. В. Моделирование и анализ колебаний корпуса турбины 500 МВт при снижении рабочей частоты.....	59
Шимук Д. С., Тарасова В. В., Кляхін Б. В., Альховський Г. С. Аналіз проблем використання нетрадиційних джерел електричної енергії.....	67
Богдан Д. И., Коряк А. А., Егоров П. А., Шарапата А. С., Вельможная Ю. Л. Использование галтования после лазерной резки для подготовки поверхностей деталей к нанесению декоративных покрытий	78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВС

Хрулев А. Э.¹

¹Международное моторное бюро

Аннотация. Несмотря на успехи в исследованиях и разработке конструкций турбокомпрессоров наддува двигателей внутреннего сгорания, к настоящему времени не создано надежных методик для определения причин их отказов, а применение известных методик на практике требует настолько большой трудоемкости, что фактически неэффективно. В исследовании показано, что причины неисправности турбокомпрессоров наддува ДВС могут определяться логико-вероятностными методами, в том числе, на основе анализа дерева отказов, с привлечением опыта исследования неисправностей турбокомпрессоров. С этой целью было разработано модифицированное (перевернутое) дерево отказов, позволяющее выполнять логический анализ в обратном по отношению к общепринятому направлению – от события отказа системы к базисным событиям, инициирующим отказ. Проверка предлагаемой методики на реальных случаях отказов показала, что определение причины отказа может быть сделано с достаточной для практики достоверностью при минимальных затратах времени.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, турбокомпрессор, неисправность, отказ, причина.

Введение

Значительные успехи, достигнутые в исследованиях и конструировании турбокомпрессоров для наддува ДВС за все время развития двигателей этого типа [1, 2], не позволяют, тем не менее, говорить о высокой надежности этих агрегатов. Турбокомпрессор по-прежнему, как и десятилетия назад, остается неким "узким" местом двигателя, причем в эксплуатации встречается большое количество случаев неисправностей и отказов, вызванных не только самой эксплуатацией и ошибками в обслуживании двигателя, но и производственными дефектами [3]. То есть, даже при значительных усилиях, направленных на исследования, разработки новых конструкций и производственных технологий, современные турбокомпрессоры наддува ДВС имеют достаточно высокую повреждаемость, в них возможно возникновение неисправностей и отказов, для эффективного устранения которых требуется правильное определение их причин.

Однако именно с проблемой правильного определения причин неисправностей и отказов турбокомпрессоров в эксплуатации вынуждены сталкиваться ремонтные организации, автотранспортные предприятия и владельцы транспортных средств. В прошлые годы турбокомпрессоры по конструкции

представляли собой достаточно простые и недорогие агрегаты с механическим регулированием (перепускными клапанами типа Wastegate, открывавшими байпасный канал мимо турбины), имевшие сравнительно невысокую стоимость [4, 5]. Такой агрегат (рис. 1), в случае ошибочного определения причины неисправности, при повторном выходе из строя мог быть не только вновь заменен без значительных затрат, но даже и отремонтирован. Вследствие чего определению причины неисправности турбокомпрессоров не уделялось большого внимания.



Рис. 1. Схема с механическим регулированием перепускным клапаном типа Wastegate

Дальнейшее ужесточение требований экологии привело к появлению сложных систем турбонаддува [5, 6]: с изменяемой геометрией, в том числе, с управляемыми поворотными лопатками соплового аппарата турбины (VNT – Variable Nozzle Turbo) и

регулируемым компрессором (Variable Geometry Compressor). Этот процесс сопровождался "обрастанием" агрегата дополнительными механическими элементами и электронными системами управления, а стремление конструкторов устранить запаздывание турбокомпрессора при изменении режима работы ДВС ("турбояму") потребовало не только уменьшения габаритов вместе со значительным ростом частоты вращения ротора, но и создания 2-ступенчатых агрегатов, а также турбокомпрессоров с электрическим усилителем (Electric Boosting).

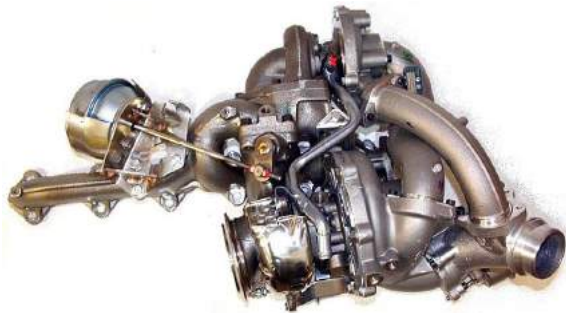


Рис. 2. Система наддува ДВС

Все это не только превратило современный турбокомпрессор в сложную и дорогую систему наддува (рис. 2), практически не предполагающую, даже в случае выхода из строя одного из ее элементов, никакого ремонта, кроме замены агрегата в сборе, но и потребовало специальной подготовки персонала эксплуатирующих, ремонтных и снабженческих служб. В такой ситуации роль методик, позволяющих правильно устанавливать причины неисправностей турбокомпрессоров, заметно возрасла, поскольку попытки "по старинке" отремонтировать отказавший турбокомпрессор его простой заменой без точного установления причины отказа нередко вызывают совершенно непропорциональное увеличение затрат на повторную замену.

Анализ публикаций

Анализ опубликованных источников показывает, что известные на сегодня способы (назовем их условно методиками) определения причин неисправностей и отказов турбокомпрессоров в эксплуатации можно разделить на 2 группы.

Первая группа представляет собой разного рода и детальной проработанности таблицы неисправностей (рис. 3), в которых прописаны основные симптомы неисправной работы турбокомпрессора и соответствующие

им причины [7, 8], что, на первый взгляд, должно помочь потребителю выполнить поиск причины неисправности (troubleshooting).

Possible Causes	Problem								
	Compressor/turbine wheel defective	Low power/boost pressure too low	Boost pressure too high	Black smoke	Blue Smoke	Turbocharger is noisy	High oil consumption	Oil leakage at compressor	Oil leakage at turbine
Dirty air filter system		*	*	*	*	*	*	*	*
Air-intake and pressure line distorted or leaking		*	*	*	*	*	*	*	*
Excessive flow resistance in exhaust system / leakage upstream of turbine		*	*	*	*	*	*	*	*
Oil feed and drain lines clogged, leaking or distorted				*	*	*	*	*	*
Crankcase ventilation clogged or distorted				*	*	*	*	*	*
Coke or sludge in turbocharger bearing housing				*	*	*	*	*	*
Fuel system/injection system defective or improperly adjusted		*	*	*	*	*	*	*	*
Valve guides, piston rings, engine, or cylinder liners worn / increased blow-by		*	*	*	*	*	*	*	*
Dirty compressor or charge air cooler		*	*	*	*	*	*	*	*
Boost pressure control swing valve / poppet valve does not close		*	*	*	*	*	*	*	*
Boost pressure control swing valve / poppet valve does not open		*	*	*	*	*	*	*	*
Control line to swing valve / poppet valve defective		*	*	*	*	*	*	*	*
Piston ring seals defective		*	*	*	*	*	*	*	*
Turbocharger bearing damage	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Foreign-body damage to compressor or turbine	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Exhaust gas leakage between turbine outlet and exhaust pipe		*	*	*	*	*	*	*	*
Engine air collector cracked / missing, loose gaskets		*	*	*	*	*	*	*	*
Turbine housing / swing valve damaged	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Insufficient oil supply to turbocharger	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Рис. 3. Типичная таблица неисправностей турбокомпрессора

Из рис. 3 наглядно видно, что каждой проблеме (симптому) соответствует более десятка возможных причин. Каким образом потребитель сможет проверить их все, и сколько времени для этого нужно, составители таблиц не уточняют

Тем не менее, такое простое представление, при всей его доступности и понятности даже для подготовленных потребителей – владельцев транспортных средств, имеет не только достаточно низкую практическую ценность для многих реальных случаев неисправностей турбокомпрессоров, но и создает трудности при определении причины их неисправности. Это связано с многозначностью указания причины неисправности – таблицы обычно дают при схожести признаков десятки возможных причин, причем чем более "продвинута" и подробна таблица, тем большую неоднозначность она дает [9, 10]. Вследствие этого использование таких таблиц на практике требует настолько большой трудоемкости, что фактически неэффективно, в результате чего потребители в эксплуатации, как правило, затрудняются определить причину возникшей неисправности.

Вторая группа методик объединяет справочники неисправностей турбокомпрессоров [10, 11, 12]. В целом это те же самые таблицы неисправностей, но иллюстрированные фотографиями поврежденных деталей и снабженные подробным описанием самих

повреждений и их причин. Несмотря на более солидный вид, данный способ страдает теми же проблемами неоднозначности – для того, чтобы найти причину неисправности турбокомпрессора, в общем случае требуется выполнить десятки проверок различных версий.



Рис. 4. Типичное описание одного из видов неисправности (загрязнение масла) в справочнике [11]

Общим для обеих методик определения причин неисправностей является то, что фактически они требуют не просто знаний конструкции и работы турбокомпрессоров, а специальной подготовки и экспертного опыта, что препятствует их применению на практике – неподготовленный потребитель, скорее всего, не сможет с их помощью найти неисправность, а высококвалифицированный специалист вполне способен найти неисправность и без них, положившись на свои знания и опыт. Кроме того, поскольку таблицы и справочники неисправностей составляются, главным образом, производителями турбокомпрессоров, в них практически невозможно найти описаний производственных дефектов. С одной стороны, это вполне логично, поскольку указание дефекта в технической литературе производителя воспринимается среднестатистическим потребителем как признание производителем собственного брака. Однако, с другой стороны, отсутствие в справочнике или таблице упоминания о производственных причинах неисправностей сразу делает информацию однобокой и неполной.

В результате правильное определение причины неисправности турбокомпрессора на практике чаще всего удается только специалисту с экспертным опытом исследования причин неисправностей [13, 14] – в других случаях потребитель рискует ошибиться, получить повторный отказ и удвоить, а иногда и утроить собственные затраты на ремонт транспортного средства.

Таким образом, есть все основания утверждать, что несмотря на серьезные усилия в исследованиях и конструировании турбокомпрессоров, к настоящему времени так и не были созданы надежные методики, позволяющие с необходимой для практики достоверностью находить причину неисправности (отказа) этих агрегатов.

Цель и постановка задачи

Целью работы является разработка простой методики определения причин неисправностей турбокомпрессоров, применимой не только специалистами экспертного уровня, но и средней квалификации.

Для достижения поставленной цели был применен логико-вероятностный метод анализа дерева отказов [15, 16], ранее не применявшийся при определении причин неисправности турбокомпрессоров.

Особенности анализа технических систем с помощью дерева отказов

Дерево отказов – многоуровневая графологическая структура (граф) причинных взаимосвязей в системе, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций, для того чтобы отыскать возможные причины их возникновения (рис. 5). Возможные воздействия на систему вызывают повреждения (базовые события, порождающие отказ), что приводит к отказу элементов (деталей), затем составных частей (узлов) и всей системы в целом.

Анализ дерева отказов (Fault Tree Analysis – FTA) является распространенным методом моделирования надежности сложных технических систем, выполняемым на стадии их проектирования [15].

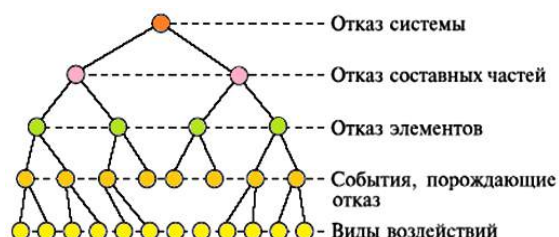


Рис. 5. Дерево отказов

Дерево отказов определяет причинно-следственные связи отказа всей системы с отказами ее подсистем и отдельных элементов, а также другими событиями и воздействиями (рис. 4). Дерево отказов обычно получают в результате последовательной детализации событий, связанных с отказами системы, в направлении от следствия к причине отказа (сверху вниз). При этом анализ выполняется в обратном направлении – "от причины к следствию", а поскольку он проводится на этапе проектирования изделия, такой анализ позволяет рассчитать вероятностные характеристики надежности.

Таким образом, можно выделить два вида анализа, выполняемого с помощью дерева отказов:

1. Качественный (логический) анализ – это нахождение в виде структурного графа всех возможных комбинаций так называемых базовых или элементарных событий, которые могут обусловить наступление исследуемого конечного события (отказа системы).

2. Количественный анализ – определении вероятности наступления конечного события (аварии) на основе структурного графа, полученного путем логического анализа, и данных о вероятностях наступления базовых событий.

Понятно, что количественный анализ, необходимый при проектировании, может иметь ограниченное значение для поиска причин неисправностей агрегата, уже находящегося в массовом производстве, особенно, когда анализ не ставит целью оценку и/или повышение надежности агрегата, поскольку потребитель практически не имеет никаких возможностей повлиять на производство. Вследствие этого основная задача данной работы рассматривалась именно с точки зрения логического анализа.

Понятно, что построение дерева отказов предполагает определение и детальное описание следующих событий:

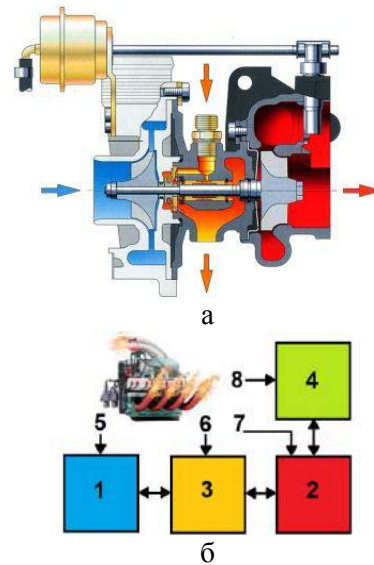
- 1) конечное (аварийное) состояние системы, а также основные его признаки;
- 2) подсистемы (составные части, элементы) и связанные с ними события, которые могут привести к отказу системы;
- 3) воздействия, вызывающие эти события.

Однако, прежде чем начинать работу по составлению дерева отказов, необходимо детально выяснить, с чем именно придется иметь дело, то есть, какие у исследуемой системы характерные особенности, какие у нее

известны виды неисправностей, в чем состоят их причины и каковы их признаки.

Особенности турбокомпрессора как исследуемой технической системы

Для структурирования и выделения в исследуемой системе составных частей и элементов была принята следующая блочная схема турбокомпрессора, состоящего из 4-х основных узлов – компрессора, турбины, подшипникового узла и системы управления (рис.6). При этом важно то, что каждый из узлов имеет свою собственную связь с ДВС.



1 – компрессор; 2 – турбина; 3 – подшипниковый узел; 4 – система управления (клапан перепускной заслонки типа Wastegate, турбина с регулируемым сопловым аппаратом VNT или другое, с приводным механизмом и блоком управления), внешние воздействия на турбоагрегат (от двигателя внутреннего сгорания); 5 – впускная система ДВС; 6 – масляная система и картер ДВС; 7 – цилиндры ДВС и выпускной коллектор; 8 – система управления двигателем

Рис. 6. Турбокомпрессор: а – схематическое изображение; б – блок-схема

Так, компрессор связан со впускной системой двигателя, турбина – с цилиндрами и выпускной системой, на подшипниковый узел влияет работа системы смазки, а также условия дренажа масла из подшипников, включая давление в картере. Электронная часть системы управления при этом связана с системой управления двигателем, в то время как исполнительные элементы системы управления зависят от состояния и работы той системы двигателя, где она расположена (например, для клапана Wastegate и турбины с регулируемым сопловым аппаратом VNT это цилиндры и выпускная система).

На данном этапе была проведена проверка источников информации на использование разбиения турбокомпрессора на узлы и применение анализа дерева отказов к предлагаемой блочной схеме. Оказалось, что аналогичный предложенному (рис. 6) принцип деления на узлы с целью последующего анализа в источниках по турбокомпрессорам не обнаруживается, а анализ дерева отказов турбокомпрессора в известных работах практически не упоминается, за исключением работы [17], где дерево отказов настолько сильно упрощено, что вряд ли может иметь практическое применение в задачах поиска неисправностей турбокомпрессоров.

Однако, даже получив блок-схему системы, построить ее дерево отказов просто так, умозрительно, не получится – требуется еще несколько последовательных приближений.

1-е приближение к дереву отказов турбокомпрессора – определение источников, причин и признаков неисправностей

Практика показывает [3, 10, 13, 14, 18], что все неисправности турбокомпрессоров в общем случае можно разделить на несколько групп по источникам их возникновения (рис. 7).



Рис. 7. Источники неисправностей турбокомпрессоров

Первая группа – это производственные неисправности, которые делятся на 2 подгруппы [19] – дефекты первичного производства (качество материалов, мех. обработки и сборки, балансировки и настройки электронной системы управления) и дефекты вторичного производства (ремонта), которые, в свою очередь, подразделяются на дефекты восстановления турбокомпрессора (аналогично первичному производству), замены/установки (не устранена причина выхода турбокомпрессора из строя – грязь в масле, в воздухопроводах, интеркулере, высокое давление в картере, повреждение маслопроводов, использование

герметиков и т.д.) и обслуживания ДВС (некачественное масло, несвоевременное обслуживание, оставленный внутри инструмент, крепеж и т.д.).

Вторая группа – это эксплуатационные неисправности, которые чаще связаны с самим ДВС, они наиболее многочисленны и включают, в 1-ю очередь, нарушение подачи масла (низкое давление) или его слива (повышенное давление в картере ДВС, коксование дренажных магистралей), грязное масло, в том числе, при нарушении рекомендаций по срокам его замены или несоответствующее масло, вызывающее нагарообразование или осадок (особенно, при очень низких и очень высоких температурах), плохая фильтрация воздуха, включая повреждение воздушного фильтра и разгерметизацию впускных воздухопроводов. Кроме того, следует отметить и другие эксплуатационные неисправности, вызванные, в том числе, разрушением деталей ДВС, имеющих выход в цилиндры или в выпускные каналы (клапаны, седла, поршни, поршневые кольца), неисправностями в системе управления агрегата или ДВС (блоки управления, разъемы, кабели), возникшими вследствие эксплуатационного повреждения или старения, включая заклинивание механизма управления (вследствие нагарообразования или повреждения, вызванного различными причинами), а также нормальным эксплуатационным износом при длительной эксплуатации.

При составлении дерева отказов турбокомпрессора важно также определить признаки, по которым можно судить о наличии неисправности или состоянии отказа. Это в общем случае 3 группы признаков:

1) признаки неисправности, которые видит водитель, в том числе, потеря мощности двигателя, шум, дым, расход масла, самопроизвольный набор оборотов (у дизелей), срабатывание контрольной лампы неисправности;

2) признаки, выявляемые при обслуживании транспортного средства, например, коды ошибок в системе управления, внешние повреждения, течи жидкостей;

3) признаки, которые видны на частично и полностью разобранный турбокомпрессоре, и двигателе, например, различные повреждения и следы на деталях – компрессор, турбина, подшипниковый узел, система управления, а также впускная, выпускная системы и цилиндр двигателя.

С противоположной стороны дерева отказов стоят события, порождающие отказ

(рис. 5). Фактически это причины поврежденности турбокомпрессора, если он рассматривается отдельно от двигателя. Для практических целей их полезно тоже разделить на группы, хотя такое разделение сложно вследствие взаимного влияния групп причин друг на друга (рис. 8).



Рис. 8. Основные группы причин неисправностей турбокомпрессоров

Например, неисправности двигателя нередко приводят к нарушению подачи масла, но могут быть причиной и попадания посторонних предметов в турбокомпрессор. В то же время, превышение оборотов ротора (перекрут) и перегрев турбины могут быть как следствием влияния самого двигателя, так и возникнуть в результате отказа системы управления, включая заклинивание регулирующего механизма. Тем не менее, схема (рис.8) может быть полезна при анализе неисправности демонтированного турбокомпрессора, исследуемого отдельно от двигателя.

Теперь для того, чтобы связать имеющиеся группы признаков и причин в единую логическую схему дерева отказов, необходимо подробно рассмотреть повреждения и дефекты всех ранее выделенных узлов турбокомпрессора.

2-е приближение - детализация признаков и причин отказов по узлам агрегата

С этой целью, в том числе, с использованием известного опыта исследования причин отказов [3, 10, 11, 13, 14, 18], были выделены характерные виды повреждений узлов (блоков) турбокомпрессора.

На рис. 9 в качестве примера показаны наиболее характерные повреждения компрессора и турбины, для других узлов – подшипников и системы управления, были составлены аналогичные описания с иллюстрациями.

Детализация повреждений послужила основой и позволила непосредственно перейти к

заключительному этапу исследования – составлению дерева отказов.

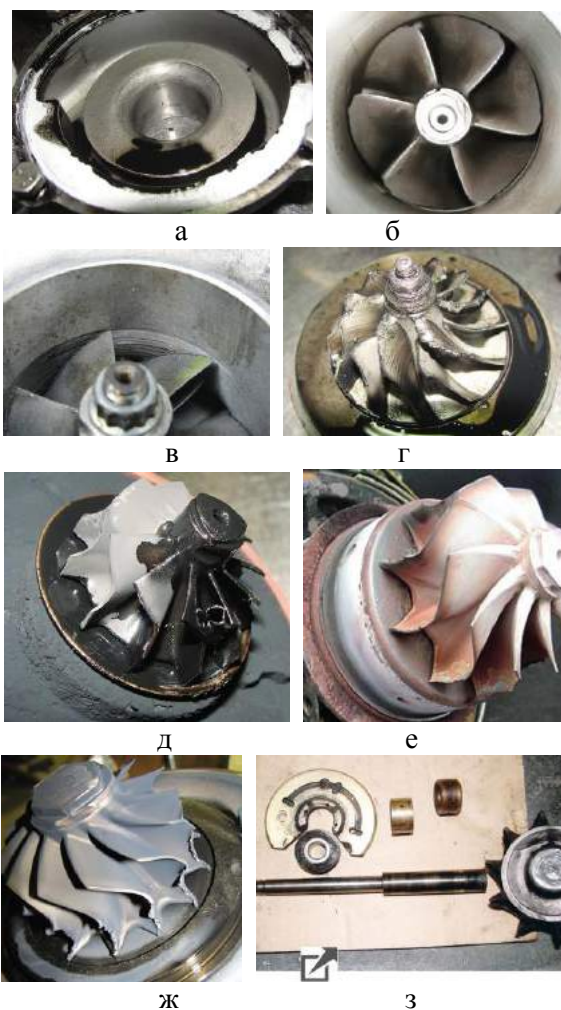


Рис. 9. Некоторые типичные повреждения (или признаки повреждения) компрессора и турбины: а – масло в компрессоре; б – износ; эрозия лопаток, в – задевание лопаток за корпус (большой радиальный и/или осевой люфт ротора); г – повреждение (деформация) лопаток; д – масло в турбине; е – перегрев лопаток; ж – повреждение лопаток посторонним предметом; з – поломка вала с отделением от колеса

3-е приближение - составление дерева отказов турбокомпрессора

Понятно, что даже несмотря на ограниченное число узлов турбокомпрессора, количество возможных повреждений получается значительным. Поэтому вначале был рассмотрен упрощенный вариант – отказ турбокомпрессора только по одной из возможных причин, в качестве которой было выбрано попадание постороннего предмета в компрессор. Для данного повреждения была рассмотрена следующая последовательная

цепь событий, приводящая к отказу.

1. Отказ системы – формулировался как неработоспособность турбокомпрессора.

2. Отказ системы – означал отказ одной из составных частей (компрессор, турбина с валом, подшипниковый узел с уплотнениями), в том числе, вал ротора – усталостное разрушение, и повреждение и/или разрушение уплотнительных колец (течь масла через турбокомпрессор).

3. Отказ составных частей – был вызван отказом одного из элементов (колесо компрессора с лопатками, колесо турбины с лопатками и валом, втулки подшипников с уплотнениями), причем в виде как прямого повреждения - деформации и/или разрушения лопаток колеса компрессора (гайка вала и резьбовой хвостовик вала повреждены посторонним предметом, повреждение корпуса компрессора), так и вторичного повреждения, включающего перегрев и задиры подшипников, нарушение уплотнительных свойств колец (масло в корпусе компрессора, турбины) и повреждение турбины (касание колеса и корпуса, перегрев, повышенный шум).

4. События, порождающие отказ – также были разделены на первичные, в виде повре-

ждения лопаток колеса и корпуса компрессора (видимых визуально), и вторичные, среди которых увеличение остаточного дисбаланса и люфтов ротора, рост виброускорения, касание колес корпусных деталей, рост радиальных нагрузок на опорные подшипники, а также пробой масляной пленки, работа подшипников в режиме полусухого трения.

5. Виды воздействий как способы попадания постороннего предмета формулировались так: предмет оставлен во впускном канале при ремонте, попал через разрушенный воздушный фильтр или попал через негерметичное сопряжение или поврежденный воздухопровод.

При составлении дерева отказа данного вида было принято условие, обычно используемое для данного метода анализа [15, 16] – каждое событие и/или отказ при наличии нескольких влияющих факторов (входов) имеет логическую связь только с одним последующим событием (то есть, у каждого элемента дерева есть только один выход). Однако полученное таким способом дерево отказа (рис. 10) оказалось чрезмерно громоздкой конструкцией, что, очевидно, и определялось поставленным условием.

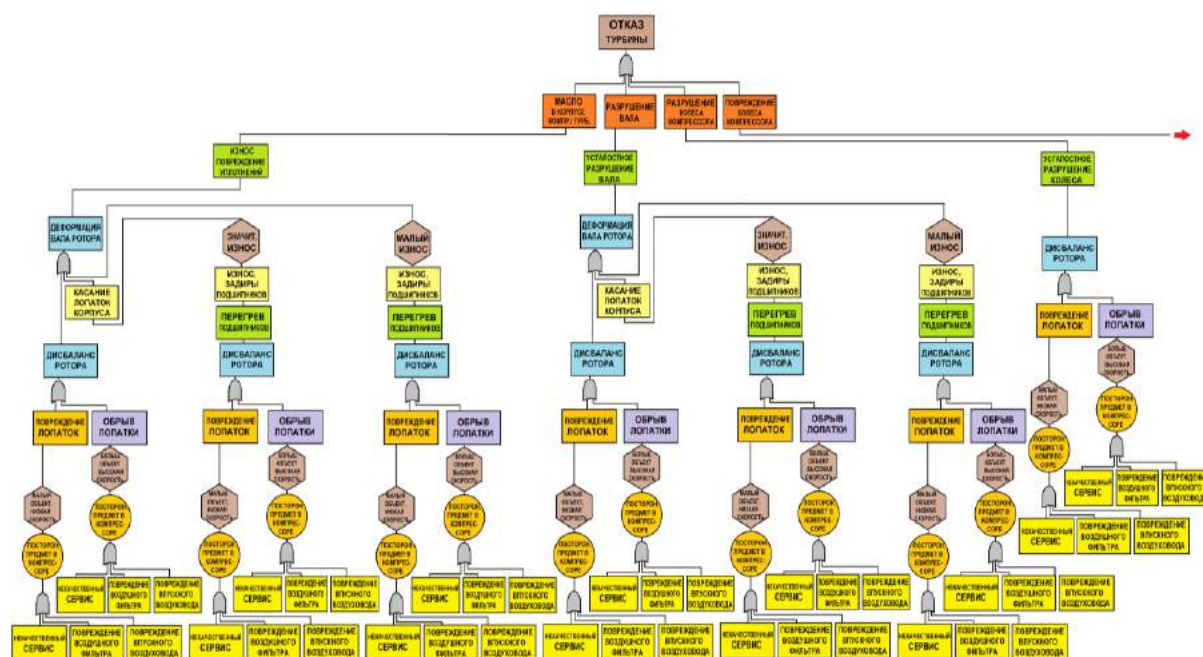


Рис. 10. Общий вид дерева 1 отказа (попадание постороннего предмета в компрессор) в случае использования условия одного выхода для каждого элемента дерева

Действительно, данное условие хорошо подходит для расчетной оценки надежности системы, но плохо подходит для логического анализа с целью определения причины неисправности. Поэтому для упрощения задачи было построено модифицированное дерево

отказов (рис. 11,а), в котором было допущено, что каждое текущее событие может иметь логическую связь сразу с несколькими последующими процессами (событиями).

Однако и данный результат, несмотря на уже вполне простую логичную форму, еще не

вполне соответствует задаче определения причины неисправности. Так, в общепринятом дереве отказов анализ выполняется снизу вверх – от базисных событий к отказу, в то

время как в задачах поиска причины неисправностей требуется, очевидно, обратное направление – от отказа к базисным событиям.

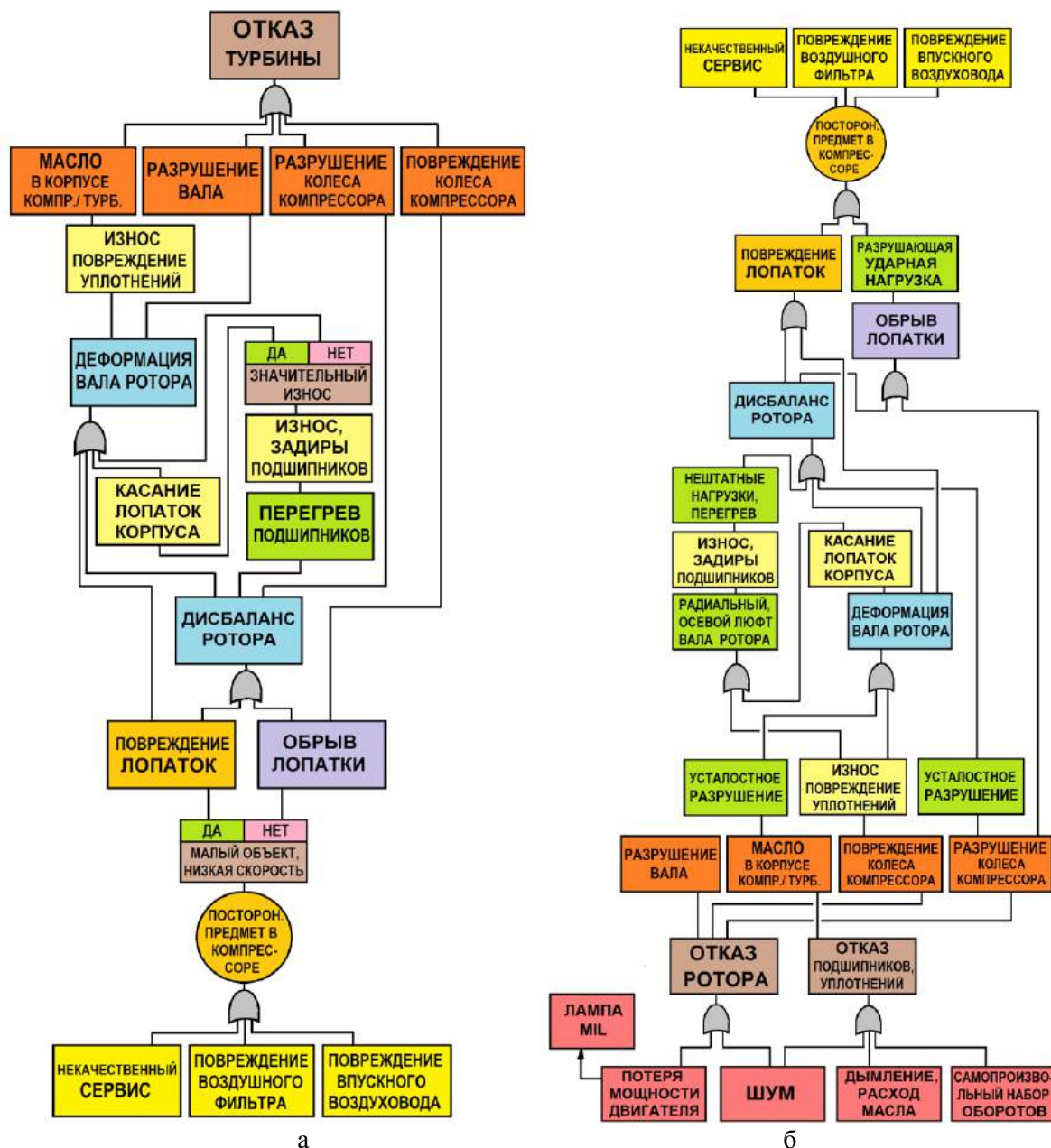


Рис. 11. Дерево отказа при попадании постороннего предмета в компрессор:
а – модифицированное; б – перевернутое

Чтобы сохранить направление анализа (снизу вверх), модифицированное дерево отказа было преобразовано в перевернутое (рис. 11, б), при этом были использованы следующие общие принципы его построения:

1. Каждое событие может иметь логическую связь как с несколькими предыдущими, так и несколькими последующими событиями.
2. Логический анализ идет не от базисных событий к отказу, а наоборот – от отказа к ба-

зисным событиям – в соответствии с направлением поиска причины неисправности.

3. Отказ может быть разделен по признакам его проявления, видимым в эксплуатации транспортного средства.

4. К каждому событию может быть добавлен процесс, его вызывающий, что облегчает логический анализ.

Эти же принципы были положены в основу при составлении общего дерева отказов

турбокомпрессора в окончательном виде (рис. 12).

Таким образом, был получен логически структурированный граф, в котором четко выделены не только промежуточные состояния узлов и элементов, но и подробно прописаны признаки, по которым водитель обычно уста-

навливает факт неисправности или отказа.

При этом базисные события, вызывающие отказы, и связанные с ними виды воздействий отдельно представлены на рис. 13 и являются дополнением к графу (рис. 12), позволяющим уточнять причины отказов.

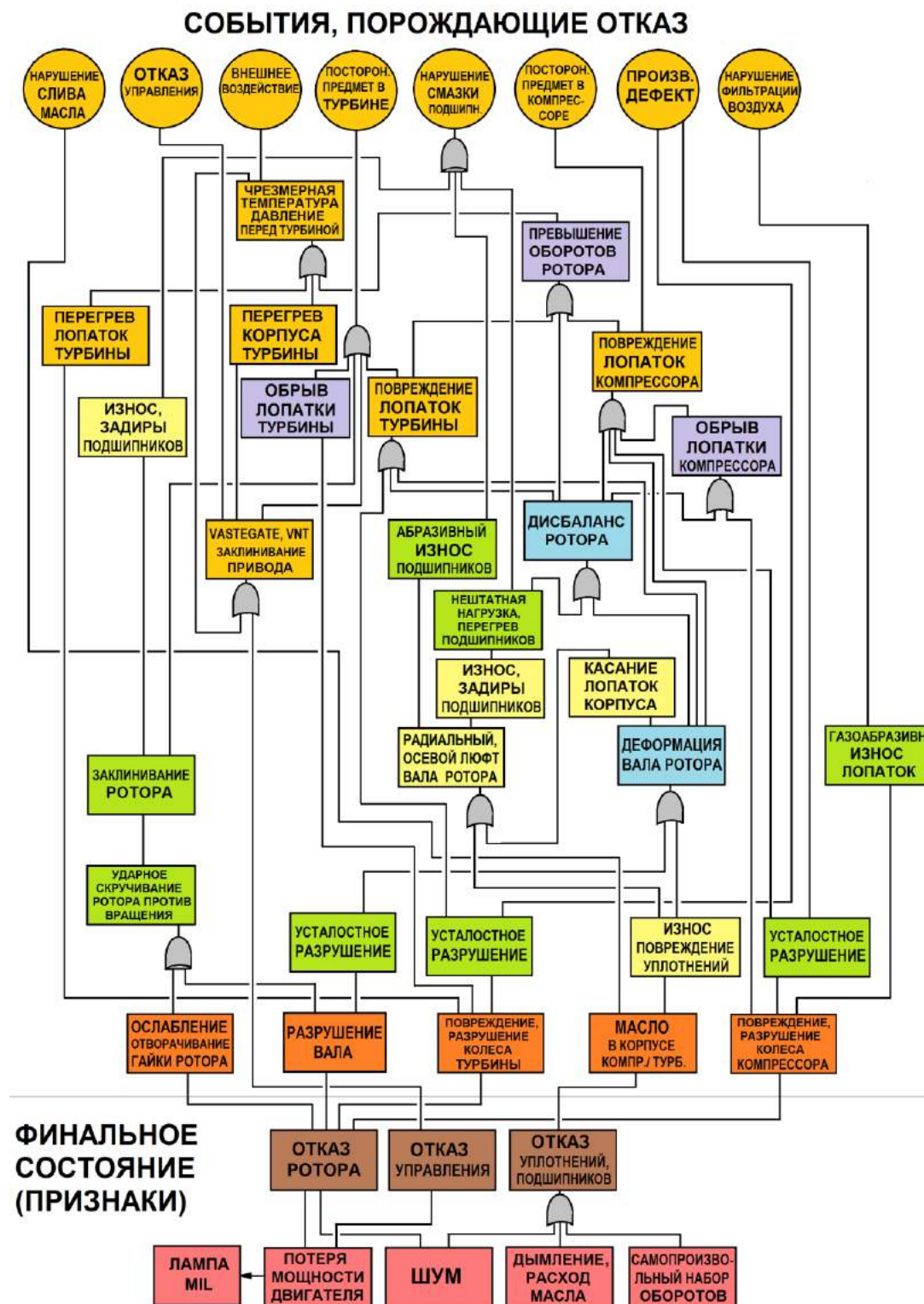


Рис. 12. Модифицированное перевернутое дерево отказов турбокомпрессора

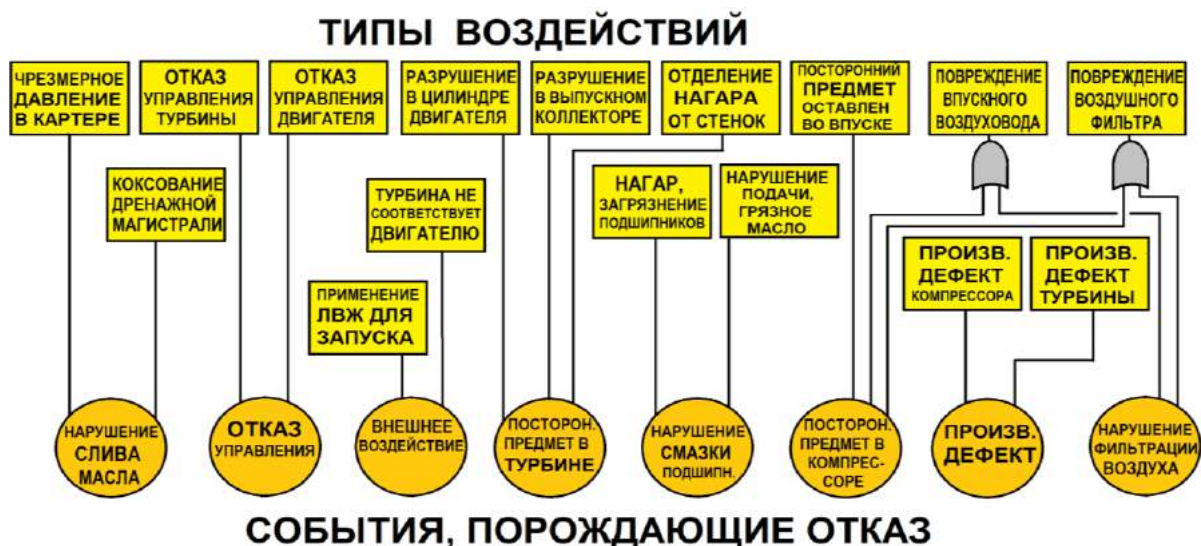


Рис. 13. Связь воздействий и событий, вызывающих повреждение и отказ

Проверка достоверности предлагаемой методики на конкретных случаях отказов

Проверка методики была выполнена для нескольких практических случаев, в качестве примера ниже представлен логический анализ отказа восстановленного турбокомпрессора Cummins/Holset дизеля Cummins ISF3.8 [20].

Из описания дефектации агрегата известно (рис. 14), что корпус турбины имеет следы перегрева (цвета побежалости) и коррозии, имеется также разрушение в компрессоре.

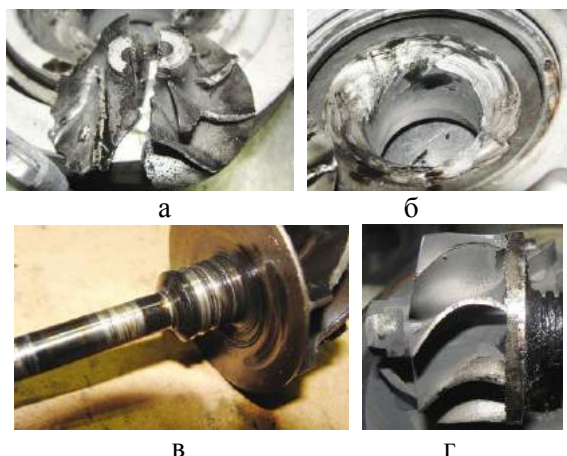


Рис. 14. Разрушенное колесо компрессора: а – поврежденный корпус; б – перегрев и повреждение подшипников, вала; в – перегрев и повреждение лопаток турбины; г –

следствие превышения частоты вращения ротора (перекрута)

Демонтаж корпусов турбокомпрессора выявил моторное масло в корпусах турбины и компрессора, колесо компрессора, разрушенное по ступице на две части, повреждение и деформацию внутренних поверхностей корпуса компрессора, а также перегрев и повреждение лопаток турбины из-за соприкосновения с корпусом турбины в осевом и радиальном направлениях. Далее при разборке корпуса подшипников было обнаружено, что на шейках вала ротора имеются частицы материала опорных подшипников скольжения, рабочие поверхности подшипников имеют следы полусухого трения и износа, а уплотнение корпуса подшипников со стороны колеса турбины повреждено.

Далее по разработанной схеме (дереву) был выполнен логический анализ с движением от отказа (предполагалось, что финальное состояние отказа было установлено по падению мощности двигателя) к базисным событиям при условии соответствия признаков, имеющих на деталях. Цепочки событий, соответствующих данному отказу, представлены на рис. 15.

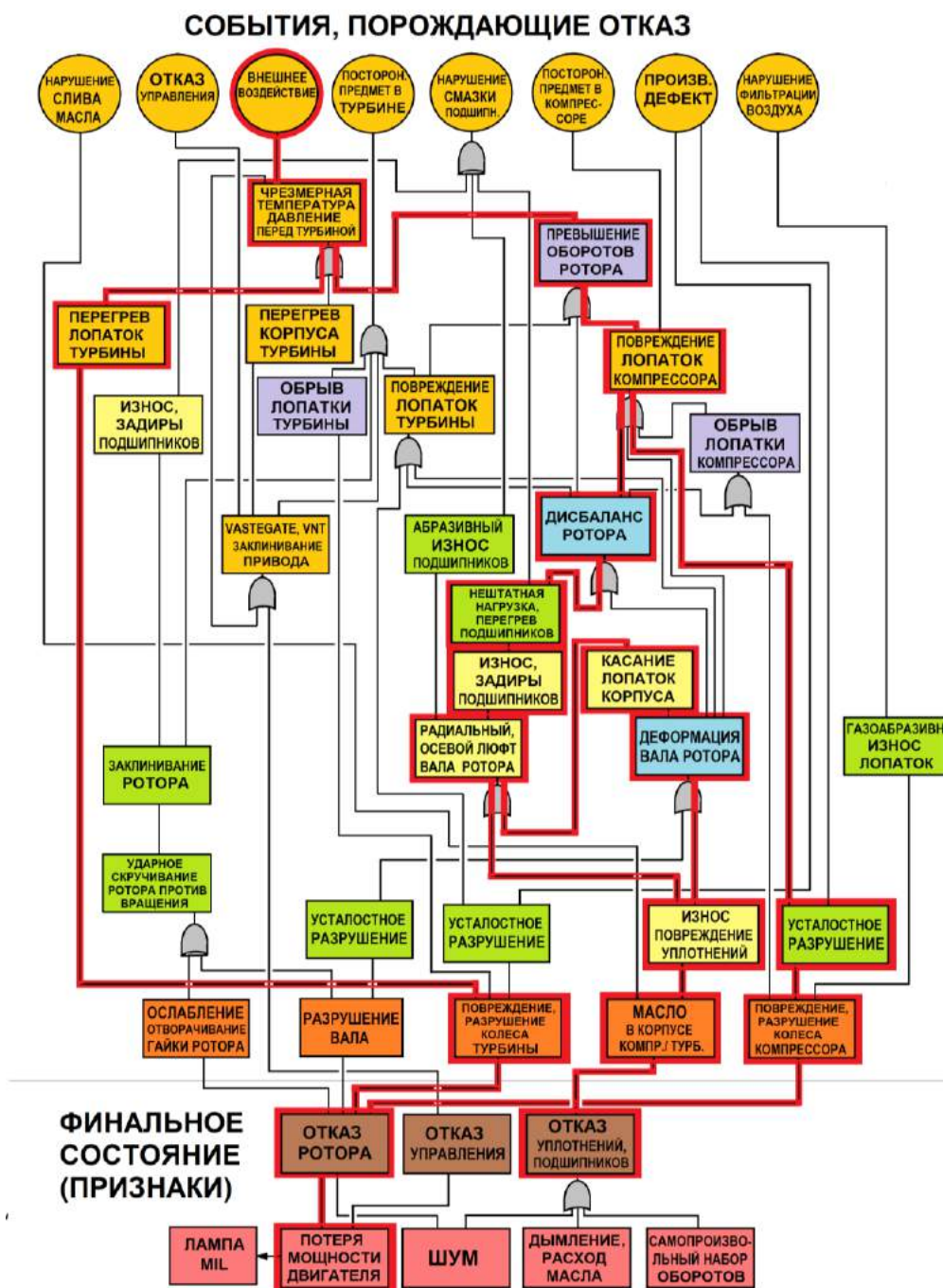


Рис. 15. Пример определения причины отказа с помощью разработанной методики (цепи возможных событий отказа отмечены красным)

Из рис. 15. хорошо видно, что признаки отказов узлов и элементов 3-мя параллельными линиями выводят на одно и то же базисное событие, а именно, превышение частоты вращения ротора (перекрут). Поскольку при этом никаких признаков использования легковоспламеняющихся жидкостей, которые могли бы вызвать перекрут, найдено не было (рис. 13), был сделан вывод о том, что причиной отказа является установка нештатного агрегата, меньшего по размерам стандартного для данного двигателя, но подходящего к двигателю по присоединительным размерам,

что и привело к перекруту. Такой же вывод был сделан в реальном исследовании, проведенном опытным специалистом-экспертом, в том числе, путем изучения маркировки и сравнения агрегата со стандартным турбокомпрессором [20]. Однако при использовании методики для правильного вывода не потребовалось высокой квалификации специалиста, а весь процесс определения причины отказа при наличии подробного описания повреждений деталей занял только несколько минут.

Выводы

1. Несмотря на успехи в разработке конструкций высокоэффективных турбокомпрессоров для наддува ДВС, к настоящему времени не создано надежных методик для определения причин их отказов, существующие методики дают десятки возможных причин, вследствие чего их использование на практике требует настолько большой трудоемкости и фактически неэффективно. Во многих случаях это приводит к повторению отказов и неоправданно высоким затратам в эксплуатации.

2. С другой стороны, при оценке надежности агрегатов широко используются логико-вероятностные модели, описывающие причинно-следственные связи отказов всей системы с отказами отдельных элементов и другими событиями (воздействиями), в том числе, метод анализа дерева отказов. Однако такие методы, применяемые на практике для расчетов вероятностных характеристик и рисков отказов, не вполне соответствуют задачам поиска причин неисправностей.

3. Выполненное исследование показывает, что определение причины неисправности турбокомпрессоров наддува ДВС может быть выполнено на основе анализа модифицированного дерева отказов, позволяющего выполнять анализ в обратном по отношению к общепринятому направлению – от события отказа всей системы к базисным событиям, инициирующим отказ в отдельных ее элементах.

4. Проверка предлагаемой в работе методики, построенной на указанных принципах и с привлечением опыта исследования неисправностей турбокомпрессоров, на реальных случаях отказов показала, что определение причины отказа может быть сделано с достаточной для практики достоверностью при минимальных затратах времени.

Литература

1. Giakoumis E. G. Turbochargers and Turbocharging: Advancements, Applications and Research. Nova Science Publishers, New York, 2017. 550 p.
2. Галеркин Ю. Б., Козаченко Л. И. Турбокомпрессоры. СПб, Изд-во Политехнического Университета, 2008. 374 с.
3. Самохин С., Ермоленко И. Вскрытие показало. Часть 7. *АВС-авто*, 10/2016. URL: <https://abs-magazine.ru/article/vskrytie-pokazalo-chast-7-kosjak> (дата обращения 20.09.2019).
4. Gillette R. Honeywell Turbo Technologies. Presentation. Honeywell, Scottsdale, AZ Dec.

2004. URL: http://www.corporate-ir.net/media_files/irol/94/94774/presentations/TurboHON.pdf (дата обращения 20.09.2019).
5. BorgWarner EFR Turbocharger. Technical Training Guide. TechTG-1110-B. BorgWarner Turbo Systems, 2010. URL: http://www.turbos.borgwarner.com/files/pdf/efr_turbo_technical_brief.pdf (дата обращения 20.09.2019).
6. Kohler M. Turbochargers in the workshop. Technology, variants, troubleshooting. KRAFTHAND Practical Know-how series, Volume 17. Krafthand Medien GmbH, 2017. 62p.
7. Garrett Advanced Motion. Original Performance, Volume 8. Honeywell Turbo Technologies, USA, 2018. 74 p.
8. Garrett Turbochargers. Catalogue. Honeywell Turbo Technologies, USA, 2008. URL: <https://www.garrettmotion.com/turbo-replacement/aftermarket-remanturbochargers-catalog/> (дата обращения 20.09.2019).
9. The Turbo for the Aftermarket. Turbochargers by Mahle. Technical information MO-4-811. MAHLE Clevite Inc., United States, 2009. 8 p.
10. Miller J. Turbo: Real World High-Performance Turbocharger Systems (S-A Design) Paperback, CarTech, 2008. 160 p.
11. Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. Technical information MO-2-613. MAHLE Clevite Inc., United States, 2008. 16 p.
12. MAHLE Turbocharger Catalogue. Technical Service. Catalog No.TC-10-19, Supersedes TC-10-11, Mahle GmbH, 2019. 159 p.
13. Самохин С., Ермоленко И. Вскрытие показало. Часть 1. *АВС-авто*. 08. 2015, С. 28-35.
14. Самохин С., Ермоленко И. Вал - пополам, турбина - вдребезги. *АВС-авто*. 05. 2017. URL: <https://abs-magazine.ru/article/val-popolam-turbina-vdrebezgi> (дата обращения 20.09.2019).
15. Шубин Р. А. Надёжность технических систем и техногенный риск. Тамбов, Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. 80 с.
16. ГОСТ Р МЭК 62502-2014. Анализ дерева событий. IEC 62502:2010 Analysis techniques for dependability – Event tree analysis (ETA) (IDT). Москва, Стандартинформ, 2015. 30 с.
17. Laskowski R. Fault Tree Analysis as a tool for modeling the marine main engine reliability structure. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*, 2015, no.41(113), pp.71-77.
18. Greuter E., Zima S. Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes. SAE International, USA, 2012. 568 p.
19. Хрулев А., Лосавио С., Дроздовский В. Экспертиза технического состояния и причины неисправности автомобильной техники. Москва, Издательство АВС, 2019. 966 с.
20. Самохин С., Ермоленко И. Вскрытие показало. Часть 3. *АВС-авто*, 02. 2016. С. 18-23.

References

1. Giakoumis E. G. (2017) Turbochargers and Turbocharging: Advancements, Applications and Research. Nova Science Publishers, New York.
2. Galerkin Y. B., Kozachenko L. I. (2008) Turbokompressor [Turbochargers]. SPb, Publishing house of Polytechnic University. [in Russian].
3. Samokhin S., Ermolenko I. Vskrytie pokazalo. Chast 7 [Autopsy revealed. Part 7]. ABS-auto, 2016, no.10. Available at: <https://abs-magazine.ru/article/vskrytie-pokazalo-chast-7-kosjak> (Accessed 20 September 2019).
4. Gillette R. (2019) Honeywell Turbo Technologies. Presentation. Honeywell, Scottsdale, AZ Dec. 2004. Retrived from: http://www.corporate-ir.net/media_files/irol/94/94774/presentations/TurboHO N.pdf (Accessed 20 September 2019).
5. Borg Warner EFR Turbocharger. Technical Training Guide. TechTG-1110-B. BorgWarner Turbo Systems, 2010. Retrived from: http://www.turbos.borgwarner.com/files/pdf/efr_turbo_technical_brief.pdf (accessed 20.09.2019).
6. Kohler M. (2017) Turbochargers in the workshop. Technology, variants, troubleshooting. KRAFTHAND Practical Know-how series, Volume 17. Krafthand Medien GmbH.
7. Garrett Advanced Motion. (2018) Original Performance, Volume 8. Honeywell Turbo Technologies.
8. Garrett Turbochargers. Catalogue. Honeywell Turbo Technologies (2008). Retrived from: <https://www.garrettmotion.com/turbo-replacement/aftermarket-reman-turbochargers-catalog/> (Accessed 20 September 2019).
9. (2009) The Turbo for the Aftermarket. Turbochargers by Mahle. Technical information MO-4-811. MAHLE Clevite Inc.
10. Miller J. (2008) Turbo: Real World High-Performance Turbocharger Systems (S-A Design) Paperback, CarTech.
11. Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. (2008) Technical information MO-2-613. MAHLE Clevite Inc.
12. Mahle Turbocharger Catalogue. Technical Service. Catalog No.TC-10-19, (2019) Supersedes TC-10-11, Mahle GmbH.
13. Samokhin S., Ermolenko I. (2015) Vskrytie pokazalo. Chast 1 [Autopsy revealed. Part 1]. ABS-auto, 8. [in Russian].
14. Samokhin S., Ermolenko I. (2017) Val - popolam, turbina - vdrebezgi [Shaft is in half, turbine is to smithereens]. ABS-auto, 5. Retrived from: <https://abs-magazine.ru/article/val-popolam-turbina-vdrebezgi> (accessed 20.09.2019). [in Russian].
15. Shubin R. A. (2012) Nadejnost tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyi risk [Reliability of technical systems and technological risk]. Tambov, Publishing house FGBOU VPO "TGTU". [in Russian].
16. GOST R MEK 62502-2014. Analiz dereva cobytyy [Event tree analysis]. IEC 62502:2010 Analysis techniques for dependability – Event tree analysis (ETA) (IDT). Moscow, Standartinform, 2015. [in Russian].
17. Laskowski R. (2015) Fault Tree Analysis as a tool for modeling the marine main engine reliability structure. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*. 41 (113), 71-77.
18. Greuter E., Zima S. (2012) Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes. SAE International.
19. Khrulev A., Losavio S., Drozdovsky V. (2019) Expertiza tekhnicheskogo sostoyania i prichiny neispravnosi avtomobilnoi tekhniki [The technical condition expertise and the automotive technology faults causes]. Moscow, Publishing house ABS. [in Russian].
20. Samokhin S., Ermolenko I. (2016) Vskrytie pokazalo. Chast 3 [Autopsy revealed. Part 3]. ABS-auto, 2, 18-23. [in Russian].

Хрулев Александр Эдуардович, к.т.н., с.н.с., судебный эксперт по специальности 10.2 «Исследование технического состояния транспортных средств», alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183,

¹Международное моторное бюро, ул. Школьная, д. 15, пгт. Немешаево, Бородинский район, Киевская область, 07853, Украина.

Використання логіко-імовірнісних методів для визначення причин відмов турбокомпресорів в експлуатації ДВЗ

Анотація. *Постановка проблеми.* Всупереч успіхам в дослідженнях і розробці конструкцій турбокомпресорів наддуву двигунів внутрішнього згоряння, до теперішнього часу не створено надійних методик для визначення причин їх відмов, а застосування відомих методик на практиці вимагає велику трудомісткість і фактично неефективно. В результаті в експлуатації споживачі, як правило, не можуть визначити причину виниклої несправності. **Мета.** Розробка простої методики для визначення причин несправностей і відмов турбокомпресорів. **Методика.** Проведене дослідження показало, що причини несправності турбокомпресорів наддуву ДВС можуть визначатися за допомогою логіко-імовірнісних методів, в тому числі, на основі аналізу дерева відмов, із залученням наявного досвіду дослідження несправностей турбокомпресорів. З цією метою була прийнята блокова схема турбокомпресора, що складається з 4-х основних вузлів – компресора, турбіни, підшипникового вузла і системи управління. Використовувалися послідовні наближення для складання методики – спочатку визначалися джерела, ознаки та причини несправностей з розбиттям їх на групи, далі на основі наявного досвіду дослідження

причин відмов виконувалася деталізація ознак і причин по вузлах, з докладним описом характерних видів ушкоджень турбокомпресора, на підставі чого були отримані всі необхідні дані для складання дерева відмов. **Результати.** Розроблено модифіковане (перевернуте) дерево відмов, що дозволяє виконувати логічний аналіз у зворотному щодо загальноприйнятого напрямку — від події відмови системи до базисних подій, які ініціюють відмову. Перевірка запропонованої методики на реальних випадках відмов показала, що визначення причини відмови може бути зроблено з достатньою для практики вірогідністю при мінімальних витратах часу. **Наукова новизна.** Відомий метод аналізу дерева відмов був використаний для розробки нової методики визначення причин відмов в турбокомпресорах наддуву ДВС. **Практична значущість.** Використання запропонованої методики дозволяє виключити повторення відмов і невиправдано високі витрати на експлуатацію та ремонт, що виникають внаслідок неправильного визначення причини відмови турбокомпресорів. **Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння; турбокомпресор; несправність; причина; аналіз дерева відмов.

Хрулев Олександр Едуардович, к.т.н., с.н.с., судовий експерт за фахом 10.2 «Дослідження технічного стану транспортних засобів», alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183, ¹Міжнародне моторне бюро, вул. Шкільна, б.15, смт. Немішаєве, Бородянський район, Київська область, 07853, Україна

Applying logical and probabilistic methods to determine the causes of failure of turbochargers in the internal combustion engines operation

Abstract. Problem. Despite the success in research and development of turbocharger designs for internal combustion engines, to date, reliable methods have not been created to determine the causes of their failures, and the application of known methods in practice is so labour-consuming that it is practically ineffective. As a result, in operation, consumers, as a rule, find it difficult to determine the cause of the

malfunction. **Goal.** The goal of the study is the development of a simple technique for determining the causes of the turbochargers failures. **Methodology.** The study showed that the causes of failure of turbochargers of the internal combustion engines can be determined using logical and probabilistic methods, including those on the basis of a failure tree analysis, using on existing experience in studying turbocharger faults. For this purpose, a block diagram of a turbocharger was adopted, consisting of 4 main components – a compressor, a turbine, a bearing assembly and a control system. Consistent approximations were used to compile the methodology: first, the sources, symptoms and causes of malfunctions were identified with their breakdown into groups, then, based on the existing experience of studying the causes of failures, the signs and causes were detailed by nodes, with a detailed description of the characteristic types of damage to the turbocharger, based on which all the necessary data were used to compile a fault tree. **Results.** A modified (inverted) fault tree was developed, which allows performing logical analysis in the opposite direction to the generally accepted direction – from the system failure event to the basic events initiating the failure. Testing the proposed methodology in real cases of failures showed that determining the cause of the failure can be done with sufficient reliability for practice with minimal time. **Originality.** The well-known fault tree analysis method was used to develop a new methodology for determining the causes of failures in ICE turbochargers. **Practical value.** Using the proposed methodology eliminates repetition of failures and unreasonably high costs of operation and repair arising from improper determination of the cause of failure of the turbocharger.

Keywords: internal combustion engine; turbocharger; failure; cause; fault tree analysis.

Alexander E. Khrulev, PhD, Senior researcher, forensic expert by specialty 10.2 «Vehicles technical state investigation», alo.engine@gmail.com, tel. +380961632183,

¹International Motor Bureau, Shkilna str., 15, Nemishaeve, Borodyanka district, Kyiv region, 07853, Ukraine.

ДІАГНОСТИКА ВИСОКОВОЛЬТНОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ NISSAN LEAF

Смирнов О. П.¹, Борисенко А. О.¹, Марченко А. В.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Стаття присвячена вирішенню важливої та актуальної науково-прикладної задачі, що пов'язана з підвищенням ефективності процесу діагностики високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf за допомогою дилерського діагностичного сканера Nissan Consult III plus.*

Ключові слова: електромобіль, Nissan Leaf, тягова акумуляторна батарея, діагностика, калібрування, діагностичний сканер, діагностичний інтерфейс.

Вступ

Сьогодні спостерігаються глобальні зміни: людство, що змогло нарешті використовувати електроенергію для пересування, входить в нову еру. Електромобілі все більше і більше входять в наше життя. Вони самі по собі вже є екологічними товарами покликаними продемонструвати, як власник дбає про навколишнє середовище [1-4]. Сьогодні 4 % українського ринку автомобілів належить електромобілям, однак більшість таких електромобілів були у експлуатації і потрапили в Україну після більш ніж дворічного використання у європейських країнах або у США. Тому актуальним та перспективним є тематика, що розглянута у даному дослідженні, яка присвячена підвищенню ефективності використання електричних транспортних засобів за рахунок діагностики високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf [5].

Аналіз досліджень та публікацій

Електромобіль Nissan Leaf – популярний і доступний електричний транспортний засіб, який виробляє японський концерн Nissan Motor Co. Ltd. Електромобіль серійно випускається з 2010 року. У Європі, Японії та Північній Америці по вулицях міст і замських трасах пересуваються більш 300 000 таких сучасних транспортних засобів [6-8].

З 2013 р. Nissan розгорнув виробництво електромобілів Leaf на заводах в США (м. Смірна, штат Теннессі) та у Великобританії (м. Сандерленд). Електромобіль Nissan Leaf комплектується електричним двигуном, що приводить до руху передні колеса. Техніко-експлуатаційні параметри електро-

мобіля Nissan Leaf постійно удосконалюються, у тому числі зростає енергоємність високовольтної акумуляторної батареї та її питома енергоємність. стандартної електричної мережі напругою 110 В (до 21 год).

В останні роки можна придбати електромобіль Nissan Leaf і в Україні, але практично всі електромобілі, що надходять до України – це електромобілі, що вже експлуатувались. Тому у потенційних власників електромобілів Nissan Leaf з'являється потреба у діагностиці та калібруванні високовольтної акумуляторної батареї [9, 10].

Саме цим проблемам присвячена дане дослідження, а саме проведенню оптимальних шляхів підвищення ефективності використання електричних транспортних засобів за рахунок процесу діагностики високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf за допомогою дилерського діагностичного сканера Nissan Consult III plus, що складається з ноутбука Panasonic Toughbook CF-30 і діагностичного інтерфейсу VC12.

Мета та постановка задачі

Мета дослідження – підвищення ефективності використання електричних транспортних засобів за рахунок діагностики та калібрування високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf за допомогою дилерського діагностичного сканера Nissan Consult III plus.

Об'єкт дослідження – процес діагностики та калібрування високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf.

Предмет дослідження – високовольтна акумуляторна батарея електромобіля Nissan Leaf.

Метод дослідження – програмні та апаратні можливості дилерського діагностичного сканера Nissan Consult III plus, що складається з ноутбука Panasonic Toughbook CF-30 і діагностичного інтерфейсу VCI2.

Задачі дослідження: дослідження систем заряду високовольтних акумуляторних батарей електромобіля Nissan Leaf; визначення конструктивних особливостей його енергетичної системи; обґрунтування та вибір засобів діагностики та калібрування високовольтної акумуляторної батареї електромобіля та безпосередньо її діагностика та калібрування.

Системи заряду електромобіля Nissan Leaf

Системи заряду високовольтних акумуляторних батарей електромобіля Nissan Leaf підрозділяють за рівнями потужності, в США їх називають Level 1, Level 2, Level 3.

Системи заряду Level 1 (рівень 1) – це найповільніша зарядка змінним струмом до 16 А та максимальної потужністю до 3,5 кВт. Для США струм 16 А обмежений напругою 120 В. При цьому максимальна потужність заряду складає 1,92 кВт. Усередині типового зарядного пристрою знаходяться засоби захисту і регулювання струму, які замикають коло, тільки коли роз'єм застромлять в гніздо зарядки електромобіля.

У комплект кожного електромобіля входить стандартний зарядний пристрій Level 1, з одного боку якого знаходиться звичайна вилка, з іншого – коннектор відповідний до зарядного порту автомобіля.

Системи заряду Level 2 (рівень 2) дозволяє використовувати максимальну потужність до 7 кВт. Таким чином, струм заряду для електричної мережі 220 В може досягати 30 А. У домашньому виконанні ціна зарядок починається з \$ 500, у вуличному з \$ 1000.

У США стандарт SAE J1772 для більшої частини електромобілів використовує зарядки Level 1, 2. Але є у електромобіля Nissan Leaf передбачена і прискорена зарядка з використанням зарядної станції, що дозволяє зарядити акумулятор до 80 % за 25...30 хв.

Зарядки першого і другого рівня використовують змінний струм. В електромобілі, відповідно, розташовується зарядний при-

стрій, який випрямляє струм і заряджає акумуляторну батарею.

Системи заряду Level 3 (рівень 3) згідно стандарту SAE Combo допускає постійний струм з напругою 500 В і силою струму до 200 А, тобто потужність заряду складає 100 кВт, а згідно протоколу швидкої зарядки CHAdeMO, який застосовується у електромобілях Nissan Leaf, зарядний пристрій дозволяє максимальну потужність до 50 кВт.

Системи Level 3 для зарядки використовують частину коннекторів стандарту SAE J1772 (системи заряду Level 1, 2) для встановлення домовленості, але постійний струм передає по окремим коннекторам. Станцій швидкої зарядки для цього стандарту поки небагато, але у швидка зарядка для роз'єму CHAdeMO підтримується для електромобілів Nissan, Mitsubishi, Toyota, Subaru. Всі інші виробники (Volkswagen, BMW, GM, Ford, тощо) будуть вкладатися в США в розвиток швидких зарядок SAE Combo.

У таблиці 1 зведені порівняльні розрахункові данні щодо терміну заряду високовольтних акумуляторних батарей електромобілів Nissan Leaf з батареєю енергоємністю 24 кВт·год та Tesla Model S з батареєю енергоємністю 85 кВт·год за допомогою систем заряду різного рівня.

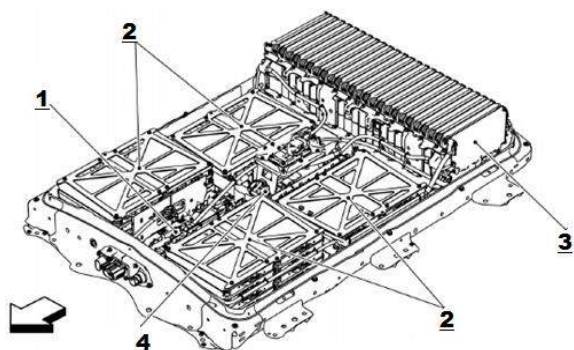
Таблиця 1 – Розрахункові данні щодо терміну заряду батарей

Система заряду	Автомобіль		Застосування
	Nissan Leaf, 24 кВт·год	Tesla Model S, 85 кВт·год	
Level 1 220 В, до 16 А, до 3,5 кВт	6...7 год	24 год	Будинок, гараж, паркінг
Level 2 380 В, до 32 А, до 12,2 кВт	2...2,5 год	7 год	Сучасний приватний будинок
Зарядні станції ОККО, 22 кВт	1,5 год	4 год	Періодичний заряд у дорозі
Level 3 до 50 кВт, CHAdeMO або Super-charger	0,5 год до 80 % заряду	1,5 год до 80 % заряду	Швидкий заряд (в Україні немає)

Конструктивна особливість енергетичної системи Nissan Leaf

У електромобілі Nissan Leaf використовується акумуляторні батареї літій-марганцевого типу LiMn_2O_4 у комбінації з літій-нікель-марганець-кобальтовими (LiNiMnCoO_2). Ця комбінація хімічних елементів використовує позитивні якості обох систем за рахунок чого підвищується питома енергоємність і термін служби акумуляторів. Саме ці комбіновані акумулятори використовуються в більшості електромобілів, таких як Nissan Leaf, Chevrolet Volt і BMW i3. Батареї літій-марганцевого типу LiMn_2O_4 (частина такого акумулятора складає близько 30%) забезпечують високі прискорювальні можливості електричного двигуна, а літій-нікель-марганець-кобальтова (LiNiMnCoO_2) частина відповідає за діапазон автономного пробігу.

Основні компоненти енергетичної системи електромобіля Nissan Leaf наведені на рис. 1.



1 – датчик струму, датчик температури;
2 – акумулятор; 3 – контролер; 4 – запобіжник
Рис. 1. Основні компоненти енергетичної системи електромобіля Nissan Leaf

Чотири літій-іонні елементи об'єднані в одному модулі. В подальшому ці модулі складаються у літій-іонний акумулятор, що вміщає 48 модулів та розміщується в середині корпусу акумуляторної батареї. Об'єднання окремих елементів у модуль, а потім їх з'єднання у єдину високовольтну акумуляторну батарею відображено на рис. 2.

Одна секція акумуляторів складається з двох паралельно з'єднаних акумуляторних елементів. Дев'яносто шість елементів паралельно з'єднаних секцій, з'єднуються послідовно, як це показано на рис. 2.

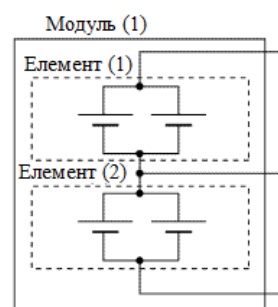


Рис. 2. Схема з'єднання акумуляторних елементів

Для вимірювання температури на модуль високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf встановлюється три датчика.

На рис. 3 показана структура батарейного модуля та розташування датчиків температури: два в передньому модулі та один в задньому.

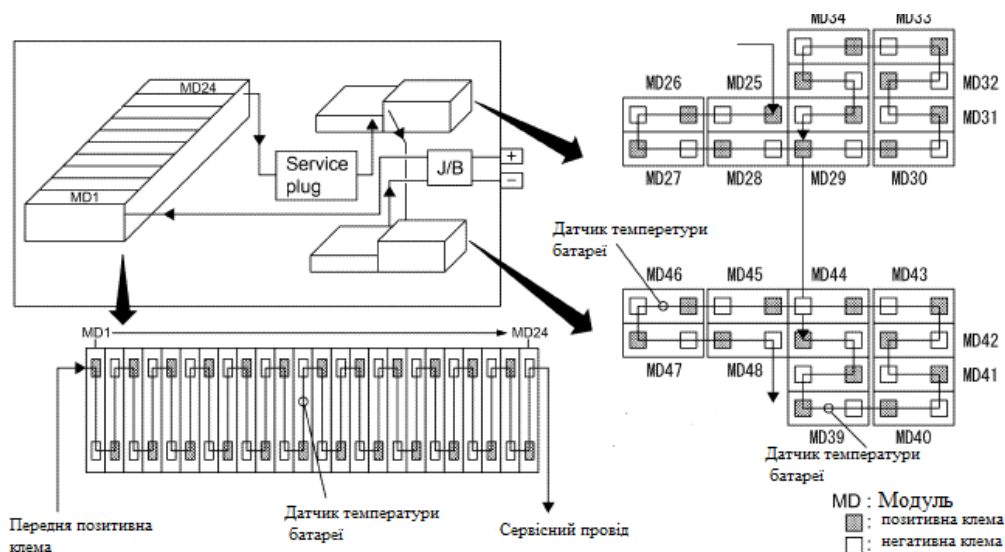


Рис. 3. Структура батарейного модуля та розташування датчиків температури

Контролер літій-іонного акумулятора LBC 9 (Li-Fe Battery Charger) є ядром управління високовольтної акумуляторної батареї. LBC контролює стан акумуляторів в будь-який час, і посилає інформацію до модуля управління транспортним засобом VCM (vehicle control module) за допомогою систем комунікацій. Найбільший потенціал у модуля MD 1 і найнижчий потенціал у модуля MD 48.

Контролер літій-іонного акумулятора LBC здійснює контроль за такими параметрами:

- контролює стан батареї, щоб запобігти помилці, наприклад, перенапруження, над розрядкою або надмірного підвищення температури в батареї;
- виявляє помилки (перенапруження, перезарядка, перевантаження по струму, або надмірного підвищення температури) безпосеред-

ньо в момент виникнення помилки і сигналізує VCM відключити основне реле для переривання лінії розряду / заряду;

- підтримує оптимальний рівень заряду батареї постійно з функцією регулювання потужності модулів, щоб запобігти зниженню ємності, викликаного коливаннями потужності модулів;

- виявляє роз'єм та стан з функцією виявлення у роз'єму джгута проводів високої напруги і передає виявлене стан на VCM;

- оцінки стану заряду батареї та виявлення низького стану батареї, заснований на даних, отриманих за допомогою функції визначення стану батареї, і відображає ємність батареї.

Схема зв'язку контролера літій-іонного акумулятора наведено на рис. 4.

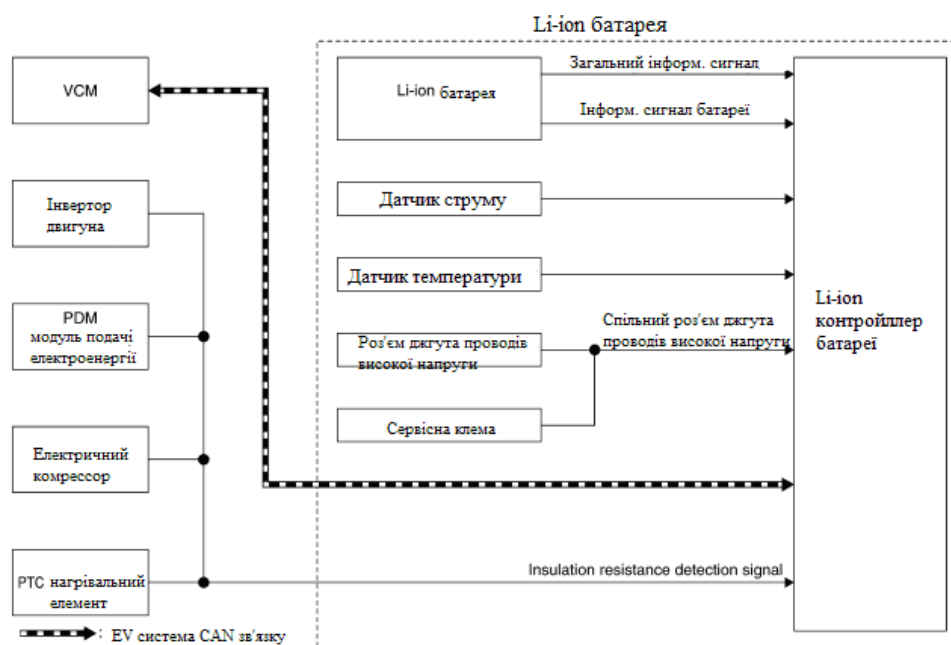


Рис. 4. Схема зв'язку контролера

Контролер літій-іонного акумулятора LBC контролює поточний стан батареї і передає інформаційний сигнал про стан заряду / розряду до VCM, щоб запобігти перенапруженню під час заряду / розряду або надмірного підвищення температури в батареї, чи перевантаженню по струму. Коли виникає помилка, відразу ж надходить сигнал до модуля управління транспортним засобом VCM, який в свою чергу вимикає основне реле системи для переривання розряду або заряду. Контролер LBC підтримує оптимальний рівень заряду батареї з постійною функцією регулювання потужності модуля, щоб запобігти зниженню ємності на елементі, який викликаний коливаннями потужності

модуля. Він також виявляє стан опору ізоляції з функцією виявлення опору ізоляції між високим і низьким рівнем напруги, і передає сигнали до модуля управління транспортним засобом VCM (рис. 5).

Електротранспортні засоби вимагають від батарейних систем високі вимоги до їх характеристик, вони повинні мати задовільну потужність, щоб поглинути і вивільнити енергію в широкому динамічному режимі приводу, а також в режимі рекуперації. Концепції сучасних електромобілів спрямовані на зниження CO₂ і шкідливих викидів. Високовольтна система живлення електромобіля Nissan Leaf повністю забезпечує продуктивність, безпеку і довговічність модулів, що

має вирішальне значення в ефективності роботи транспортного засобу.

Обґрунтування та вибір засобів діагностики акумуляторної батареї

Беручи до уваги використання всіх переваг бездротового зв'язку, широко функціоналу, простоти та інтуїтивності при експлуатації, а також з урахуванням забезпечення точної діагностики при мінімальних витратах за часом для діагностування високовольтних акумуляторних батарей електромобіля Nissan Leaf доцільно обрати діагностичний сканер Consult III Plus. Автосканер Nissan Consult III Plus – новітнє дилерське діагностичне обладнання, яке призначено для діагностики автомобілів сучасних моделей Nissan та Infiniti, що випускаються з 2013 р., а також для інших автомобілів: Murano CrossCabriolet (з 2012 р.), Nissan Leaf (з 2011 р.), Nissan Quest (з 2011 р.), Infiniti M (з 2012 р.), Infiniti M Hybrid (з 2012 р.). Додатково до цього з його допомогою можливо обслуговування автомобілів Renault.

Обґрунтований вибір діагностичного сканера Consult III Plus обумовлений тим, що він в порівнянні попередніми моделями має значні удосконалення апаратного пристрою, програмного забезпечення і функціональності, що дозволяє помітно полегшити роботи з обслуговування автомобілів. Вибір нової моделі діагностичного сканера обумовлений також його змінами, що торкнулися оформлення програмного інтерфейсу, правильності відображення позначень і даних, тощо.

Відмінність діагностичного сканера Consult III Plus від інших систем діагностики полягає у наступному:

- змінено і вдосконалена електронна складова;
- удосконалений інтерфейс програми;
- якісний переклад і розшифровка показань;
- повна підтримка всіх систем для програмування або адаптування блоків.

Комплектація діагностичного сканера Consult III Plus: комунікаційний модуль Nissan Consult-3 plus, кабель OBDII, кабель 14pin, кабель USB, Bluetooth модуль, диск з програмним забезпеченням.

Функціональні особливості діагностичного сканера Consult III Plus:

- підтримка електромобілів та гібридних транспортних засобів;

- підтримка автомобілів, що мають діагностичні роз'єми 16 pin (з 2000 р.) і 14 pin (1996 – 2000 р.);

- функція програмування елементів протиугінної системи;

- зчитування і розшифровка діагностичних кодів несправностей;

- програмне забезпечення з російською мовою.

При розробці цього діагностичного сканера бралися до уваги безліч рекомендацій і пропозицій від технічних фахівців компанії Nissan, завдяки яким управління операційною частиною приладу стало простим і інтуїтивно зрозумілим. При цьому, адаптер Nissan Consult III Plus відрізняється високою надійністю і відмінними діагностичними характеристиками.

Діагностика високовольтної акумуляторної батареї електромобіля

Діагностичний сканер Consult III Plus підключається до комп'ютера, який використовує Windows XP (SP2) або Windows XP (SP3). Інтерфейс діагностичного сканера до ноутбуку Panasonic Toughbook CF-30 показаний на рис. 5.

При виникненні ознаки проблеми з елементами високовольтної акумуляторної батареї, власники електромобіля Nissan Leaf помічають зменшення пробігу автомобіля від повного заряду до повного розряду акумулятора. У такому випадку необхідно провести діагностику елементів батареї, виявити слабку ланку і зробити заміну несправного компонента.

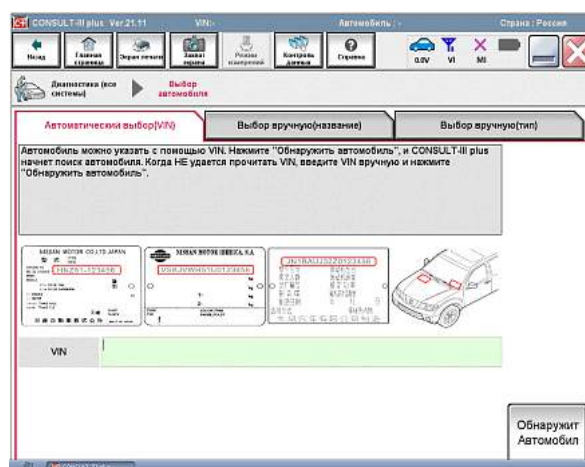


Рис. 5. Інтерфейс сканера Consult III Plus

Для заміни несправного компонента потрібно зняти високовольтну акумуляторну батарею, маса якої складає 270 кг, та розібра-

ти її на елементи. Елемент акумулятора наведено на рис. 6.



Рис. 6. Розібраний елемент акумуляторної батареї

Діагностичний сканер Consult III Plus має зрозумілий для користувача інтерфейсом, що дозволяє зчитувати коди несправностей та іншу діагностичну інформацію, та виводити її на дисплей комп'ютера. Також за допомогою сканера Consult III Plus можна скидати сервісні інтервали, різні адаптації, ідентифікацію блоку управління, отримувати різну інформацію заходячи в розділи допомоги, тощо.

Висновки

Проведено дослідження конструктивної особливості енергетичної системи Nissan Leaf. Акумуляторна батарея для електромобіля зібрана з 192 елементів, маса її складає близько 270 кг і розташована вона під передніми сидіннями. Ємності батареї 24 кВт·год з урахуванням енергії, що отримана від рекуперативного гальмування, вистачає приблизно на 160 км пробігу у змішаному циклі. Життєвого циклу батарей достатньо на 8...10 років експлуатації Nissan Leaf. Нову акумуляторну батарею ємністю 24 кВт·год можна придбати за \$ 6499.

Проведений вибір та обґрунтування засобу діагностування акумуляторної батареї для електромобіля Nissan Leaf. Оптимальним варіантом є дилерський діагностичний сканер Nissan Consult III plus, що складається з ноутбука Panasonic Toughbook CF-30 та діагностичного інтерфейсу VCI2. Застосування цього приладу підвищує ефективність процесу діагностики високовольтної акумуляторної батареї електромобіля Nissan Leaf.

Література

1. Ning D. K., Prasad T. T. The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*. Volume 9 (1), 2017, p. 49-66.
2. Qiping C., Chuanjie L., Aiguo O., Xiangqin L., Qiang X. Research and development of in-wheel

motor driving technology for electric vehicles. *Electric and Hybrid Vehicles*, Vol. 8 (3), 2018, p. 242-254.

3. Павлов В. Б., Попов О. В., Павленко В. С. и др. Миський електромобіль в Україні. *Техническая электродинамика*. Темат. вып. (ч.1), 2011, С. 127-131.
4. Смирнов О. П., Богаєвський О. Б., Пігарєв Р. І. Проблеми та перспективи розвитку електромобілів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. Вип. 4, 2013, С. 19–23.
5. Смирнов О. П., Борисенко А. О., Марченко А. В, Романенко А. В. Дослідження та діагностика електричних систем електромобіля BMW I3. *Автомобільний транспорт*. Вип. 44, 2019. С. 5-13
6. Diez-Ibarbia A., Battarra M., Palenzuela J., Cervantes G, Walsh S, De-la-Cruz M., Theodossiadis S, Gagliardini L. Comparison between transfer path analysis methods on an electric vehicle. *Applied Acoustics*. Volume 118, 2017, p. 83–101.
7. Обзор електромобіля Nissan Leaf цены и потребление энергии. URL: <http://motocarrello.ru/jelektromobili-nissan/1145-jelektromobil-nissan-leaf.html> (дата звернення 18.07.2019)
8. Nissan Leaf. URL: <http://www.roperld.com/science/NissanLeaf.htm> (дата звернення 20.07.2019)
9. Електромобіль Nissan Leaf. URL: <http://www.electra.com.ua/elektroavtomobil/186-elektromobil-nissan-leaf.html> (дата звернення 10.07.2019)
10. Electric Vehicle Lithium-ion Battery. URL: http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html (дата звернення 18.07.2019)

References

1. Ning D. K., Prasad T. T. (2017) The electric vehicle: a review. *International Journal of Electric and Hybrid Vehicles*, 9 (1), 49-66 [in Ukrainian].
2. Qiping C., Chuanjie L., Aiguo O., Xiangqin L., Qiang X. (2018) Research and development of in-wheel motor driving technology for electric vehicles. *Electric and Hybrid Vehicles*, 8 (3), 242-254 [in Ukrainian].
3. Pavlov V. B., Popov O. V., Pavlenko V. S. i dr. (2011) Mi`s'kij elektromobil` v Ukrayini. [Urban electric car in Ukraine] *Tekhnicheskaya e`lektrodinamika*, 1, 127-131 [in Ukrainian].
4. Smirnov O., Bogayevskij O., Pigaryev R. (2013) Problemi ta perspektivi rozvitku elektromobil`i`v. [Problems and prospects for the development of electric vehicles.] *Car and Electronics. Modern technologies: electronic scientific specialized edition*. Kharkiv, 4, 19–23 [in Ukrainian].
5. Smyrnov O. P., Borisenko A. O., Marchenko A. V., Romanenko A. V. (2019) Doslidzhennya ta diagnostika elektrichnikh

- sistem elektromobilya BMW I3. [Research and diagnostics of electric systems of the electric car BMW I3] *Avtomobi`lnij transport*. Kharkiv, 44, 5-13 [in Ukrainian].
6. Diez-Ibarbia A., Battarra M., Palenzuela J., Cervantes G., Walsh S., De-la-Cruz M., Theodossiadis S., Gagliardini L. (2017) Comparison between transfer path analysis methods on an electric vehicle. *Applied Acoustics*, 118, 83–101.
 7. Obzor e`lektromobilya Nissan Leaf czeny` i potreblenie e`nergii. Retrived from: <http://motocarrello.ru/jelektromobili-nissan/1145-jelektromobil-nissan-leaf.html> (accessed 18.07.2019)
 8. Nissan Leaf. Retrived from: <http://www.roperld.com/science/NissanLeaf.htm> (accessed 20.07.2019)
 9. E`lektromobil` Nissan Leaf. Retrived from: <http://www.electra.com.ua/elektroavtomobil/186-elektromobil-nissan-leaf.html> (accessed 10.07.2019)
 10. Electric Vehicle Lithium-ion Battery. Retrived from: http://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/li_ion_ev.html (accessed 18.07.2019)

Смирнов Олег Петрович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, smirnov1oleg@gmail.com, тел. +38 068-609-94-58

Борисенко Анна Олегівна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, anutochka2111@gmail.com, тел. +38 096-11-06-949.

Марченко Антон Валерійович¹, аспірант каф. автомобільної електроніки, anton.marchenko.1996@gmail.com, тел. +38 099-37-28-881

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Диагностика высоковольтной аккумуляторной батареи электромобиля Nissan Leaf

Аннотация. *Статья посвящена решению важной и актуальной научно-прикладной задачи, связанной с повышением эффективности процесса диагностики высоковольтной аккумуляторной батареи электромобиля Nissan Leaf с помощью дилерского диагностического сканера Nissan Consult III plus.*

Ключевые слова: *электромобиль; Nissan Leaf; тяговая аккумуляторная батарея; диагностика; калибровка; диагностический сканер; диагностический интерфейс.*

Смирнов Олег Петрович¹, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 068-60-99-458, smirnov1oleg@gmail.com.

Борисенко Анна Олеговна¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 096-11-06-949, anutochka2111@gmail.com,

Марченко Антон Валериевич¹, аспирант, каф. автомобильной электроники тел. +38 099-37-28-881, anton.marchenko.1996@gmail.com,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Diagnostics of a high-voltage storage battery of Nissan Leaf electric car

Abstract. *The article is dedicated to solving an important and relevant scientific and applied problem related to improving the efficiency of the diagnostics and calibration process of a Nissan Leaf electric car battery using a Nissan Consult III plus dealer scanner. **Problem.** Electric cars are becoming more and more common in our lives. They are in themselves already eco-friendly products designed to show how the owner cares about the environment. A topical issue for the operation of electric vehicles is the diagnosis and calibration of a high-voltage battery. **Methodology.** The purpose of the study is to increase the efficiency of the diagnostics and calibration process of a Nissan Volt High Voltage Battery with the Nissan Consult III plus dealer scanner. The method of the research is software and hardware resources of a Nissan Consult III plus dealer diagnostic scanner, consisting of a Panasonic Toughbook CF-30 laptop and a VCI2 diagnostic interface. Research objectives: selection and justification of diagnostics and calibration of Nissan Leaf high-voltage EV battery and direct diagnostics of EV battery. The Consult III Plus Diagnostic Scanner has a user-friendly interface that allows you to read fault codes and other diagnostic information and display it on your computer. The scanner allows you to reset service intervals, various adaptations, identify the control unit and receive various information. **Results.** The result is selection and justification of the battery diagnostics tool for the Nissan Leaf electric car. The best option is a Nissan Consult III plus dealer diagnostic scanner consisting of a Panasonic Toughbook CF-30 laptop and a VCI2 diagnostic interface. The use of this device increases the efficiency of the Nissan Leaf Electric Car Battery Diagnostic and Calibration Process.*

Key words: *electric car; Nissan Leaf; traction battery; diagnostics; calibration; diagnostic scanner; diagnostic interface.*

Smirnov Oleh Petrovich¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 068-60-99-458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com,

Borisenko Anna Olegovna¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 096-11-06-949, e-mail: anutochka2111@gmail.com,

Marchenko Anton Valerievich¹, postgraduate student, tel. +38 099-37-28-881, e-mail: anton.marchenko.1996@gmail.com,

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ЧОТИРИВІСНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В РАЗІ ВИХОДУ З ЛАДУ ОДНОГО З КОНТУРІВ ЙОГО РОБОЧОЇ ГАЛЬМОВОЇ СИСТЕМИ

Леонтєєв Д. М.¹, Тімонін В. О.¹, Савчук А. Д.², Губарьков С. С.²

¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет

² Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний
центр МВС України

Анотація. В роботі проаналізовано результати дослідження ефективності гальмування багатовісних транспортних засобів у разі виходу з ладу одного з його контурів гальмового приводу. Проведено математичне моделювання динаміки руху чотирьохвісного колісного транспортного засобу та визначено величину його уповільнення при різних схемах розташування мостів відносно центру його ваги та схеми з'єднання контурів з гальмовими механізмами при використанні двосекційного та трисекційного гальмового крану. Описано результати імітаційного моделювання та визначено найбільш раціональні схеми контурів при яких можливе досягнення величини уповільнення в $2,5 \text{ м/с}^2$ транспортного засобу в разі виходу з ладу його робочої гальмової системи.

Ключові слова: гальмова система, ефективність дії гальм, моделювання, динаміка гальмування, запасна гальмова система, гальмування, гальмовий привід, контур гальмового приводу.

Вступ

Відомо, що від справності гальмового керування залежить безпека водія, пасажирів та інших учасників дорожнього руху [1-6]. Також відомо, що колісний транспортний засіб (КТЗ) не може бути допущений до експлуатації, якщо в нього відсутня хоча б одна з наступних гальмових систем: робоча, стоянкова або запасна (аварійна) [5, 7 - 9], а у разі експлуатації його в гірській місцевості, також допоміжна гальмова система. Крім того в залежності від призначення транспортного засобу він може додатково бути обладнаний системою керування гальмами причепа або напівпричепа та/або зупинковою гальмовою системою. Незважаючи на кількість встановлених на транспортний засіб гальмових систем, вони складаються з двох основних структурних елементів, це гальмовий привід та гальмові механізми. Гальмові приводи за принципом передачі енергії бувають механічні, пневматичні, гідравлічні, електричні або комбіновані. В якості гальмових механізмів використовуються фрикційні пристрої (дискові механізми, барабанні механізми, стрічкові механізми), електромагнітні пристрої (електроретардери, електромотор-колеса) або гідрооб'ємні пристрої (гідротрансформатори, гідромотор-колеса).

Гальмові приводи для забезпечення функціонування запасної (аварійної) гальмової системи поділяються на контури [7 - 9]. На

автомобілях малого класу частіше використовують так звані «діагональні контури», а на автомобілях великого класу (з великими вагово-габаритними параметрами) використовують «осьові контури». Причому на транспортних засобах з великою кількістю осей частіше застосовують пневматичний гальмовий привід, тому у подальшому аналіз ефективності гальмування колісного транспортного засобу будемо розглядати на прикладі гальмової системи з пневматичним гальмовим приводом.

Аналіз публікацій

Типова схема розділення гальмового приводу на два осьових контури зображена на рис. 1. На схемі передній осьовий контур та задній осьовий контур керує дисковими гальмовими механізмами. Слід відзначити що не завжди ефективність дії переднього контуру дорівнює ефективності дії заднього контуру. Це пов'язано, як показав аналіз науково-технічної літератури [4 - 9], із розташуванням координати центра ваги КТЗ та особливістю взаємодії шин його коліс з поверхнею дорожнього покриття [10, 11].

Контури пневматичного гальмового приводу спрацьовують завдяки пристрою, який отримав назву – гальмовий кран. При використанні інших приводів назва керуючого пристрою може бути іншою (головний циліндр, електронна педаль, тощо).

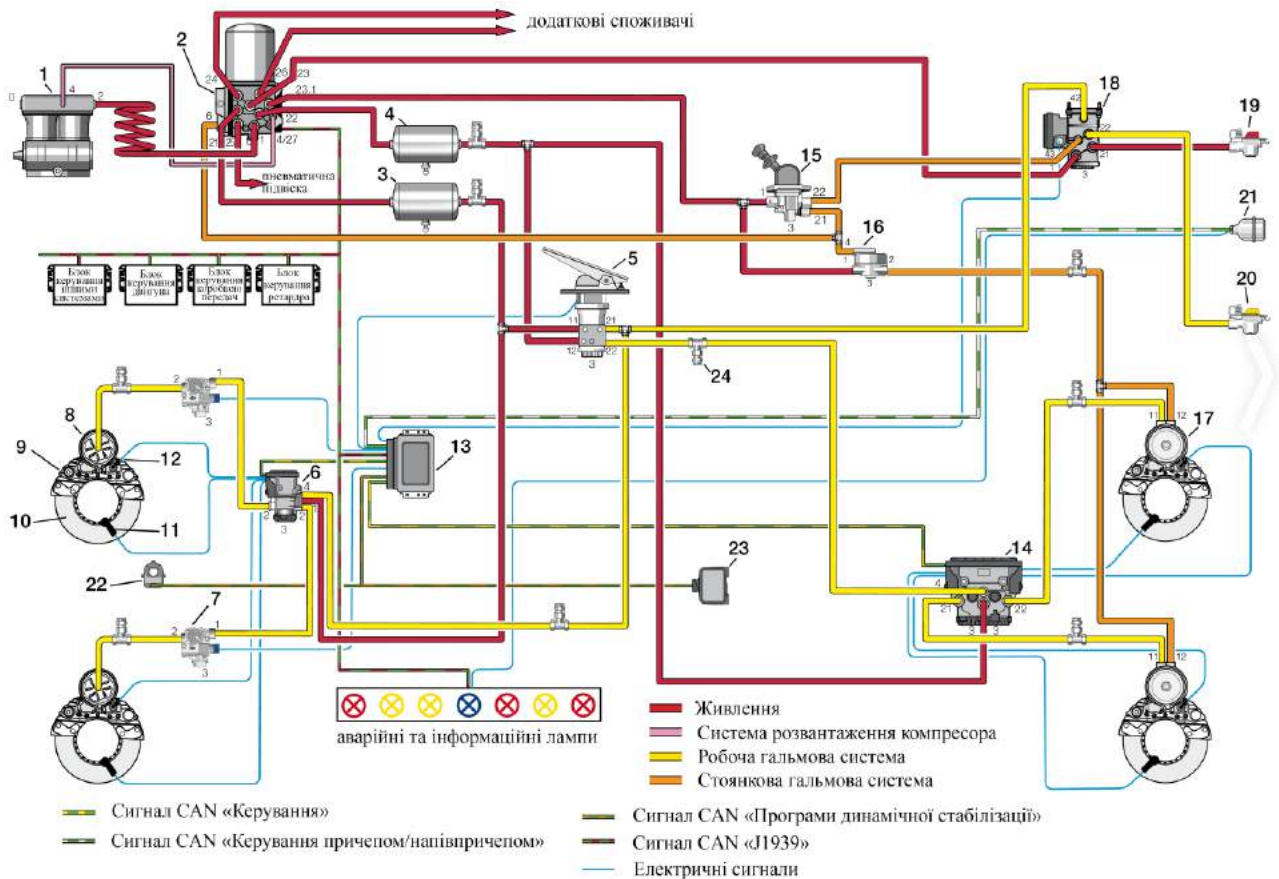


Рис. 1. Типова схема гальмового керування двовісного транспортного засобу [7]

Аналіз науково-технічної інформації показав [1 - 5], що гальмові крани, які використовуються для керування пневматичним гальмовим приводом, в залежності від конструкції можуть бути:

- односекційними;
- двосекційними;
- трисекційними.

Односекційні крани встановлювалися на автомобілі, які випускалися на початку ХХ ст., двосекційні гальмові крани встановлюються на сучасних транспортних засобах, а трисекційні – майже не використовуються, вони серійно освоєні тільки на Вовчанському агрегатному заводі (Україна).

Конструкція різних типів гальмових кранів наведена на рис. 2.

Збільшення кількості секцій гальмового крану обумовлена зростанням кількості осей на колісному транспортному засобі, адже відомо, що із зростанням кількості осей та виході з ладу якого-небудь контуру гальмової системи знижується безпека дорожнього руху великовагових транспортних засобів.

З науково-технічної літератури [12 - 18] встановлено, що сьогодні багатівісні транспортні засоби використовуються не тільки у військових цілях (рис. 3 а), а й в галузі будівництва (рис. 3 в, г) та інших сферах (рис. 3 б, рис. 4), як найбільш раціональна техніка, яка здатна перевозити великі вантажі при достатньо низьких паливно-економічних показниках, тому їх гальмовому керуванню і приділяється увага в даній публікації.

Мета та задачі дослідження

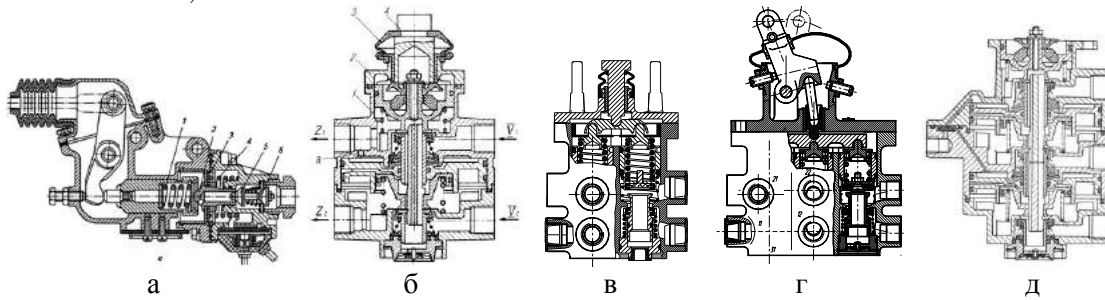
Метою дослідження є вибір раціональної схеми підключення контуру гальмового привода до відповідних гальмових механізмів чотиривісного КТЗ при використанні двохсекційного та трисекційного гальмового крана.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– визначити уповільнення КТЗ у разі виходу з ладу одного з контурів його робочої гальмової системи;

– виконати імітаційне моделювання динаміки руху колісного транспортного засобу під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи;

– визначити раціональну схему з'єднання контурів гальмового привода із мостами чотиривісного колісного транспортного засобу.



а – односекційний, б – двосекційний з послідовними секціями, в – двосекційний з паралельними секціями, г – трисекційний з паралельними секціями, д – трисекційний з послідовними секціями

Рис. 2. Конструкції пневматичних гальмових кранів



а



б



в



г

а – чотиривісний автомобіль військового призначення; б – чотиривісний автомобіль для гасіння пожеж; в – шестивісний автомобіль для будівництва (самоскид);

г – п'ятивісний автомобіль з бетонаносом

Рис. 3. Багатівісні транспортні засоби



а



б



в

а – тривісний автобус; б – чотиривісний автобус; в – п'ятивісний автобус

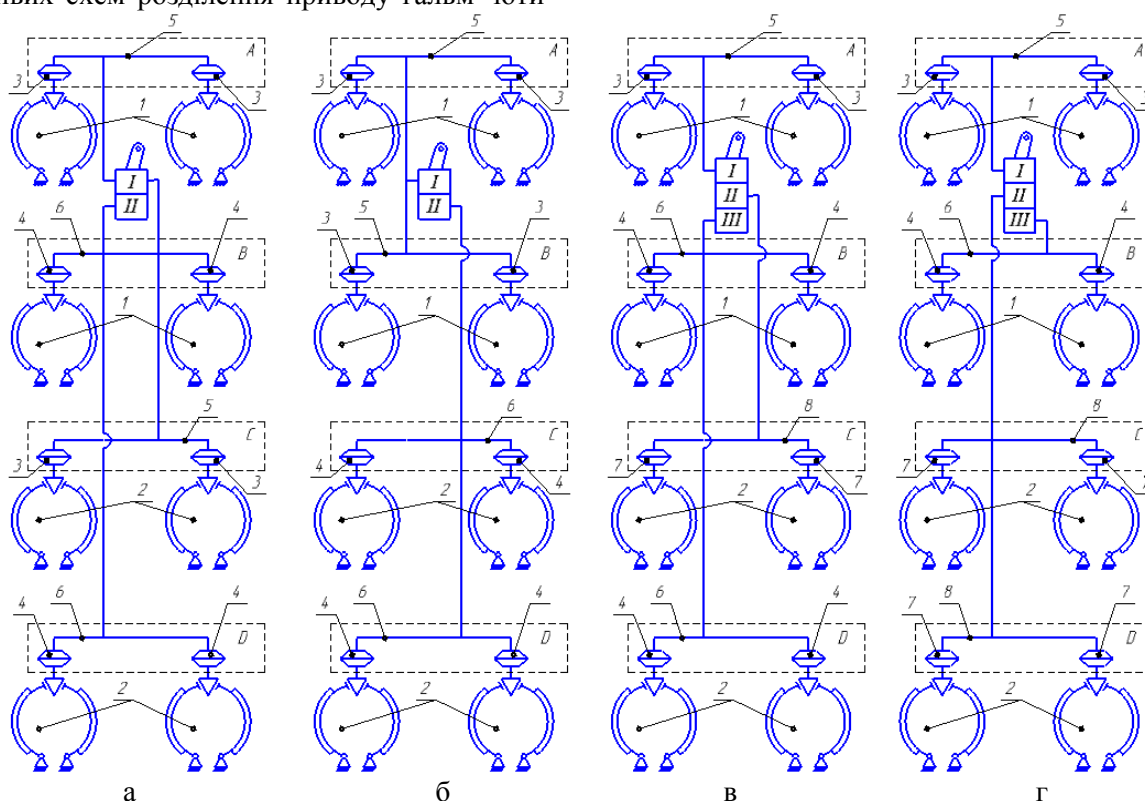
Рис. 4. Багатівісні транспортний засіб для перевезення пасажирів (автобуси)

Дослідження ефективності дії запасної гальмової системи чотирьохвісного колісного транспортного засобу

В останні роки асортимент багатовісних транспортних засобів почав зростати швидкими темпами, при майже незмінній його гальмовій системі, в наслідок чого виникає проблема розділення гальмового привода на раціональні схеми контурів. Так для чотирьохвісного транспортного засобу може бути складено багато схем контурів, чотири з яких зображено на рис. 5.

Проведені теоретичні дослідження можливих схем розділення приводу гальм чоти-

рьохвісного колісного транспортного засобу показали, що в залежності від схеми підключення контурів до гальмових механізмів та схеми розташування мостів (рис. 6) на колісному транспортному засобі ефективність дії запасної (аварійної) гальмової системи такого автомобіля буде відрізнятися одна від одної. Отримані в наслідок імітаційного моделювання результати дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного колісного транспортного засобу для зручності аналізу зведені до табл. 1 та табл. 2.



а, б – схеми підключення двосекційного гальмового крану до відповідних гальмових механізмів чотирьохвісного колісного транспортного засобу; б та в – схеми підключення трисекційного гальмового крану до відповідних гальмових механізмів чотирьохвісного колісного транспортного засобу;
1 – передні гальмові механізми типу «симплекс»; 2 – задні гальмові механізми типу «симплекс»;
3, 4 та 7 – гальмові камери встановлені на відповідних осях колісного транспортного засобу;
5, 6 та 8 – відповідні контури гальмового приводу робочої гальмової системи колісного транспортного засобу; I, II та III – номер секцій гальмового крану, які з'єднуються з відповідними місцями A, B, C, D гальмового контуру в яких встановлено гальмові камери 3, 4 або 7

Рис. 5. Схема розділення приводу на контури



а – два мости передніх та два задніх; б – один міст передній та три задніх

Рис. 6. Схеми розміщення мостів чотирьохвісного транспортного засобу

Під час дослідження задавалися параметри чотиривісного автомобіля *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* та *Scania R 580 8x8*4 Zetterbergs tippdumper*.

Аналіз результатів розрахунків показав, що при використанні двосекційного гальмового крану при схемі розташування мостів два спереду та два позаду (рис. 6 а), коефіцієнт гальмування КТЗ відповідає вимогам стандартів, як це розглянуто в роботі [9], тільки у двох випадках: 1212 та 2121, які рівноцінні один одному.

При виході з ладу будь якого контуру підключеного до мостів по схемі 1212 та

2121 забезпечується 50 % ефективність гальмування при початковій швидкості гальмування 80 км/год на дорозі з коефіцієнтом тертя 0,95. У разі ж використання схеми розташування мостів зображеної на рис. 6 б кількість варіантів підключення двосекційного гальмового крану до мостів збільшується (1212, 2121, 1122, 2211), але при цьому загальна вага транспортного засобу для забезпечення вимог правил дорожнього руху України повинна бути зменшена на 2600 кг у порівнянні із КТЗ, який має схему розташування мостів зображену на рис. 6 а., щоб не перевищити в динаміці вагу на осі.

Таблиця 1 – Дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного КТЗ при використанні двосекційного гальмового крану (раціональні варіанти - виділені жирним шрифтом)

Точка підключення (А, В, С, D) до секції гальмового крану (1 та 2)				Коефіцієнт гальмування під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи <i>MAN TGS 41.360 8X4</i> (рис. 9 а) / <i>Scania R 580 8x8*4</i> (рис. 9 б)	
				При виході з ладу 1-го контуру	При виході з ладу 2-го контуру
А	В	С	D		
1	2	2	2	0,432 / 0,450	0,084 / 0,077
2	1	2	2	0,394 / 0,333	0,122 / 0,216
2	2	1	2	0,343 / 0,374	0,198 / 0,176
2	2	2	1	0,391 / 0,450	0,151 / 0,098
1	1	2	2	0,320 / 0,258	0,202 / 0,289
2	1	1	2	0,225 / 0,167	0,310 / 0,372
2	2	1	1	0,202 / 0,289	0,320 / 0,258
1	2	1	2	0,262 / 0,304	0,272 / 0,258
2	1	2	1	0,272 / 0,258	0,262 / 0,304
1	2	2	1	0,310 / 0,372	0,225 / 0,167
1	1	1	2	0,151 / 0,098	0,391 / 0,450
2	1	1	1	0,084 / 0,077	0,432 / 0,450
1	1	2	1	0,198 / 0,176	0,343 / 0,374
1	2	1	1	0,122 / 0,216	0,394 / 0,333

При використанні трисекційного гальмового крану кількість варіантів комбінування контурів із місцями підключення до мостів чотиривісного транспортного засобу збільшується з 14 до 36, при цьому раціональними варіантами є тільки 24 для схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 а, та 30 варіантів – для схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 б.

Раціональні схеми компоновки секцій трисекційного гальмового крану із точками підключення до мостів чотиривісного КТЗ, які задовольняють вимогам міжнародного стандарту, щодо ефективності гальмування з втратою ефективності, для зручності аналізу представлено в табл. 2.

Наведені у табл. 2 варіанти компоновки секцій гальмового крану із точками підключення їх до мостів КТЗ дозволяють у

разі виходу з ладу будь-якого елемента будь-якого з контурів гальмового привода забезпечити 50 % ефективність гальмування КТЗ від мінімально допустимої. Слід зазначити що найкраще гальмування КТЗ із втратою ефективності досягається для транспортного засобу *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* при наступних схемах підключення трисекційного гальмового крану до мостів КТЗ (два моста спереду, два позаду): 1123, 1132, 2213, 2231, 3312, 3321. Найкраща ж ефективність гальмування транспортного засобу *Scania R 580 8x8*4 Zetterbergs tippdumper* може бути досягнута при використанні схеми підключення трисекційного гальмового крану до мостів КТЗ (один міст спереду, три позаду) у такий спосіб: 1231, 1321, 2132, 2312, 3123, 3213.

Як можна побачити з наведених схем, які забезпечують найкращий результат гальмування КТЗ з втратою ефективності не більше ніж 50 % від мінімально допустимої ефективності гальмування, вони є варіантами перестановки секцій гальмового крану і є повністю взаємозамінними.

Співставлення результатів визначення ефективності гальмування КТЗ при використанні двосекційного та трисекційного гальмового крану дозволяє зробити висновок, що використання останнього на порядок збільшує ефективність дії запасної гальмової системи КТЗ та в цілому підвищує надійність робочої гальмової системи.

З аналізу результатів розрахунку ефективності гальмування КТЗ під час використання запасної гальмової системи можна побачити, що із зменшенням ваги автомобіля *Scania R 580 8x8*4* (31000 кг) по відношенню до автомобіля *MAN TGS 41.360 8X4 BB H02* (28400 кг) на 2600 кг (на 8 %) при використанні схеми розташування мостів зображеної на рис. 9 б його ефективність гальмування збільшилася на 7 %. Слід зазначити, що виконані дослідження не враховують особливості маневреності наведених автомобілів, а висновки зроблені тільки на основі ефективності гальмування КТЗ.

Таблиця 2 – Дослідження ефективності гальмування чотирьохвісного КТЗ при використанні трисекційного гальмового крану (тільки раціональні варіанти)

Точка підключення (А, В, С, D) до секції гальмового крану (1, 2 та 3)				Коефіцієнт гальмування під час спрацьовування запасної (аварійної) гальмової системи <i>MAN TGS 41.360 8X4</i> (рис. 9 а) / <i>Scania R 580 8x8*4</i> (рис. 9 б)		
				При виході з ладу 1-го контуру	При виході з ладу 2-го контуру	При виході з ладу 3-го контуру
А	В	С	D			
1	2	3	1	0,310 / 0,390	0,394 / 0,349	0,343 / 0,392
1	2	1	3	0,262 / 0,306	0,394 / 0,349	0,391 / 0,478
1	3	2	1	0,310 / 0,390	0,343 / 0,392	0,394 / 0,349
1	3	1	2	0,262 / 0,306	0,391 / 0,478	0,394 / 0,349
1	1	2	3	0,320 / 0,265	0,343 / 0,392	0,391 / 0,478
1	1	3	2	0,320 / 0,265	0,391 / 0,478	0,343 / 0,392
2	1	3	1	0,272 / 0,266	0,432 / 0,466	0,343 / 0,392
3	1	2	1	0,272 / 0,266	0,343 / 0,392	0,432 / 0,466
1	2	3	2	0,432 / 0,466	0,272 / 0,266	0,343 / 0,392
2	1	3	2	0,394 / 0,349	0,310 / 0,390	0,343 / 0,392
2	1	2	3	0,394 / 0,349	0,262 / 0,306	0,391 / 0,478
2	3	1	2	0,343 / 0,392	0,310 / 0,390	0,394 / 0,349
2	3	2	1	0,391 / 0,478	0,262 / 0,306	0,394 / 0,349
2	2	1	3	0,343 / 0,392	0,320 / 0,265	0,391 / 0,478
2	2	3	1	0,391 / 0,478	0,320 / 0,265	0,343 / 0,392
1	3	2	3	0,432 / 0,466	0,343 / 0,392	0,272 / 0,266
2	3	1	3	0,343 / 0,392	0,432 / 0,466	0,272 / 0,266
3	1	2	3	0,394 / 0,349	0,343 / 0,392	0,310 / 0,390
3	1	3	2	0,394 / 0,349	0,391 / 0,478	0,262 / 0,306
3	2	1	3	0,343 / 0,392	0,394 / 0,349	0,310 / 0,390
3	2	3	1	0,391 / 0,478	0,394 / 0,349	0,262 / 0,306
3	3	1	2	0,343 / 0,392	0,391 / 0,478	0,320 / 0,265
3	3	2	1	0,391 / 0,478	0,343 / 0,392	0,320 / 0,265

Висновки

Кількість секцій гальмового крану та схема їх підключення до мостів транспортного засобу суттєво впливають на ефективність гальмування останнього, тому необхідно під час вибору компоновки розміщення запасної (аварійної) гальмової системи приділяти особливу увагу, щодо цього питання оскільки це впливає на безпеку дорожнього руху.

Отримані результати ефективності гальмування чотиривісного колісного транспортного засобу при виході з ладу одного з його контурів робочої гальмової системи показали, що використання трисекційного гальмового крана дозволяє отримати кращі показники гальмування ніж використання двосекційних гальмових кранів, які серійно встановлюються майже на всіх великовагових КТЗ.

Використання схеми розміщення мостів на транспортному засобі одна вісь спереду, три позаду у порівнянні із схемою розміщення мостів два спереду, два позаду знижує допустиму загальну вагу транспортного засобу але покращує його ефективність гальмування на 7%.

Під час застосування двосекційних гальмових кранів найбільш раціональною схемою підключення контурів гальмового приводу до гальмових механізмів є схема 1212 або 2121, оскільки як показав аналіз результатів моделювання, тільки при використанні саме цих схем запасна гальмова система чотиривісного транспортного засобу незважаючи від схеми розміщення мостів КТЗ забезпечує ефективність гальмування більше 50 % від мінімально допустимої ефективності дії його робочої гальмової системи.

Література

1. Крайник Л. В., Дуфанець І. Г. Обґрунтування та оцінка ефективності схеми гальмового приводу тривісного моноблочного автобуса. *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2008. Вып. 42. С. 17-19.
2. Крайник Л. В., Дуфанець І. Г. Динаміка і параметрична оптимізація гальмового приводу тривісного автобуса з моноблочним кузовом. *Вісті Автомобільно-дорожнього інституту*. Горлівка, 2009. Вип. 2. С. 33-36
3. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств. *Транспорт*. Москва, 1988. 224с.
4. Пчелин И. К. Динамика процесса торможения автомобиля: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Пчелин Игорь Константинович. Москва, 1984. 390 с.
5. Ревин А. А. Теория эксплуатационных свойств автомобилей и автопоездов с АБС в режиме торможения. Монография, 2002. 372 с.
6. Леонтьев Д. М. Системний підхід до створення автоматизованого гальмівного керування транспортних засобів категорій М3 та Н3: дис. ... канд. техн. наук.: 05.22.02. Нац. б-ка України ім. В.І. Вернадського, Київ, 2011.
7. EBS3 – Electronic braking system. System description. *WABCO*. URL: <http://www.wabco.info/i/196> (дата звернення: 28.11.2019).
8. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) (2015) Electronically Controlled Braking Systems for Trailers. Technical book. 2015. 28p.
9. Туренко А. Н., Клименко В. И., Рыжих Л. А., Леонтьев Д. Н., Михалевич Н. Г., Красюк А. Н. Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортных средств. Монография. Харьков, 2015. 450 с.
10. Левин М. А., Фуфаев Н. А. Теория качения деформированного колеса. Учебник, 1989. 269 с.
11. Леонтьев Д. Н., Рыжих Л. А., Быкадоров А. В. Определение продольной реализуемой силы сцепления автомобильного колеса с опорной поверхностью по крутильной деформации шины и ее жесткости. *Автомобильная промышленность*, 2014. 10. С. 20-25.
12. Wu J. L., Zhang H. C., Zhang Y. Q. Robust design of a pneumatic brake system in commercial vehicles. *SAE Int. J. Commer. Veh.*, 2009, Vol. 2, pp. 17–28.
13. Miller J., Cebon D. An investigation of the effects of pneumatic actuator design on slip control for heavy vehicles. *Veh. Syst. Dyn.*, 2013, Vol. 51, pp. 139–164.
14. Patil J., Palanivelu S., Jindal A. Mathematical model of dual brake valve for dynamic characterization. *SAE Tech. Pap.* 2013.
15. Natarajan S. V., Subramanian, S. C., Darbha S. A model of the relay valve used in an air brake system. *Nonlinear Anal. Hybrid Syst.* 2007, Vol. 1, pp. 430–442.
16. Selvaraj M., Gaikwad S., Suresh A. K. Modeling and simulation of dynamic behavior of pneumatic brake system at vehicle level. *SAE Tech. Pap.* 2014.
17. Bowlin, C.L.; Subramanian, S.C.; Darbha, S.; Rajagopal, K.R. Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles. *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.* 2006, Vol. 153, pp. 21–32.
18. Qin, T.; Li, G.Y.; Tu, M. Bus pneumatic braking circuit delay analysis and control. *Trans. Beijing Inst. Technol.* 2012, Vol. 32, pp. 470–474.

Reference

1. Krainyk L. V. Dufanets I. H. (2008) Obgruntuvannya ta otsinka efektyvnosti skhemy halmovoho pryvodu tryvisnoho monoblochnoho avtobusa [Substantiation and evaluation of the efficiency of the brake system of a three-axle bus with a monoblock body] *Vestnik Harkovskogo natsionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. 42. 17-19. [in Ukraine].
2. Krainyk L. V. Dufanets I. H. (2009) Dynamika i parametrychna optyimizatsiia halmovoho pryvodu tryvisnoho avtobusa z monoblochnym kuzovom [Dynamics and parametric optimization of a three-axle bus with a monoblock body] *Visti Avtomobilno-dorozhnogo instytutu*, 2009. 2. 33-36 [in Ukraine].
3. Gurevich L. V., Melamud R. A. (1988) Pnevmaticheskiy tormoznoy privod avtotransportnyih sredstv [Pneumatic brake drive for vehicles] *Transport*. [in Russian].
4. Pchelin I. K. (1984) Dinamika protsessa tormozheniya avtomobilya [The dynamics of the process of braking the car]: Avtoreferat, dis.

- roboata kand. tehn. nauk: 05.05.03. Pchelin Igor Konstantinovich. Moskov. [in Russian].
5. Revin A. A. (2002) Teoriya ekspluatatsion-nyih svoystv avtomobiley i avtopoezdov s ABS v rezhime tormozheniya [Theory of operational properties of cars and trucks with ABS in braking mode]. Monografiya, Volgograd. [in Russian].
 6. Leontiev D. M. (2011) Systemnyi pidkhd do stvorennia avtomatyzovanoho halmivno-ho keruvannia transportnykh zasobiv ka-tehorii M3 ta N3 [System approach to the creation of automated brake control of vehicles of categories M3 and N3]: dys. ... kand. tekhn. nauk.: 05.22.02. Nacz. b-ka Ukrayiny` im. V.I. Vernads`kogo. [in Ukraine].
 7. EBS3 – Electronic braking system. System description. WABCO. Retrived from: <http://www.wabco.info/i/196> (accessed: 28.11.2019);
 8. A Division WABCO Standart GmbH. EBS (EPB) (2015) Electronically Controlled Braking Systems for Trailers. Technical book. 2015.
 9. Turenko A. N., Klimenko V. I., Ryizhik L. A., Leontiev D. N., Mikhalevich N. G. (2015) Realizatsiya intelektualnykh funktsiy v elektronno-pnevmaticheskomy tormoznom upravlenii transportnykh sredstv [The implementation of intellectual functions in the electron-pneumatic braking control of vehicles]. Monografiya. [in Russian]
 10. Levin M. A., Fufaev N. A. (1989) Teoriya kacheniya defor-mirovannogo koleasa [The theory of rolling deformed wheels]. Book. [in Russian]
 11. Leontev D. N., Ryizhik L. A., Byikadorov A. V. (2014) Opredelenie prodolnoy realizuemoy silyi stsepleniya avtomobilnogo koleasa s opornoй poverhnostyu po krutilnoy deformatsii shiny i ee zhestkosti [Determination of the longitudinal realizable force of adhesion of an automobile wheel with a bearing surface by torsional deformation of the tire and its rigidity]. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 10. 20-25 [in Russian]
 12. Wu J. L., Zhang, H. C., Zhang, Y. Q. (2009) Robust design of a pneumatic brake system in commercial vehicles. *SAE Int. J. Commer. Veh.* 2. 17–28.
 13. Miller J., Cebon D. (2013) An investigation of the effects of pneumatic actuator design on slip control for heavy vehicles. *Veh. Syst. Dyn.*, 51. 139–164.
 14. Patil J., Palanivelu S., Jindal A. (2013) Mathematical model of dual brake valve for dynamic characterization. *SAE Tech. Pap.*
 15. Natarajan S. V., Subramanian S. C., Darbha S. (2007) A model of the relay valve used in an air brake system. *Nonlinear Anal. Hybrid Syst.*, 1. 430–442.
 16. Selvaraj M., Gaikwad S., Suresh A. K. (2014) Modeling and simulation of dynamic behavior of pneumatic brake system at vehicle level. *SAE Tech. Pap.*
 17. Bowlin C. L., Subramanian S.C., Darbha S., Rajagopal K. R. (2006) Pressure control scheme for air brakes in commercial vehicles. *IEE Proc. Intell. Transp. Syst.*, 153. 21–32.
 18. Qin T., Li, G. Y., Tu M. (2012) Bus pneumatic braking circuit delay analysis and control. *Trans. Beijing Inst. Technol.*, 32. 470–474.
- Леонт'єв Дмитро Миколайович**¹, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, (097) 943-78-85, dima.a3alij@gmail.com.
- Тімонін Володимир Олексійович**¹, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій і мехатроніки, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net.
- Савчук Андрій Дмитрович**², судовий експерт, (099) 568 27 85, andrusha273@ukr.net.
- Губар'ков Сергій Сергійович**², судовий експерт., (066) 823 91 00, gserg93@gmail.com.
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого 25.
- ²Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України.
- Estimation of braking efficiency of four-axis vehicle in case of failure of one of the circuits of its working brake system**
- Abstract Problem.** Due to the fact that heavy construction equipment is now used more often on public roads of large cities, the work analyzes the braking efficiency of such vehicles in the event of failure of one of their brake drive circuits. **Goal.** The aim of the study is to choose a rational scheme for connecting the brake drive circuit to the corresponding brake mechanisms of a multi-axis vehicle using two-section and three-section brake valves. **Methodology.** The proposed method for numbering the circuits of the brake drive allows to evaluate and choose rational options for the layout of the brake drive for different layouts of axles on the vehicle. **Results.** The technique makes possible you to evaluate the braking performance of a multi-axis vehicle in the event of failure of one of its brake drive circuits. **Originally.** A new approach to the estimation of the braking performance of heavy vehicles is proposed, which enables to take into account the design features of the brake system of a heavy multi-axis vehicle. **Practical value.** The results of simulation modeling are described and the most rational circuit diagrams are determined at which it is possible to achieve a deceleration of 2.5 m / s² of the vehicle in case of failure of its working brake system.
- Key words:** brake system; simulation; brake dynamics; modeling; braking system efficiency; spare braking system; braking; brake drive; brake drive circuit.
- Leontiev Dmytro**¹, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Auto-

biles named after A.B. Gredeskul, (097) 943-78-85, dima.a3alij@gmail.com,

Timonin Volodymyr¹, Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Associate Professor of the Department of Computer Technology and Mechatronics, (097) 552-66-35, tva55info@gmail.com,

Savchuk Andrii², Forensic expert, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net,

Hubarkov Serhii², Forensic expert, (066) 823-91-00, gserg93@gmail.com,

¹ Kharkov National Automobile and Highway University, 61002, Ukraine, Kharkiv, str. Yaroslava Mudrogo 25.

² The ministry of internal affairs of Ukraine scientific research and forensic Centre of the ministry of internal affairs in Kharkiv region.

Оценка эффективности торможения четырехосного транспортного средства в случае выхода из строя одного из контуров его рабочей тормозной системы

Аннотация. В работе проанализировано результаты исследования эффективности торможения многоосного транспортного средства в случае выхода из строя одного из его контуров тормозного привода. Проведено математическое моделирование динамики движения четырехосного колесного транспортного средства и определено величину его замедления при различных схемах расположения мостов относительно центра его масс та схемы соединения контуров с тормозными механизмами при использовании

двухсекционного и трёхсекционного тормозного крана. Описано результаты имитационного моделирования и определены наиболее рациональные схемы контуров, при которых возможно достижение замедления $2,5 \text{ м/с}^2$ транспортного средства в случае выхода из строя его рабочей тормозной системы.

Ключевые слова: тормозная система; эффективность действия тормозной системы; моделирование; динамика торможения; запасная тормозная система; торможение; тормозной привод; контур тормозного привода.

Леонтьев Дмитрий Николаевич¹, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей им. А. Б. Гредескула, (097) 943-78-85,

dima.a3alij@gmail.com,

Тимонин Владимир Алексеевич¹, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий и мехатроники, (099) 568-27-85,

andrusha273@ukr.net,

Савчук Андрей Дмитриевич², судебный эксперт, (099) 568-27-85, andrusha273@ukr.net,

Губарьков Сергей Сергеевич², судебный эксперт, (066) 823-91-00, gserg93@gmail.com,

¹ Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого 25.

² Харьковский научно-исследовательский экспертно-криминалистический центр МВД Украины.

ЕНТРОПІЯ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Гнатів А. В.¹, Аргун Щ. В.¹, Тарасов К. С.¹, Тарасова В. В.², Суханов А. С.², Чуйко П. В.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації

***Анотація.** У статті розглянуто деякі питання класифікації систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія. Розглянуті основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму. Розгляд ентропії дозволяє встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем.*

***Ключові слова:** система автоматичного управління; електричний двигун; параметри; ентропія; класифікація; енергосистема; надійність; економічність; електропривод.*

Вступ

Системи автоматичного управління (САУ), що застосовуються в сучасній техніці є досить різноманітними. Швидке розширення функціонального призначення автоматичних систем, що стало можливим, зокрема, завдяки впровадженню електронних керуючих машин, збільшує число реалізованих класів систем [1, 2].

Кожна САУ включає: джерело живлення, електричний двигун і пристрої керування джерелом живлення. В теперішній час існує велика кількість електричних двигунів різних типів, але найбільш поширеним є асинхронний двигун. Саме тому він, в першу чергу, розглядається як об'єкт автоматичного керування [3-5]. Динаміка електропривода та формування закону управління вимагають обліку параметрів статичних і динамічних характеристик регульованого об'єкта.

Таким чином, систематизація властивостей типових структур та їх елементів для управління електроприводами в роботі, є метою досліджень багатьох авторів.

При аналізі систем управління частіше всього використовують основні поняття та визначення, а саме: передавальні функції, закони регулювання, частотні характеристики і деякі інші. Однак, для аналізу і опису складних САУ цього може бути недостатньо, оскільки необхідним становиться використання ймовірнісних методів, які використовують більш загальні визначення і поняття. До таких понять належить, наприклад, ентропія розподілу ймовірностей керуваного процесу.

Ентропія – це міра невизначеності ситуації (або випадкової величини) з кінцевою кількістю результатів. Вона є лише загальною характеристикою стану системи, але дозволяє зробити висновки про стійкість систем (або процесів) в цілому. Тому ентропія є актуальним поняттям в САУ і її можна використовувати в цих системах для оцінки загальної організації процесу управління.

Аналіз публікацій

Існує достатня кількість публікацій, які присвячені системам автоматичного управління [3-12].

Так, в роботі [3] представлено порівняльний аналіз властивостей асинхронного двигуна (АД), як об'єкта управління, а також виконано розрахунок параметра критичного ковзання за спрощеною методикою, що враховується системою під час автоматичного управління.

Автори статті [4] представили метод розрахунку механічної характеристики АД при наявності в ній ділянки з явно вираженим мінімальним моментом. Такий підхід дає більш точні параметри для САУ під час виконання операції керування асинхронним двигуном.

В роботі [5] проведено розрахунок основних характеристик тягового АД для електроприводу електробуса міського призначення. Керуючись отриманими даними можна задати початкові умови для САУ асинхронним двигуном, що використовується в електричних автотранспортних засобах.

В роботі [6] для підвищення стабільності і точності управління електричним індукційним двигуном без датчика швидкості пропонується новий метод векторного управління для еталонної моделі адаптивної ідентифікації швидкості двигуна. Авторами статті створено математичну модель електродвигуна і розроблено його векторний контролер. Результат моделювання демонструє, що АД може точно відстежувати команду керування швидкістю без застосування спеціального датчика швидкості.

У статті [7] представлено конструктивний підхід енергозберігаючих законів управління автоматизованими системами асинхронного електроприводу. Цей підхід заснований на нелінійних математичних моделях, аналітичних умовах енергозберігаючого управління і сучасних методах проектування автоматичних регуляторів. Представлені результати комп'ютерного моделювання розроблених регуляторів і оцінки його ефективності.

Автори роботи [8] представили структуру трифазного перетворювача зі зворотним зв'язком та описали його принцип роботи. На підставі цього побудована трирівнева система управління двигуном змінного (з подвійною просторовою векторною імпульсною модуляцією) та постійного струму. В зазначеній системі досягається автоматичне керування потоком енергії в чотирьох квадрантах. Отже, може бути здійснене автоматичне управління двигуном, що працює в станах прискорення і уповільнення.

В роботах [9-12] автори вибрали АД, для тягового електроприводу електричного автобуса, який отримує живлення від блоку суперконденсаторів. Проведено модулювання роботи зазначеної тягової електроустановки з визначенням основних показників спожитої та генерованої енергії при роботі електробуса в міських умовах експлуатації.

Проведений огляд та аналіз публікацій показує, що оцінка працездатності систем автоматичного регулювання (управління) електротехнічних систем та електроприводами в їх складі є досить актуальним завданням. При цьому виникає необхідність у визначенні та оцінюванні координат управління процесами, що протікають. Рішення зазначеного завдання дозволить більш ефективно та якісно здійснювати САУ складних електротехнічних систем, що використовуються в різноманітних галузях народного господарства, транспорту та промисловості.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є розглядання можливостей використання поняття ентропія в САУ взагалі та її використання в цих системах для оцінювання координат управління процесами, що в них протікають.

Для досягнення заданої мети необхідно виконати наступні задачі:

- провести аналіз процесів в САУ складних електричних систем;
- розглянути класифікацію систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія;
- розглянути основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму;
- встановити загальні умови організації управління процесами.

Аналіз процесів в САУ складних електричних систем

Для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму необхідно виконання ряду вимог:

- повне використання пропускну здатності окремих ланок;
- можливість прийому споживачами потужності, виробленої електростанціями;
- запобігання випадків порушення стійкості паралельної роботи електричних машин;
- запобігання випадків хаотичних відключень і пошкодження обладнання;
- створення умов для якнайшвидшого припинення аварійного режиму.

Виконання цих та деяких інших вимог здійснюють група пристроїв системної автоматики. Тим часом, крім наростаючої різноманітності можливих видів автоматичних пристроїв, в сучасній техніці чітко виражена тенденція комплексного використання цих пристроїв – об'єднання автоматичних пристроїв в єдині системи.

Поняття САУ охоплює як найпростіші автоматичні пристрої, так і складні комплекси автоматичних систем. Такі системи комплексної автоматизації, як системи управління технологічними процесами цілих підприємств і груп підприємств, різноманітних електронних та силових систем на сучасному транспорті і т.п., можуть включати безліч джерел інформації, систем регулювання, обчислювальних і керуючих машин, каналів передачі інфо-

рмації та інших пристроїв. Тобто існують системи автоматичного регулювання (управління) різного призначення. Залежно від типу

САУ до неї можуть бути застосовані різні вимоги, а сама система може характеризуватися різними параметрами. Одна з можливих класифікацій САУ наведена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація систем автоматичного управління

Для якісного опису і дослідження процесів в комплексних автоматичних системах необхідні відповідні визначення та поняття.

Основні визначення і поняття, що використовуються при аналізі систем управління, а саме: передавальні функції, закони регулювання, частотні характеристики і т.д., недостатні для аналізу і опису складних САУ. Необхідні більш загальні визначення і поняття. До таких понять належить, наприклад, ентропія розподілу ймовірностей керованого процесу. Нехай є певний процес, управління яким підлягає автоматизації. Стан процесу в кожен даний момент часу характеризується сукупністю величин x_1, x_2, \dots, x_n , які будемо називати координатами процесу.

Координати процесу завжди мають розкид щодо бажаних значень, тобто містять випадкові складові. Одним з основних призначень автоматизації управління процесом є зменшення невизначеності протікання процесу, зменшення відхилень процесу від бажаного його перебігу. При цьому вимога збільшення точності управління часто поєднується з вимогою збільшення швидкості протікання процесу.

Для ілюстрації тези про розкид координат процесу, що підлягає автоматизації, наведемо прості приклади. При роботі генератора без регулятора напруги мають місце великі коливання напруги, викликані випадковими змінами навантаження і швидкості обертання.

Призначення регулятора полягає в зменшенні цих коливань до допустимих меж.

Вичерпної характеристикою координат процесу в кожен заданий момент часу є розподіл ймовірностей цих величин.

Для безперервних координат, які беруть довільні значення в деяких інтервалах, щільність ймовірностей висловлює ймовірність одночасного перебування координат в інтервалах:

$$\rho(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Функція (1) може бути виражена інакше:

$$\rho(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n; \\ x_i \leq x_i \leq x_i + dx_i; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2)$$

Якщо розподіл дискретний, тобто координати можуть мати лише дискретні значення, то функція щільності ймовірності перетворюється в суму δ -функцій.

Відзначимо, що координати процесу, що протікає в часі, є випадковими функціями часу і вираз (1) слід розглядати як щільність ймовірності перетину випадкових функцій при заданому значенні часу t .

Розподіл ймовірностей вимагає при емпіричному визначенні великого числа експериментів. У теорії інформації була введена інте-

гральна характеристика невизначеності, названа ентропією. Ця характеристика має близьку спорідненість з поняттям ентропії в статистичній фізиці і термодинаміці.

У теорії ймовірностей і теорії інформації поняття ентропії було поширене на розподілу ймовірностей будь-яких змінних. Ентропією безперервного розподілу ймовірностей змінних x_1, x_2, \dots, x_n називається величина.

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x_1, x_2, \dots, x_n) \times \log \rho(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n. \quad (3)$$

Ентропія залежить тільки від розподілу ймовірностей – однозначно визначається щільністю ймовірності $\rho(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Однак, для того щоб вказати величини, до розподілу яких відноситься ентропія, часто позначають $H = H(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Теорія інформації розглядає ентропію розподілу ймовірностей в системах отримання і передачі інформації. При цьому вважається, що після отримання інформації про будь-якої величиною розподіл ймовірності цієї величини і, отже, ентропія можуть істотно змінитися. Тим самим ентропії в теорії інформації приписується сенс суб'єктивної або відносної характеристики. Подібну ентропію називають інформаційною ентропією там, де це необхідно в інтересах ясності викладу.

Інформаційна ентропія для даного спостерігача змінюється щоразу, коли цей спостерігач отримує інформацію про розглянутих величинах. Інформаційною ентропією в найбільшій мірі відповідає формулювання Больцмана, відповідно до якої ентропія є міра, якої бракує інформації.

Крім інформаційної ентропії, в теорії автоматичного управління доцільно використовувати інше поняття ентропії, яке є як би застосуванням поняття фізичної ентропії до керованих процесів, що характеризуються обмеженим числом різних величин - координат.

Цей вид ентропії називають ентропією розподілу ймовірностей координат керованого процесу (об'єкта) чи просто ентропією процесу. Зазначені поняття ентропії мають однакові математичні вирази. Ентропія розподілу ймовірностей координат керованої процесу виражається формулою (3), так само як і інформаційна ентропія. Різниця ж має місце в істоті зазначених понять і полягає в наступному. Інформаційна ентропія, як вище зазначалося, істотно залежить від інформації, одержуваної даними наглядом, і є внаслідок

цього відносної суб'єктивної характеристики. Ентропія процесу і розподілу ймовірностей координат цього процесу - об'єктивні характеристики, які не залежать від інформації, отриманої окремим спостерігачем.

Іншими словами, вважається, що ентропію розподілу ймовірностей координат будь-якого процесу не можна змінити, лише вимірявши з тією або іншою точністю ці координати. Для зміни ентропії процесу необхідне втручання в цей процес, тобто управління або природне вплив. Таким чином, є два загальних поняття ентропії, що мають однакове математичне вираз: ентропія процесу і інформаційна ентропія.

Основні властивості ентропії

Розглянемо деякі властивості ентропії. Оскільки математичні визначення інформаційної ентропії і ентропії процесу однакові, всі співвідношення в рівній мірі справедливі для обох видів ентропії і в формулюваннях вид ентропії можна не вказувати.

Якщо координати x_1, x_2, \dots, x_n незалежні, то щільність розподілу ймовірностей можна записати у вигляді:

$$p(x_1, x_2, \dots, x_n) = p(x_1)p(x_2)\dots p(x_n) \quad (4)$$

або інакше:

$$\log p(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \log p(x_i), \quad (5)$$

де $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$ – щільності розподілу ймовірностей x_1, x_2, \dots, x_n

Доказано [13], що для незалежних величин справедлива рівність:

$$H = \sum_{i=1}^n H_i, \quad (6)$$

де H_i – ентропія i -ї з незалежних величин.

Таким чином, ентропія незалежних координат процесу дорівнює сумі ентропій кожної координати.

Якщо процес характеризується лише однією координатою x , то ентропія визначиться в виді:

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log p(x) dx. \quad (7)$$

Якщо координата x може приймати лише дискретні значення, вірогідності яких дорівнюють P_1, P_2, \dots, P_m , то ентропія такої координати виражається формулою:

$$H = \sum_{j=1}^n P_j \log P_j. \quad (8)$$

Необхідно відзначити, що ця формула не може бути отримана простим граничним переходом з виразу (7).

Якщо дискретна величина не має розкиду, тобто значення її строго фіксоване, то все ймовірності P_j , крім однієї, дорівнюють нулю, а ця єдина ймовірність дорівнює одиниці. Таким чином, ентропія дискретної величини при відсутності розкиду дорівнює нулю. Ентропія дискретної величини завжди позитивна або дорівнює нулю. Це безпосередньо впливає з виразу (8), де $0 \leq P_j \leq 1$.

Ентропія величини, здатної приймати m значень, максимальна в тому випадку, коли всі ці значення рівно ймовірні, $P_j = 1/m$.

Ентропія безперервної величини, заданої абсолютно точно, дорівнює негативною нескінченності. Звернення в нескінченність $H(x)$ при точному завданні безперервної величини x не можна вважати недоліком поняття ентропії як характеристики невизначеності. Зазначене положення вказує лише на безплідність використання поняття ентропії в тих випадках, коли застосовується ідеалізація (модель) процесу з точним завданням безперервних величин. У реальних процесах фізичні величини ніколи не можуть бути вимірянні і задані абсолютно точно, і ентропія ніколи не звертається в нескінченність.

Ентропія безперервної величини, що має заданий середній квадрат, максимальна при нормальному законі розподілу ймовірностей.

Легко перевірити, що розподіл при заданих умовах відповідає саме максимуму ентропії і цей максимум дорівнює:

$$H = \log(\sigma\sqrt{2\pi e}) = \log(4,13\sigma). \quad (9)$$

Таким чином, при заданому середньому квадраті нормальний розподіл відповідає найбільшою невизначеності величини x з усіх можливих розподілів.

Тут необхідно вказати на важливе положення: практичне значення має не абсолютна величина ентропії, а її приріст. Воно знімає утруднення, пов'язане з розмірністю величин.

Дійсно, якщо x – розмірна фізична величина, то щільність ймовірностей має розмірність, обернену розмірності x . Таким чином, під знаком логарифма з'являється розмірна величина. Однак в вираженні різниці ентропії завжди фігурує логарифм відносини і фізичні розмірності скорочуються. Це наочно демонструє формула (9).

Одним з основних призначень автоматизації управління процесом є зменшення невизначеності протікання процесу та зменшення відхилень процесу. При цьому дуже часто вимога збільшення точності управління поєднується з вимогою збільшення швидкості протікання процесу. Це питання стає особливо актуальним в сучасній автотранспортній техніці, де швидкість протікання електричних, електронних та механічних процесів в основних складових елементах та вузлах автотранспорту постійно зростає. Відповідно, це вимагає більш швидких реакцій систем управління для відпрацювання потрібних керуючих сигналів та команд.

Використання ймовірнісного поняття ентропії, зрозуміло, не замінює детального вивчення керованого процесу, так само як використання поняття загальної енергії системи не замінює визначення кожної з координат системи.

Однак розгляд ентропії дозволяє:

- встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем, наприклад, систем автоматичного управління тягового електроприводу електромобіля на базі трифазної машини змінного струму;

- отримати ймовірності значення для оцінювання координат управління процесами, що протікають, наприклад, в системі автоматичного управління роботою силового блоку перетворення енергії в електротранспорті.

Висновки

У статті розглянуто класифікацію систем автоматичного управління та можливість використання для оцінки їх працездатності поняття ентропія.

Розглянуті основні вимоги, які необхідно виконати для забезпечення надійної та економічної роботи сучасних енергосистем змінного струму.

Розгляд ентропії дозволяє встановити деякі загальні умови організації управління процесами, зокрема режимами роботи енергетичних та складних електричних систем.

Література

1. Попович М. Г., Ковальчук О. В., Пересада С. М., Приймак Б. І. Теорія автоматичного керування. Київ, 2012. 655 с.
2. Савеленко І. В. Синтез системи автоматичного керування електроприводом на базі синхронного двигуна з постійними магнітами. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2015. № 28. С. 309–316.
3. Тарасова В. В., Суховій С. А., Гнатів А. В., Аргун Ш. В. Використання асинхронного двигуна, як об'єкта автоматичного керування. *Автомобіль і електроніка. Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. 2017. № 12. С. 166–174.
4. Бакуменко В. Б., Тарасова В. В., Ручка О. О., Гнатів А. В., Аргун Ш. В., Тарасов К. С. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна при наявності в неї мінімального моменту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 2019. № 15. С. 17–27.
5. Аргун Ш. В. Розрахунок основних характеристик тягового асинхронного двигуна для електричної трансмісії міського електробуса. *Автомобільний транспорт*. 2018. № 43. С. 36.
6. Xu J., Hu Z., Tian G. Model reference adaptive vector control of asynchronous motor without speed sensor. *2016 35th Chinese Control Conference (CCC 2016)*. (Chengdu, 27–29 July 2016). Chengdu, 2016. P. 3195–3199.
7. Popov A. N. Energy-saving Regulators for Asynchronous Electric Drive Vector Control Systems: Design Procedure and Adaptive Control. *2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED)*. (Moscow, 30 January – 2 February 2019). Moscow, 2019. P. 1–4.
8. Wan H., Kang J., Fan Q. Research on asynchronous motor control characteristics based on dual SVPWM back to back three level converter. *2012 Power Engineering and Automation Conference*. (Wuhan, 18–20 September 2012). Wuhan, 2012. P. 1–4.
9. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S., Ulyanets O. Ultracapacitors electrobus for urban transport. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*. (Kyiv, 24–26 April, 2018). Kyiv, 2018. P. 539–543.
10. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. Energy saving technologies for urban bus transport *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. 2017. №14(4). P. 4649–4664.
11. Гнатів А. В., Пидгора А. В. Автобусный транспорт, назначение и классификация. Электробус на суперконденсаторах. *Автомобиль и электроника: Современные технологии: электронное научное специализированное издание*. 2017. № 11. С. 5–12.
12. Patłins A., Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., Hnatova H., Mygal V. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In: *USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Riga, 7–9 October, 2019). Riga, 2019. pp. 051-1–051-6.
13. Руденко Ю. Н., Ушаков И. А. Надёжность систем энергетики. Новосибирск, 1986. 328с.

Reference

1. Popovych M. G., Kovalchuk O. V., Peresada S. M., Pryjmak B. I. (2012) Teoriya avtomatychnogo keruvannya. [Automatic control theory.]. [in Ukrainian].
2. Savelenko I. V. Syntez systemy avtomatychnogo keruvannya elektropryvodom na bazi synronnogo dvyguna z postijny'my magnitamy [Synthesis of a system of automatic control of electric drive based on a synchronous motor with permanent magnets]. *Zbirnyk naukovy'x prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo texnichnogo univertyetu. Texnika v sil's'kogospodars'komu vy'robny'cztvi, galuzeve masy'nobuduvannya, avtomaty'zaciya*. 28. 309–316. [in Ukrainian].
3. Tarasova V.V., Suxovij S.A., Gnatov A.V., Arhun Shch. (2017) Vy'kory'stannya asynronnogo dvyguna, yak ob'yekta avtomatychnogo keruvannya [Using an induction motor as an automatic control object]. *Avtomobil i elektronika. Sovremennyye tehnologii: elek-tronnoe nauchnoe spetsializiro-vannoe izdanie*. 12. 166–174. [in Ukrainian].
4. Bakumenko V. B., Tarasova V. V., Ruchka O. O., Gnatov A. V., Arhun Shch., Tarasov K. S. (2019) Rozraxonok mexanichnoyi xaraktery'sty'ky' asynronnogo dvyguna pry' nayavnosti v neyi minimal'nogo momentu [Calculation of mechanical characteristics of an induction motor with minimum torque]. *Avtomobil' i elektronika. Suchasni tehnologiyi*. 15. 17–27. [in Ukrainian].
5. Arhun Shch. (2018) Rozraxonok osnovny'x xaraktery'sty'k tyagovogo asynronnogo dvyguna dlya elektry'chnoyi transmisii mis'kogo elektrobusa [Calculation of main characteristics of traction induction motor for electric transmission of city bus]. *Avtomobil'ny'y transport*. 43. 36. [in Ukrainian].
6. Xu J., Hu Z., Tian G. (2016) Model reference adaptive vector control of asynchronous motor without speed sensor. *2016 35th Chinese Control Conference (CCC 2016)*. (Chengdu, 27–29 July 2016). 3195–3199.
7. Popov A. N. (2019) Energy-saving Regulators for Asynchronous Electric Drive Vector Control Systems: Design Procedure and Adaptive Control.

- 2019 26th International Workshop on Electric Drives: Improvement in Efficiency of Electric Drives (IWED). (Moscow, 30 January - 2 February 2019). 1–4.
8. Wan H., Kang J., Fan Q. (2012) Research on asynchronous motor control characteristics based on dual SVPWM back to back three level converter. *2012 Power Engineering and Automation Conference*. (Wuhan, 18-20 September 2012). 1–4.
 9. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S., Ulyanets O. (2018) Ultracapacitors electrobus for urban transport. *IEEE 38th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2018)*. (Kyiv, 24–26 April, 2018). 539–543.
 10. Hnatov A., Arhun Shch., Ponikarovska S. (2017) Energy saving technologies for urban bus transport *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*. №14(4). 4649-4664.
 11. Hnatov A., Pydhora A. (2017) Avtobusnyi transport, naznachenie i klassifikatsiya. Elektrobus na superkondensatorah. [Bus transport, purpose and classification. Electric bus on supercapacitors.] *Avtomobil i elektronika: Sovremennyye tehnologii: elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie*. № 11. 5-12.
 12. Patłins A., Hnatov A., Arhun S., Tarasov K., Hnatova H., Mygal V. (2019) Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. In: *USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Riga, 7-9 October, 2019). P. 051-1-051-6.
 13. Rudenko Yu.N., Ushakov I.A. (1986) NadYozhnost sistem energetiki [Reliability of power systems]. Novosibirsk. 328. [in Russian].

Гнатів Андрій Вікторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-743-0887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валіковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, e-mail: shasyana@gmail.com,

Тарасов Кирило Сергійович¹, аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0933435082, e-mail: niakros@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодівна², к.т.н., доц. тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Суханов Артем Сергійович², студент, тел. +38 050-673-52-93, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

Чуйко Павло Вячеславович², студент, тел. +38 066-565-39-23, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Entropy in automatic control systems of complex electrical systems

Abstract. Problem. In the analysis of control systems the basic concepts and definitions are mostly used, namely: transfer functions, laws of regulation, frequency characteristics and some others. However, this may not be sufficient to analyze and describe complex automatic control systems, since it is necessary to use probabilistic methods that use more general definitions and concepts. Such concepts include, for example, entropy of the probability distribution of a controlled process. **Goal.** The purpose of this paper is to consider the possibility of using the concept of entropy in automatic control systems in general and its use in these systems to evaluate the coordinates of the control of the processes in them. **Methodology.** Classic methods of probability theory and methods of control of complex technical systems are used. **Results.** The article deals with some issues of classification of automatic control systems and the possibility of using the concept of entropy to evaluate their efficiency. The basic requirements that must be met to ensure the reliable and economical operation of modern AC power systems are considered. **Originality.** It is established that one of the main purposes of process control automation is to reduce process uncertainty and process deviations. However, very often the requirement to increase control accuracy is combined with the requirement to increase the speed of the process. This demands faster responses from control systems to work out the required control signals and commands. **Practical value.** Consideration of entropy enables to: set some general conditions for controlling the operation itself, including the modes of operation of power and complex electrical systems, for example, systems of automatic control of electric traction electric drive based on three-phase AC machine; estimate the coordinates of process control, for example, in the system of automatic control of the operation of the of energy conversion power unit in electric transport.

Keywords: automatic control system; electric motor; parameters; entropy; classification; power system; reliability; economy; electric drive.

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, e-mail: kalifus76@gmail.com,

Shchasiana Arhun¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Tarasov Kyrylo¹, postgraduate, Vehicle Electronics Department, tel. +38 0933435082, e-mail: niakros@gmail.com,

Tarasova Valentyna², Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 066-828-47-31, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com,

Sukhanov Artem², student, tel. +38 050-673-52-93, val.vs.tarasova@gmail.com

Chuiko Pavlo², student, tel. +38 066-565-39-23, e-mail: val.vs.tarasova@gmail.com

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

Энтропия в системах автоматического управления сложных электрических систем

***Аннотация.** В статье рассмотрены некоторые вопросы классификации систем автоматического управления и возможность использования понятие энтропия для оценки их работоспособности. Рассмотрены основные требования, которые необходимо выполнить для обеспечения надежной и экономичной работы современных энергосистем переменного тока. Рассмотрение энтропии позволяет установить некоторые общие условия организации управления процессами, в частности режимами работы энергетических и сложных электрических систем.*

***Ключевые слова:** система автоматического управления; электрический двигатель; параметры; энтропия; классификация;*

енергосистема; надежность; экономичность; электропривод.

Гнатюв Андрей Викторович¹, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-743-0887, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валиковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com,

Тарасов Кирилл Сергеевич¹, аспирант кафедры автомобильной электроники, тел. +38 0933435082, niakros@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодовна², к.т.н., доц. тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Суханов Артем Сергеевич², студент, тел. +38 050-673-52-93, val.vs.tarasova@gmail.com

Чуйко Павел Вячеславович², студент, тел. +38 066-565-39-23, val.vs.tarasova@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

NEW APPROACHES IN TEACHING ENGLISH TO STUDENTS OF AUTOMOBILE SPECIALTIES

Ponikarovska S. V.¹

¹Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Problem. *New approaches in teaching foreign language, especially English as the language of international communication and the most common language in the internet space are the issue of many discussions and researches. Computers and telecommunications that are reshaping higher education, alter the daily operations and expand the missions and opportunities of universities, become the integral part of the teaching process. The students of engineering higher schools, especially future automobile engineers because they are at the cutting edge of modern industry, and, consequently, must be aware of new developments and be able to cooperate with foreign partners, require the combination of traditional and computer-assisted cooperative language learning which provides a space in which the facilitation of learning can take place. However, application of new technologies must be an assisting instrument, but not a self-inclusive tool. The task of a teacher is to be an integral part of the process, not an operator of the computer. Cultivation of students' capacity of thinking should be the major objective in teaching today. Goal.* *The goal of the article is proving that the education sector is no exception in our fast developing society. The nature of its target audience – mostly young and highly connected – means that the sector must adapt to the new requirements, which means computer literacy and friendly atmosphere with the main task of facilitating learning. Methodology.* *Methods of analysis, research and development of new solution were used. Results.* *In the result of the analysis it was proven that new technologies together with new attitude bring a desired result in teaching foreign language in today's reality. Originality.* *Suggestions for using new technologies in the classroom as well as the ways to maintain working atmosphere with friendly communication are made, including the rapport among students themselves. Practical Value.* *The practical value of the work can be the ideas for improving development of the lesson, using gadgets for combination of individual work and consequent communication, prevention for a teacher from becoming just an assistant of technologies in the process of teaching.*

Key words: *atmosphere; communication; technology; knowledge; learning; interactive.*

Introduction

Understanding of the fact that education is one of the main factors of civilizational and economic development of the state urges us today to strategically solve the tasks and provide system reformation of the national higher school, its adequate modernization and integration in the European economy, culture and information sphere. Modernization includes new technologies as an integral part of the progress and new approaches to developing the right atmosphere at the classes. Higher schools have always been quick to adopt new technologies. Throughout its history, higher education has experimented with technological advances. The 21st century has shown increased use of technology-dependent resources in the classrooms and in the independent work. Technology has the potential to revolutionize the traditional teaching and learning process. It can eliminate the barriers of space and time and dramatically expand possibilities of lifelong learning. Fundamentally,

modern technologies have the ability to change the conception of higher education. It is no longer only a physical place with classrooms. As they say, the standard image of a college or a university as a collection of “ivy-covered buildings” may need to be revised for the first time since the founding of Harvard in 1636. Yet, this can be a case of some very near future, but right now computers and telecommunications are the principal technologies reshaping higher education, and it is the absolute truth. They alter the daily operations and expand the missions and opportunities of colleges and universities. Together with new attitude and creating a friendly atmosphere of mutual understanding and friendly communication this can bring a desired result in teaching foreign language in today's reality.

Analysis of Publications

The essence of the process of introducing innovations in technologies and methods of education is the subject of the research of both foreign

and Ukrainian scientists. Such researchers as A. Aleksyuk, I. Dobroskok, V. Illin, V. Kotsura, V. Kremen, S. Nikitchina, and others look into theoretical, scientific and practical problems of innovation paradigm in higher school, various progressive forms and technologies of education, experience and perspectives of their implementation in educational practice [2]. They connect innovations in education with necessity to improve the traditional teaching process and transformation of the existing process, i. e. radical changes. Other researchers, like O. Abdalova, V. Dokuchaieva, I. Halytsia, O. Halytsia, O. Vasylenko correlate the new in educational process with such features as useful, progressive, positive, modern, advanced [1, 3]. As the world new trend is the online courses and media-education, the authors emphasize that introduction of new technologies and mastering them require definite internal readiness for serious changes of both teachers and students of higher education.

Purpose and Tasks

The advance of globalization that is destroying, or at least lowering international barriers, competition among higher educational institutions contributes to “arms race” in technology that requires adoption of new technological innovations as soon as they become available. The alternative is falling behind other schools whose task is to recruit the students that could have become yours. This process can be painful for many reasons, not the smallest of them being material resources, shortage of space, cost of technological applications and software. The purpose of this work is to try to determine characteristic features of forms, methods and means of innovation education, consider the specific character of their use in interactive media of engineering higher schools of Ukraine. The major emphasis is made on training the students of automobile specialties.

Technologies in teaching English to students of automobile specialties

The list of professions where the specialists cannot do without English, among others, like programmers, journalists, managers of big companies, project managers, marketers, lawyers, web-designers, includes engineers of different specialties. The jokes about engineers belong to 90-s, they are history now. Today an engineer is a profession in demand, and one of the rare that is required abroad. That is exactly the reason why engineer needs English not less than some scien-

tist or a diplomat. Even if an employer is not currently connected with some foreign partners, he prefers to hire an engineer with a decent knowledge of English. Firstly, this knowledge speaks about the flexibility of a person and their capabilities to study, and secondly, life develops and the possibilities of the company as well as of the individuals become wider. The profession of specialist in automobile production is one of the most required. If we speak about the connection of automobile area and English, we should remember several issues. Only some of them being the following: terminology – mostly English, the founders – English-speaking countries, the new technologies and material to find on the internet – in English. No doubt thus, without English you cannot be at the cutting edge of the industry.

One of the most desired skill apart from knowledge now for the future automobile engineer is the skill of presentation. It is integral in the course of teaching ESP to future engineers, for example. As international relations become exceedingly wider, the graduates, working in their specialty, have the possibility or even a duty to visit conferences and other events on professional interests and sometimes make presentations there. Today presentations vary not only in topics and content, but in the ways of interaction of the speaker with the audience. The types are many: classic speeches through internet using video and audio with the speaker practically absent; group presentations in the form of a press conference or a master class or a round table.

So, the issue for the modern specialist in automobiles is not why to study English, but how to do it in current situation. The situation is as follows – variety of online possibilities, availability of electronic textbooks, wide usage of English terminology in modern engineering language, affordability of computers, gadgets and applications, the borders open for common people.

Technology disrupts almost every area of our lives, causing shifts across all segments of our society. The education sector is no exception. In fact, the nature of its target audience – mostly young and highly connected – means that the sector must adapt to accommodate their expectations. Most students have grown up “online”, and they expect the same level of technology in their learning environments [4].

Educational technology today is beneficial for teaching process in many ways. Only traditional teaching is not efficient any more. Teachers must be equipped with complete manual having unlimited source of exercises and activi-

ties for all levels, students must be much more involved and active. Here technology helps too as it is very motivating and stimulating for students. They like using devices in the classroom and outside, they can practice a language through numerous features like voice recognition or interactive exercises. It is great when they can easily switch between individual work and communication (work with earphones and smartphones when watching videos switching to subsequent discussion, the practice which we often use at the practical classes in groups of electronic automobile students). Students use different apps enriching their vocabulary profoundly, they are interested to the extent that they can even open the educational apps in transport or waiting for some event.

Managing and monitoring student progress become much easier and more comfortable with students' groups in messengers and e-mails. In the classroom sharing and debating becomes more "nurtured" with audio and video, a teacher just standing at the blackboard and explaining something is a history now, it happens only when a necessity arises.

In addition, maybe, one of the most important feature in learning with technologies is promoting individual work, when students become more creative and participative. They prepare some basis outside the classroom, engaging all the possible content online and share it in the classroom or even online. In my practice, one automobile student, for example, got so interested both in the specialty and in English that made a course of lectures and uploaded it on the YouTube. Moreover, it gathers many likes! They want to demonstrate what they have learned and use the language not just for the language's sake, but to communicate some interesting information in their specialty or some other area of life they are interested in.

The internet can offer automobile students abundant information, more plentiful than textbooks, and help them get true-to-life language material, vivid cultural background and rich content, which are much more natural and closer to life. They can not only improve their listening and reading skills, but also learn the western culture straight from the source. They become equipped with firsthand knowledge and can share it with their friends through discussion and communication, they can make new friends in social networks and become live friends with them later which happens with increasing frequency.

Teaching using multimedia creates a context of teaching. It helps make the class lively and

interesting. Multimedia has its features such as visibility and audibility of the native speakers. All this nurtures students' interest in learning and, which is also important, enhances teachers' interest in teaching. Thus, through multimedia and network technology we can offer students not only rich sources of authentic learning materials, but also an attractive and friendly interface, vivid pictures and pleasant sounds, which, largely, overcomes the lack of authentic language environment and arouses students' interest in learning language [7].

But the challenge arises when educators realize that the technology can become an expensive toy without the right infrastructure, strategy or a learning plan. Application of multimedia technology is an assisting instrument to achieve the effect, while, if totally dependent on multimedia devices during teaching, the teacher can be turned into a slave to multimedia without any reason and any sensible effect. There are teachers who use technology very actively but do not handle it properly. Usually they just duplicate the textual material to the screen so the result is the students staring on the screen, no eye contact with the teacher, no actual use and no result whatsoever. Any technologies and approaches prove useful only if they have a positive effect.

Besides, some things have managed to stay the same as "before the technologies". For example, students and teachers of foreign language have not abandoned analog materials, and we are not going to do that soon. We continue to use papers and notebooks (though color and comfortable for use and interesting ones) to capture and visualize thought processes, and we will continue to need spaces and classrooms to support the parallel use of analog materials and digital tools for live communication. Oral explanation, teacher's interpretation of some difficult phenomena face-to-face to a student cannot be replaced by multimedia, the teacher's personality, live communication, blackboard with instant rewriting, crossing, checking and correcting, laugh, touch, encouragement – all these are still indispensable.

Here we face the new wave in optimization of language learning, which emphasizes that no technology can compensate the will, because emotions are the major psychological phenomena influencing the character of learning activity. The long experience of work shows that teaching English is more effective and productive when the positive mood prevails in the class, when the activity brings satisfaction, when some efforts are needed in case of a challenge of a

difficult task or a serious problem of discussion. Students' emotions are closely connected with motives and express the possibility of realization of the tasks and aims that were set. Emotions can inspire students to learn and help this inspiration stay. The model of successful activity at the class includes deep immersion in different activities, awareness of the tasks and goals of study, absence of worry and anxiety in the process, positive emotions, commitment, attention, diligence and persistence.

Along with the emotions that stimulate the personality's activity and urge them to act, other emotions can arise, that cause the student to feel uncomfortable and passive. It is interesting though, that such strong negative emotions as anger and insult can also sometimes trigger their activity aiming to prove themselves.

Emotions do not depend on the specialty, and future automobilists face the same challenges as the young people studying any other area of science and industry. Psychologists believe that positive emotions not only create a special atmosphere in the classes, they also increase productivity of cognitive process such as thinking and memorizing, promote creativity in solving problems and fulfilling the tasks, i.e. they enhance learning. In addition, as in any other activity emotions come forward as primary before the real motives.

Both psychologists and pedagogues underline the role of positive motivation for study. At the same time it was proved, that high positive motivation can play a role of a compensating factor in case of "not good enough" capabilities of a student. The interesting fact is that this factor does not work the other way – no high level of student's knowledge and capabilities can compensate the absence of motive and consequently, cannot make a student successful.

Besides, when we speak about new approach to teaching, it would be great to remember that in most universities of the world students can choose the teacher whose classes they can attend. Of course, it concerns mostly the lecturers, when the students can choose the professor even from the other university because they consider him or her the best in their area. Therefore, the question arises if our students had a choice whom they would choose. The idea that they would choose the teacher who gives the best marks and is not strict belongs to the history. Only some students think this way, the majority prefer the teachers from whom they can get real knowledge. However, they all want the teacher to possess some other qualities, too. So, what

makes a good teacher of English? Especially of English, as language exposure is still not much available outside the classroom, the role of English teacher is apparently significant. It has become a central issue for discussion at different levels and at several international conferences. The materials of some of them give us the general idea of the area of discussion. According to Park and Lee [8] the characteristics of effective English language teacher consists of three different categories, namely: subject matter knowledge, pedagogical knowledge, and social-affective skills. Dincer, Goksu, Takkac and Yazici [6] add the fourth category – personality characteristics. Considering the issues under consideration in the article, we would also include technology literacy.

The first, socio-affective, refers to teachers' ability to have good relationship with students, to be enthusiastic, positive and creative for teaching, and to bring free-stress classroom. For pedagogical knowledge, teachers have the ability to organize and explain the course and to guide students with informative feedbacks. The third feature, subject-matter knowledge, means that the effective language teacher should know and master the subject to teach. As personal characteristics, the English teacher is effective when he/she has good personality. It demonstrates that the teacher should be someone who is patient, respectful, tolerant, kind, sensible, friendly, humorous, enthusiastic, and has other positive traits. Some researchers like Brown [5] add self-subordination and cultural adaptability to the list. They also underline that a good teacher should also know how to build a good rapport among students, which is very important when learning language, and manage the classroom and handle students' behavior.

From the students' part pedagogical knowledge is the most important in the good English language teacher. According to students' perception, the best teacher is the one who:

- prepares the lesson well;
- follows syllabus tightly;
- uses particular methods and technique in teaching;
- manages the class time well;
- assigns homework (though it may seem that this point of view is odd for the students);
- integrates group activities to the class;
- is up-to-date with technologies;
- teaches how to use English outside the classroom;
- teaches English adapted to students' profi-

ciency level;

- maintains good classroom atmosphere using authority, if necessary;
- assesses what the students have learnt reasonably;
- provides opportunities to use English through meaningful tasks and activities;
- provides activities that arouse students' interest in learning English.

Besides, students list some traits as the qualities of effective English teacher, such as being helpful, friendly, humorous, fair, polite, respectful, flexible, attentive and open to criticism. The way the teacher behaves is considered significant not less than his knowledge. These are the socio-affective and personality issues highly perceived by students. The best teacher:

- is helpful in and outside the classroom;
- is available for students;
- alleviate students' anxiety in the English class;
- listens to the students' opinions and let them express themselves;
- helps students to develop self-confidence in order to learn English well;
- is friendly to students;
- has a good sense of humor;
- does not discriminate between students, treats them fairly;
- arouse students' motivation for learning English;
- shows interest in students (remembers their name, for example);
- is neat and tidy;
- pays attention to the personal needs of students;
- is polite; respects the personality of students;
- is disciplined and punctual;
- is flexible;
- is attentive to the class;
- does not lose temper and does not get angry.

Concisely, effective teachers master the subject matter well, know how to deliver it to the best advantage, and are good, respectful, and interesting figures for students.

Conclusion

From what was said above the following conclusions can be made. When we speak of new approaches in teaching English to the students of engineering higher schools, especially future automobile engineers as those standing at the cutting edge of modern industry and, conse-

quently, those who must be aware of new developments and must be able to cooperate with foreign partners, we can summarize that the purpose of both the traditional and computer-assisted cooperative language learning is to provide a space in which the facilitation of learning can take place. One of the ultimate goals of multimedia language teaching is to promote students' motivation and learning interest, which can be a practical way to get them involved in language learning. When teaching English is optimized by multimedia, students are more motivated to communicate with each other, they dive into the atmosphere of foreign language and culture, in authentic video and audio media. But application of new technologies must be an assisting instrument, not an independent tool. The task of a teacher is to be an integral part of the process, not an operator of the computer. The main idea of a new approach in teaching English is equipment of students with a firsthand knowledge of language and culture, giving them the instrument and possibilities of presentation, communication, acquiring new information. Cultivation of students' capacity of thinking should be the major objective in teaching today.

Література

1. Абдалова О. И. Исакова О. Ю. Использование технологий электронного обучения в учебном процессе. Дистанц. и виртуал. обучение. 2014. № 12. С. 50–55.
2. Саух П. Ю. та ін. Інновації у вищій освіті: проблеми, досвід, перспективи: монографія. ред. П. Ю. Саух. *Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка*, 2011. 443 с.
3. Фатхутдінова О. В. Впровадження нових технологій в процесі підготовки спеціалістів правознавства. Гуманіт. вісн. *Запоріж. держ. інж. акад.* 2012. Вип. 48. С. 35–39.
1. Beatty K. Mobile language learning: the world in our hands. Anaheim University, USA. 2015 №17 URL: www.anaheim.edu/schools-and-institutes/graduate-school-of-education/diplomain-tesol/243-about/faculty-and-staff/tesol-faculty/886-ken-beatty-phd-ken-beatty-phd (дата звернення 10.07.2019)
4. Brown H. D. Teaching by Principles: An Interactive Approach to Language Pedagogy. *New York: Pearson Education*. 2007. 3d edition. 569 p.
5. Dincer A., Goksu A., Takkac A., Yazici M. Common Characteristics of an Effective English. *The International Journal of Educational Researchers*, 2013. No. 4(3). P. 1–8.
6. Frank V. M., Freynik S., Richardson D. L. Technologies for foreign language learning: a review of technology types and their effectiveness. *Center for Advanced Study of Language, University of Maryland, College Park, MD*. 2014. №1. P.

27.
7. Park G.-P., Lee H.-W. The characteristics of effective English teachers as perceived by high school teachers and students in Korea. *Asia Pacific Education Review*, 2006. No. 7(2), 236–248 p.

References

1. Abdalova O. I., Isakova O. Yu. (2014) Ispolzovaniie texnologyy elektronnoho obucheniia v uchebnoy protsesse [Using electronic technologies in teaching process]. *Distancz. i virtual. obucheniie*. 12. 50–55. [in Russian].
2. Saukh P. Yu. ta in. (2011) Innovaciyi u vyshnij osviti: problemy, dosvid, perspektyvy [Innovations in higher education: problems, experience, prospects]: monohrafiya. red. P. Yu. Saukh. Zhytomyr: Vyd-vo ZhDU im. I. Franka. [in Ukrainian].
3. Fathuddinova O. V. (2012) Vprovadzhennia novykh tehnologii v protsessi pidgotovky spetsialistiv pravoznavstva [Implementation of new technologies in the process of training the law specialists]. *Humanit. Visn. Zaporiz. Derzh. Inzh. Akad.* 48. 35-39. [in Ukrainian].
4. Beatty K. (2015) Mobile language learning: the world in our hands. Anaheim University, USA. 17. Retrived from: www.anaheim.edu/schools-and-institutes/graduate-school-of-education/diplomain-tesol/243-about/faculty-and-staff/tesol-faculty/886-ken-beatty-phd-ken-beatty-phd (accessed 10.07.2019)
5. Brown H. D. (2007) *Teaching by Principles: An Interactive Approach to Language Pedagogy*. New York: Pearson Education. 3d edition.
6. Dincer A., Goksu A., Takkac A., Yazici M. (2013) Common Characteristics of an Effective English. *The International Journal of Educational Researchers*. 4(3). 1–8.
7. Frank V. M., Freynik S., Richardson D. L. (2014) Technologies for foreign language learning: a review of technology types and their effectiveness. Center for Advanced Study of Language, *University of Maryland, College Park, MD*. 1.
8. Park G.-P., Lee H.-W. (2006) The characteristics of effective English teachers as perceived by high school teachers and students in Korea. *Asia Pacific Education Review* 7(2). 236–248.

Ponikarovska Svitlana¹, Senior Lecturer, +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com, ¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Нові підходи у викладанні англійської мови студентам автомобільних спеціальностей
Анотація. Нові підходи до викладання іноземної мови є питанням багатьох дискусій та досліджень. Комп'ютери та телекомунікації трансформують вищу освіту, стають невід'ємною частиною навчального процесу.

Студенти інженерних вищих навчальних закладів, особливо майбутні автомобільні інженери, бо вони знаходяться на передовій економіки, потребують поєднання традиційних та технологічних методів вивчення мови, які забезпечать простір для успішного навчання. Застосування нових технологій повинно бути допоміжним, а не самостійним інструментом. Завдання викладача бути невід'ємною частиною процесу, а не оператором комп'ютера. Виховання у студентів здібностей до самостійного мислення є головною метою в навчанні сьогодні. Мета статті - довести, що сектор освіти не є винятком у нашому суспільстві, що швидко розвивається. Характер цільової аудиторії означає, що освітній сектор повинен адаптуватися до нових вимог, що означає комп'ютерну грамотність та доброзичливу атмосферу із головною метою - сприяти успішному навчанню.

Ключові слова: атмосфера; спілкування; технологія; знання; навчання; інтерактивний.

Понікаровська Світлана Володимирівна¹, старший викладач каф. іноземних мов, +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com, ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Новые подходы к преподаванию английского языка студентам автомобильных специальностей
Аннотация. Компьютеры и телекоммуникации трансформируют высшее образование, становятся неотъемлемой частью учебного процесса. Студенты технических ВУЗов требуют сочетания традиционных и технологических методов изучения языка. Использование новых технологий должно быть вспомогательным, а не самостоятельным инструментом. Задача преподавателя быть неотъемлемой частью процесса, а не оператором компьютера. Воспитание у студентов способностей к самостоятельному мышлению является главной целью в обучении сегодня. В работе доказано, что сектор образования не является исключением, он должен адаптироваться к новым требованиям, что означает компьютерную грамотность и доброжелательную атмосферу для способствования успешному обучению.

Ключевые слова: атмосфера; общение; технология; знания; обучение; интерактивный.

Поникаровская Светлана Владимировна¹, старший преподаватель каф. иностранных языков, тел. +38 067-782-52-50, ponikarovska@gmail.com, ¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

АЛГОРИТМИ ТЕСТОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ВЕНТИЛЬНИХ КІЛ

Ручка О. О.¹, Рикун В. Г.¹, Новіков С. В.¹, Гнатова Г. А.²

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба,
Інститут цивільної авіації

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуті алгоритми діагностування вентильних кіл, а саме: алгоритм діагностування вентильних кіл при відсутності обмежень вибору датчиків реакцій, алгоритм діагностування на основі інформаційного критерію, алгоритм діагностування методом поділу. Крім того, розглянуто використання датчиків струму для складання алгоритму тестового діагностування.

Ключові слова: алгоритм; діагностування; метод; вентиль; вентильне коло; датчик; тест; відмова; перевірка; реакції справного й несправного кола.

Вступ

Вентильні кола є окремим випадком електричних кіл. Поняття кола й набір утворюючих його елементів не відрізняються від загальноприйнятих, тобто елементами кола є резистори, реактори, конденсатори, трансформатори, джерела струму й напруги, нелінійні елементи, в окремому випадку вентиля, керовані елементи (транзистори, тиристори) [1, 2].

Завдання діагностування зводяться в такий спосіб: відома розрахункова топологічна структура кола, параметри його елементів, а для керованих елементів – спосіб керування й параметри керуючих сигналів. Для кола, що діагностується відомі вхідні впливи (вид і значення напруги живлення), розрахункові значення вихідних параметрів; відомі часові співвідношення між параметрами внутрішніх сигналів і змінною напругою мережі (тривалість сигналів керування, закон регулювання часових параметрів, спосіб синхронізації з мережею) [3, 4].

При тестовому діагностуванні кіл повинні вирішуватися наступні завдання:

– перевірка стану кола, тобто визначення необхідних коефіцієнтів передачі. Цей вид контролю застосовують як для лінійних кіл (частотні фільтри різних видів), так і для кіл, заснованих на використанні елементів з нелінійними характеристиками (стабілітрони, обмежувачі напруги й ін.);

– виявлення елементів, що відмовили. Відмови кола можуть бути обумовлені як раптовими змінами, або поступовою зміною параметрів елементів, так і зміною топологічної структури через порушення в монтажі (втрата контакту в з'єднаннях, замикання й обриви в провідниках). На рівні аналізу кола, заданого

принциповою схемою, що не враховує конструктивних особливостей, топології монтажу й т.п., можна діагностувати тільки відмови елементів і ті порушення в монтажі, які електрично еквівалентні відмовам елементів;

– на систему діагностування може впливати перевірка граничних параметрів. Особливо актуальна така перевірка для елементів, які старіють та чутливі до термоциклів. Нарешті, в результаті зіставлення параметрів кола, які виміряні у різний час, можна оцінити швидкість їхньої зміни й прогнозувати стан кола. Завдання прогнозування найбільш складне, воно вимагає виявлення інформативних параметрів і тривалого збереження цих параметрів.

В даній статті обговорюються шляхи рішення перших двох завдань: перевірки стану й пошуку елементів, що відмовили. Завдання перевірки може розглядатися як окремий випадок ідентифікації кола.

Аналіз публікацій

Існує достатня кількість публікацій, які присвячені даним питанням. [3 - 10].

В навчальному посібнику [3] викладено основні теоретичні та методичні рекомендації щодо методів діагностування вентильних розрядників елементів електроенергетичного обладнання. В роботі [4] описано метод побудови діагностичних моделей об'єктів у вигляді резистивних електричних кіл. На основі оцінки похибок побічно вимірюваних діагностичних ознак показано підхід до вибору контрольних вимірюваних величин, які залежать від топології кола, що діагностується. В статті [5] розглядається локальна діагностика електричного кола за допомогою методу головних

величин, а саме методу напруг головних перетинів і методу головних контурних струмів. Проводиться аналіз електричного кола і визначаються параметри гілок схильних до зносу, на підставі чого робиться висновок про пошкодження даної ділянки.

В роботі [6] автори зазначають, що при наявності неточних вимірювань і невизначеності апріорної інформації діагностична модель повинна розглядатися як набір суперечливих лінійних рівнянь і потрібно шукати рішення на основі, наприклад, методу найменших квадратів. На базі цього пропонується проводити корегування отриманого рішення у відповідності до поставленої мети.

В статті [7] представлено метод діагностики електричних кіл для модульного багаторівневого перетворювача постійного струму в постійний струм (MMDDC), який застосовується в суперконденсаторній системі накопичення енергії. Запропонований метод заснований на аналізі вихідних характеристик субмодуля як в нормальних умовах, так і в умовах відмови. Для MMDDC різні типи несправностей розімкнутого кола відображаються вихідною напругою підмодуля в певних режимах роботи. Тому пропонується простий і ефективний метод діагностики за допомогою апаратної схеми і алгоритму швидкого виявлення несправності. Апаратна схема відповідає за виявлення вихідного напруги субмодуля, і його вихідний результат передається в процесор для виконання остаточної діагностики несправності разом з сигналами приводу. Запропонований підхід дозволяє уникнути складних математичних операцій і мінімізує час проведення діагностики.

В роботі [8] представлені експериментальні дослідження діагностики приводів і механізмів вимикачів. Авторами статті проведено аналіз симптомів змін стану механізму, що полягають в характеристиках руху, виконаних на вимикачі середньої напруги з внесеними дефектами.

В статті [9] запропоновано метод вибору асинхронного тягового електроприводу для електромобіля, який дозволив би оцінити необхідні технічні, екологічні та експлуатаційні якості. Цей метод заснований на проведенні діагностування обладнання за його вібродіагностичними характеристиками.

В роботі [10] представлено модулювання електричної силової системи електробуса, в якій окремі блоки проводять діагностування

електричних силових кіл та по його результатам виробляють відповідний керуючий сигнал. Цей сигнал безпосередньо управляє роботою силових перетворювачів, або вентиляльних елементів силових електричних кіл.

Проведений огляд та аналіз публікацій показує, що оцінка працездатності вентиляльних кіл, складання алгоритмів їхнього діагностування є досить актуальним завданням. Рішення зазначеного завдання дозволить більш ефективно та якісно використовувати складні вентиляльні кола, які існують в різноманітних електричних системах, що застосовуються в різних галузях народного господарства та промисловості.

Мета та постановка задачі

Побудова алгоритму діагностування вентиляльного кола складається у виборі таких тестових сигналів, контрольних точок і реакцій, які забезпечили б мінімальне значення інформаційної ємності алгоритму (ІСА) при мінімальній кількості датчиків. При цьому варто прагнути до використання в якості реакцій напруг (потенціалів вузлів), що дозволяє обходитися без убудованих у силові кола датчиків струму. Проте застосування зовнішніх датчиків, виявляється достатнім лише в тих випадках, коли можна бути впевненим, що струм джерела тестового сигналу повністю або частково протікає через елемент, що діагностується (рис.1, а), або паралельно йому були включені тільки ті елементи, про які відомо, що вони у справному стані.

Таким чином, у колах, що діагностуються можна виділити контури двох типів: до першого типу віднесемо контури, що містять тільки ті елементи, які можуть відмовити (рис. 1, б-д), всі інші контури, опір яких не стає рівним нулю при пробоях складових елементів, належать до другого типу.

Тестові моделі, що однозначно визначають стан кола, вдається одержати тільки в тому випадку, якщо коло не містить контурів першого типу, в противному випадку необхідне застосування вбудованих датчиків або штучна зміна структури кола. Для побудови різних тестових моделей необхідно одержати інформацію про струм кожного контуру першого типу. Таким чином, число вбудованих датчиків струму d_B повинне дорівнювати числу контурів першого типу k_1 :

$$d_B = k_1. \quad (1)$$

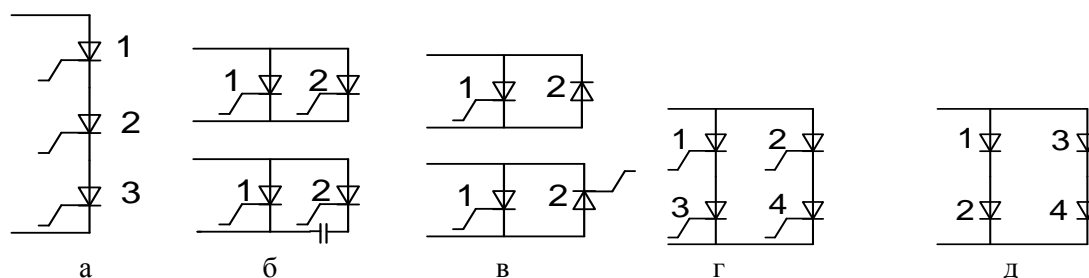


Рис. 1. Вентильні кола: а – послідовне; б – паралельне; в – зустрічно-паралельне; г – тиристорне мостове; д – діодне мостове

Багато перетворювальних кіл складаються тільки з контурів першого типу (рис. 1, б-д), тому можна сказати, що число вбудованих датчиків, як правило, дорівнює числу незалежних контурів.

Незалежні контури в колі, що діагностується, можна виявляти за допомогою структурної моделі, що являє собою топологічний граф кола. Кількість незалежних контурів графа (потужність безлічі фундаментальних циклів) визначається з урахуванням числа дуг графа c , числа вершин v і кількістю зв'язних компонентів графа p [9]:

$$k = c - v + p. \quad (2)$$

Оскільки при діагностуванні кола, що відповідають незв'язним компонентам структурної моделі, можуть розглядатися роздільно, то $p = 1$:

$$k = c - v + 1. \quad (3)$$

Застосування вбудованих датчиків може бути виключено, якщо кратність відмов обмежена таким чином, що контури першого типу не утворюються або є можливість запобігти протіканню струму по цих контурах шляхом їхнього розмикання.

Метою роботи є аналіз та дослідження основних алгоритмів діагностування електричних кіл різних типів.

Загальні питання складання алгоритмів

Нехай коло являє собою багатополіусник, описуваний рівняннями:

$$\begin{aligned} U_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \dots + Z_{1n}I_n; \\ U_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 + \dots + Z_{2n}I_n; \\ U_n &= Z_{n1}I_1 + Z_{n2}I_2 + \dots + Z_{nn}I_n, \end{aligned} \quad (4)$$

або $U = ZI$.

Також правомірним буде запис у формі $I = YU$. Параметрична ідентифікація кола із

заданою структурою припускає визначення всіх Z_{ij} або Y_{ij} . Необхідне число експериментів $N_E = n^2$ для незв'язних багатополіусників $Z_{ij} \neq Z_{ji}$, $Y_{ij} \neq Y_{ji}$ та $N_E = \frac{1}{2}n(n+1)$ для зв'язних.

При цьому можлива, зокрема, наступна методика експериментів:

– визначення власного опору Z_{ij} (провідності Y_{ij}):

$$Z_{ii} = \frac{U_i}{I_i}, \quad (5)$$

при цьому всі $I_i = 0$ для $j \neq i$;

– визначення взаємного опору Z_{ij} (провідності Y_{ij}) $j \neq i$:

$$\begin{aligned} Z_{ii} &= \frac{(U_i - Z_{ii}I_i)}{I_i}; \\ Y_{ij} &= \frac{(I_i - Y_{ii}I_i)}{U_j}. \end{aligned} \quad (6)$$

В першому випадку для визначення кожного опору (провідності) необхідно виміряти два параметри, у другому – три. Повне число вимірів для повної параметричної ідентифікації n -поліусника:

$$N_n = \frac{(3n^2 + 1)}{2}, \quad (7)$$

причому це число повинне бути збільшене з урахуванням частотної залежності. Кожен вимірюваний параметр Z_{ij} або Y_{ij} визначається деяким реальним колом, що містить R , L , C – елементи, джерела, трансформатори, ключі. Тому рішення завдання контролю кола можна уявити собі таким чином: за розрахунковим

значенням параметрів кола визначаються параметри багатополосника, у результаті описаних вище експериментів вимірюються їхні реальні значення й зіставляються з розрахунковими. Оскільки в загальному випадку опір залежить від частоти, вибір частот, на яких здійснюються виміри, або форми сигналу залежить від порядку системи й значень параметрів.

Для того щоб вибрати тестовий сигнал, що подається на входи багатополосника, застосуємо поняття контрастності тесту. Контрастність тесту – це відношення реакції справного й несправного кіл на той саме тестовий вплив. Якщо параметр кола N є деякою функцією параметрів елементів кола q_i :

$$N = \varphi_1(q_1, q_2, q_3, \dots, q_i, \dots, q_m), \quad (8)$$

то вплив елемента q_i на N визначається одним з виразів:

$$\begin{aligned} \Delta N &= \frac{d\varphi}{dq_i} \Delta q_i = A_i \Delta q_i; \\ \frac{\Delta N}{N} &= \frac{d\varphi}{dq_i} \frac{q_i}{\varphi(q_i)} \frac{\Delta q_i}{q_i} = B_i \frac{\Delta q_i}{q_i}. \end{aligned} \quad (9)$$

Тут A_i – коефіцієнт впливу, обумовлений частинною похідною або відношенням збільшень:

$$A_i = \frac{d\varphi_1}{dq_i}; \quad (10)$$

B_i – коефіцієнт впливу, дорівнює відношенню відносних збільшень:

$$B_i = \frac{d\varphi}{dq_i} \frac{q_i}{\varphi(q_i)}. \quad (11)$$

Контрастність тесту – більш загальна характеристика, вона може визначатися одним з наступних виразів:

$$\begin{aligned} K_{T1} &= \frac{dR_u}{dZ}; \\ K_{T2} &= \frac{dR_u}{dZ} \frac{Z}{R_u} = \frac{\Delta R_u / R_u}{\Delta Z / Z}. \end{aligned} \quad (12)$$

де R_u – реакція кола на тестовий вплив, наприклад струм вузла при заданому потенціалі або

потенціал вузла при фіксованому струмі;

Z – опір елемента кола, зміна якого спричиняє зміну реакції.

Вирази для K_T придатні при ненульових значеннях реакції у випадку параметричних (поступових) відмов елементів. Вони втрачають сенс, якщо реакція вимірюється компенсаційним методом, а також при раптових відмовах, коли збільшення параметрів елементів стають нескінченними. У цьому останньому випадку зручніше користуватися співвідношенням відповідних реакцій для кіл, що містять справний й несправний елементи:

$$K_{T3} = \frac{R_{uc}}{R_{цис}}. \quad (13)$$

У лінійних колах, які можуть бути представлені типологічними зв'язковими невідродженими графами, будь-яка пара вузлів k, l дозволяє записати опір Z_{kl} , який залежить від всіх компонентів кола:

$$Z_{kl} = f(Z), \quad (14)$$

тому зміна будь-якого параметра, тим більше будь-яка раптова відмова (обрив, замикання) принципово не можуть вплинути на Z_{kl} . Проте на практиці вплив деяких параметрів на відповідну реакцію дуже малий. Контрастність тесту залежить від багатьох факторів, з яких відзначимо три найбільш істотні: вид тестового сигналу; топологію кола, що діагностується і вплив, що маскує, розкид параметрів.

Таким чином, для перевірки справності кола можна запропонувати такий алгоритм:

– обчислюються всі $Z_{ii}(\omega)$ і $Z_{ij}(\omega)$, потім здійснюється вимір всіх $Z_{ii}(\omega)$ і $Z_{ij}(\omega)$.

– для LC – кола досить обчислити всі характерні частоти (частоти, що відповідають нулям і полюсам Z_{ij}) і здійснити виміри Z на цих частотах. Якщо Z приймає екстремальні значення, коло може вважатися справним.

Для кіл з резистивними елементами контроль також здійснюється по зіставленню частотних характеристик обмірюваних і розрахованих опорів.

Якщо коло несправне і потрібно визначити елементи, що відмовили, можна застосувати такі способи:

– визначення частотних залежностей Z_{ij} й обчислення параметрів елементів;

– безпосередній вимір параметрів елементів.

Перевага першого способу – можливість

оперувати тільки із зовнішніми виводами багатополосника, тобто немає необхідності у вимірі потенціалів внутрішніх вузлів і струмів внутрішніх гілок. Недоліки пов'язані з необхідністю громіздких обчислень і з малою контрастністю тестів для деяких елементів.

Принципове обмеження цього способу пов'язане з неможливістю виявлення відмов окремих елементів, якщо їхнє з'єднання входить в усі вирази Z_{ij} в однаковій формі, і ці елементи мають однакові частотні характеристики. Так, зовнішніми засобами неможливо визначити елемент, що відмовив, у групі таких же елементів, з'єднаних паралельно або послідовно.

Обмеження другого способу обумовлені неприпустимістю введення в коло довільного числа датчиків струму й напруги. Інженерні рішення повинні для кожного типу кола виходити з компромісу між такими кількісними оцінками, які можуть мати різні вагові коефіцієнти залежно від робочих струмів, напруг, умов експлуатації, імовірності відмов окремих елементів, режимів діагностування. Обмежуючими факторами є:

- число контрольованих вузлових потенціалів;
- число контрольованих струмів гілок;
- можлива кратність відмов елементів;
- об'єм пам'яті діагностуючого пристрою;
- кількість тестів у повній процедурі;
- час діагностування.

Алгоритм діагностування при відсутності обмежень на вибір датчиків

Програма розробки алгоритму діагностування при відсутності обмежень на вибір датчиків зводиться до послідовного виконання наступних операцій:

1. Будується структурна модель схеми.
2. По структурній моделі визначається число контурів, визначається, чи є контури першого типу і чи приводить задана кратність відмов до їхнього замикання.
3. Якщо контури першого типу відсутні, то визначають послідовність операцій, які виявляють пробой елементів.
4. Якщо коло містить контури першого типу, то вибирають місця установки датчиків струму, що вбудовані.
5. Визначається послідовність перевірок, що виявляють замикання контурів, після чого виконується п. 3.
6. Вибирається послідовність перевірок, що виявляють обриви.
7. Визначаються обсяг і послідовність операцій до допускового контролю.

При виборі перевірок для кіл, що містять тиристри, доцільно застосовувати імпульсні тестові сигнали, що забезпечує природну комутацію тиристорів і дозволяє використати один генератор для формування анодної та керуючої напруг. Тиристри можуть перебувати в трьох станах: справний, пробитий, некерований. Перевірка стану тиристора може проводитися у двох різних режимах: під час відсутності керуючих сигналів і при їхній подачі. При відсутності керуючого сигналу справний стан однаковий із втратою керованості, а при подачі імпульсу керування еквівалентні справний і короткозамкнений стани, отже, для одержання діагнозу необхідно як мінімум дві перевірки. Насамперед, варто проводити перевірку, що виявляє пробій, який не вимагає додаткового керуючого впливу на тиристор. Крім того, відсутність пробою дозволяє використати тиристор як роздільник, що розмикає відповідний контур.

При діагностуванні кіл, що містять більшу кількість контурів першого типу, в результаті зростання необхідного числа датчиків з'являється можливість збільшувати число можливих результатів перевірок.

До складу багатьох автономних інверторів напруги входять діодно-тиристорні кола, які також підлягають діагностуванню. При обмеженні несправностей діодів пробоями, в якості тестових сигналів можуть бути використані однополярні імпульси. Датчики реакцій устанавлюються в колах зворотніх діодів, які, як правило, менш завантажені при роботі інвертора.

Синтез алгоритмів діагностування на основі інформаційного критерію

При розробці алгоритмів діагностування, що використовують тільки зовнішні датчики, особливого значення набуває вибір тестових сигналів і точок підключення генераторів тестів до випробуваної схеми. Найбільш складний вибір першої елементарної перевірки, що пов'язане з максимальною невизначеністю технічного стану.

Якщо є можливість перевірки стану кожного елемента окремо, незалежно від станів інших елементів, то насамперед перевіряється стан елемента з найбільшою ймовірністю відмови. При рівній імовірності відмови всіх елементів порядок перевірки несуттєвий. В інших випадках вибір елементарних перевірок може проводитися на основі інформаційних критеріїв. Перевірки, що забезпечують одержання максимального обсягу діагностичної

інформації, дозволяють розділити множину станів на більше число підмножин \mathcal{Y} , отже, скоротити потужність цих підмножин. Скорочення потужності підмножин зменшує невизначеність стану \mathcal{Y} число елементів, які можуть відмовити, а це у свою чергу спрощує вибір наступних перевірок.

Найбільший обсяг діагностичної інформації за допомогою зовнішніх датчиків надходить, якщо струм генератора тесту протікає через найбільше число елементів, що діагностуються а кожна несправність викликає властиву тільки їй реакцію. Для одержання максимальної інформації в якості контрольної точки при першій перевірці варто вибирати вузли кола, через які замикається найбільше число контурів з різними несправностями. У перетворювальних схемах такою властивістю володіють вузли, до яких підключаються джерела живлення, навантаження, комутаційні вузли в пристроях із примусовою комутацією.

Несправності елементів вентильного кола насамперед впливають на такі характеристики сигналів, як амплітуда й полярність. При діагностуванні лінійних частотно залежних кіл важливого значення набувають часові й частотні характеристики. Із сигналів, формування яких не викликає особливих труднощів, найбільшу інформативність мають двополярні імпульсні й гармонійні сигнали.

Синтез алгоритмів діагностування методом поділу

Розглянуті вище приклади показують, що діагностуванню перешкоджає наявність в електричних колах зв'язаних контурів. Виникає необхідність поділу контурів або за допомогою датчиків, що дають інформацію про стан кожного контуру окремо, або шляхом вибору тестового сигналу, що враховує властивості елементів, стан яких вважається відомим. В останньому випадку поділ контурів еквівалентно поділу кола на ряд слабо пов'язаних ланок. Як вже відзначалося, такий поділ дозволяє скоротити ІСА й спростити аналіз станів. Поділ об'єкта дозволяє звести рішення складного багатофакторного завдання до рішення декількох більш простих. Крім того, поділ кола на окремі ланки дозволяє зменшити число убудованих датчиків.

Оскільки механічні розмикання в діагностуємих колах у більшості випадків неприпустимі, то виникає завдання організації псевдорозривів за допомогою елементів, опір яких може бути значним. Назвемо такі елементи роздільниками. Поділ може бути повним

($Z_p \rightarrow \infty$) і частковим ($Z_p \neq 0$). Розділові властивості залежать від стану елемента й виду тестового сигналу.

Найбільш повний поділ при будь-яких видах сигналів забезпечує електромеханічні комутаційні апарати. Однак комутаційні апарати встановлюються, як правило, у вхідних і вихідних колах вентильних пристроїв (ВП) і не забезпечують поділу внутрішніх кіл. Тиристри, для яких установлена відсутність пробою, також є повними роздільниками для будь-яких сигналів. Справні діоди забезпечують поділ при певній полярності сигналу. Трансформатори по постійному струму є повними роздільниками кіл, підключених до різних обмоток, і забезпечують частковий поділ при відсутності повних коротких замикань і використанні високочастотних сигналів для кіл, приєднаних до однієї обмотки.

Конденсатори в справному стані можуть служити повними роздільниками для постійних напруг, частковими – для гармонійних й імпульсних сигналів відповідної частоти. Реактори мають значний опір для високочастотних сигналів. Резистори забезпечують частковий поділ при будь-якому виді сигналу.

Розглянемо поняття рангу роздільника. До роздільників першого рангу віднесемо комутаційні апарати й тиристри. Діоди конденсатори й трансформатори виділимо в групу роздільників другого рангу. Реактори віднесемо до третього рангу. Резистори являють собою роздільники нижчого, четвертого рангу. Чим вище ранг роздільника, тим переважніше його використання з погляду зменшення впливу кіл, що маскують, тим менше обмежень накладається на вибір тестових сигналів. Поділ двох кіл можуть забезпечити лише роздільники, які включені в гілку, що замикає контур, утворений зазначеними колами. Тому доцільність використання того або іншого роздільника визначається не тільки його власним рангом, але й розташуванням у колі.

На реакцію можуть впливати тільки ті елементи, які входять до складу контурів, по яких протікає струм генератора тестового сигналу. Якщо для якого-небудь тестового сигналу структурна модель кола не містить замкнутих контурів, тобто являє собою дерево, то стан кожного з елементів, що становлять гілку дерева, може бути визначеним за допомогою зовнішніх датчиків. Таким чином найбільший топологічний ранг мають роздільники, розташовані в дугах, розмикання яких перетворює структурну модель кола в дерево.

Мінімальне число дуг, які необхідно розімкнути для перетворення графа в основне дерево, тобто до зв'язного підграфа, що не має циклів, дорівнює потужності множини фундаментальних циклів графа. Повне число різних остовних дерев графа дорівнює визначнику різниці матриці ступенів вершин і матриці зв'язності графа. Це число велике навіть для порівняно простих графів. Виникає проблема вибору дерева, яке утвориться виключенням дуг, що містять справні елементи. У загальному випадку завдання вибору оптимального дерева може бути вирішене шляхом побудови повного списку остовних дерев й їхнього попарного порівняння. Процедура породження всіх дерев графа складається з декількох кроків. Перший крок полягає в приписуванні дугам графа номерів від 1 до c , де c – число ребер. На наступних кроках вибирається ребро, яке разом з обраними на попередніх етапах утворить частина конструюемого дерева. Обране ребро не повинне приводити до появи циклу. Якщо цикл з'являється, то дане ребро відкидається й перевіріці піддається наступне ребро з більшим номером. Якщо циклу немає, то ребро додається до вже відібраних, і процес повторюється доти, доки не буде побудоване остовне дерево. Ребра перебираються в порядку зростання номерів, що приводить до вичерпного й безповторного рішення завдання.

Процес побудови повного списку остовних дерев трудомісткий і вимагає великого обсягу пам'яті при машинній обробці. Спростити завдання допомагає апріорна інформація про стан елементів і про ймовірності відмов роздільників різного типу. Насамперед як роздільники варто використати елементи, про які відомо, що вони не пробиті. Такий вибір відповідає найбільш повному рішенню завдань діагностики, тому що отримане дерево містить всі елементи, стан яких потрібно визначити. Природно, що найбільший ефект виходить при використанні вже на першому кроці роздільників першого рангу. У цьому випадку відсутні обмеження на вибір тестових сигналів і забезпечується максимальна контрастність реакцій.

Однак у більшості випадків використання роздільників вищого рангу при першій перевірці виявляється неможливим. Це обумовлено тим, що комутаційні апарати, як правило, використовуються для відключення зо-

внішніх пристроїв і не впливають на структуру діагностуемого об'єкта. Що стосується тиристорів, то їхнє застосування в якості роздільників можливо лише після перевірки на відсутність пробою. Тому насамперед для поділу доводиться використовувати реактори й обмотки трансформаторів, повне коротке замикання яких мало ймовірно. Можливо також використання резисторів, хоча вони і є роздільниками нижчого рангу й при будь-якому виді сигналу забезпечують лише частковий поділ. Відкидаючи дуги, що мають індуктивний або активний опір, одержуємо тестовий підграф, дуги якого можуть виявитися короткозамкненими. Якщо тестовий підграф містить незв'язні або висячі області, то короткі замикання елементів у цих областях виявляються шляхом перевірки за допомогою високочастотного сигналу, що забезпечує більші значення індуктивних опорів. Той факт, що коливальні контури в перетворювальних колах характеризуються порівняно низькими резонансними частотами й низькими добротностями, дозволяє зневажити впливом резонансних ефектів на розділові властивості індуктивних елементів при відповідному виборі частоти тестового сигналу.

Підграф, отриманий в результаті виключення дуг, що містять роздільники, може являти собою дерево (рис. 2, *a*) або містити цикли (рис.2, *b*). У першому випадку завдання діагностики елементів кола розв'язні при будь-якій кратності відмов. Алгоритм діагностування ланок вибирається залежно від їхньої структури, ймовірності відмов складових елементів, апріорної інформації й т.п. Доцільно насамперед перевіряти стан роздільників першого рангу, що при відсутності пробоїв дає можливість використати їхні розділові властивості на наступних етапах. Цикли в тестовому підграфі можна замінити еквівалентними ребрами, при цьому підграф перетворюється в дерево.

Умови проведення перевірок з використанням псевдорозривів не дозволяють проводити допускове параметричне діагностування. Цей факт необхідно враховувати в процесі розробки алгоритму діагностування при виборі послідовності перевірок. Допусковий контроль варто проводити після того, як установлена відсутність замикань роздільників вищого рангу, що дозволяє використати будь-які необхідні тестові сигнали.

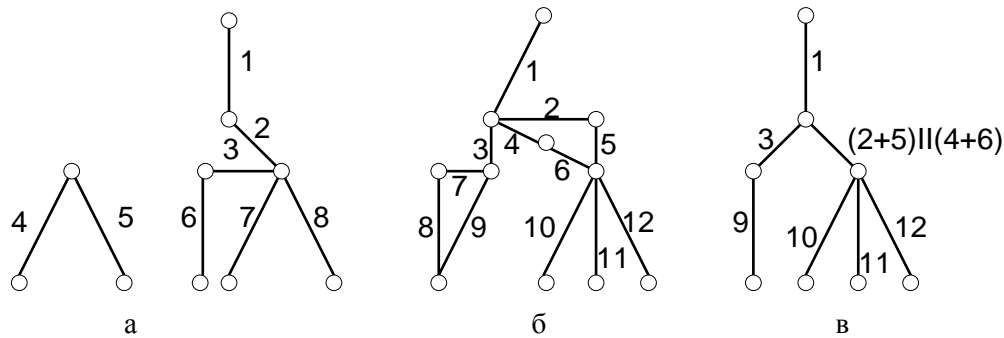


Рис. 2. Граф ланок: а – без циклів; б – з циклами; в – перетворений

Алгоритми діагностування з використанням індуктивних роздільників дозволяють забезпечити максимальну глибину пошуку дефекту без застосування убудованих датчиків. Крім впливу паралельних кіл один на одного, алгоритм діагностування з поділом зводиться до послідовної перевірки стану ланок з елементів, включених послідовно, або кожного елемента окремо.

Розглянемо метод розробки алгоритму діагностування, якому можна розбити на ряд етапів.

1. На першому етапі визначається можливість використання в якості роздільників комутаційних апаратів (КА). Якщо така можливість є, то блоки, зв'язані між собою через контакти КА, розглядаються як незалежні й всі наступні операції застосовуються до кожного блоку окремо. Діагностування починається із блоку, який має найбільшу ймовірність відмови.

2. Для обраного блоку будується структурна модель кола й на її основі отримують тестові підграфи.

3. Якщо тестовий підграф містить цикли, то по наведеній формулі для числа контурів визначається необхідна кількість роздільників і вибираються місця установки індуктивних роздільників.

4. З урахуванням псевдорозривів будується тестове дерево.

5. Визначаються контрольні точки для діагностування пробів вентильних елементів і вибирається послідовність їх перевірки.

6. Вибирається послідовність перевірок керованості тиристорів, справні тиристори можна використати надалі в якості керованих ключів.

7. При необхідності планується контроль обривів діодів.

8. Визначаються форми допускового контролю й обирається послідовність проведення перевірок елементів, розташованих у висячих галузях тестового підграфа.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють зазначити, що діагностування параметрів може використовуватися для виявлення поступових відмов, для прогнозування стану об'єкту, а також для виявлення раптових відмов, включаючи ті, які викликають зміна структури кола: обриви або замикання кіл.

Запропоновано поділ електричного кола, що дозволяє скоротити інформаційної ємності алгоритму й спростити аналіз станів. Поділ об'єкта діагностування дозволяє звести рішення складного багатofакторного завдання до рішення декількох більш простих. Крім того, поділ кола на окремі ланки дозволяє зменшити число убудованих датчиків.

Зазначено, що алгоритми діагностування з використанням індуктивних роздільників дозволяють забезпечити максимальну глибину пошуку дефекту без застосування убудованих датчиків. Крім впливу паралельних кіл один на одного, алгоритм діагностування з поділом зводиться до послідовної перевірки стану ланок з елементів, включених послідовно, або кожного елемента окремо.

Крім розглянутих в роботі алгоритмів тестового діагностування вентильних кіл існують також інші способи визначення працездатності останніх. Однак саме алгоритми тестового діагностування набувають зараз широкого використання.

Кожен алгоритм має свої переваги та недоліки, а вибір конкретного з них визначається саме їхніми співвідношеннями та умовами роботи вентильного кола.

Література

1. Гнатів А. В., Тарасова В. В., Новіченок С. М. Теоретичні основи електротехніки: навч. – метод. посіб. Ч.2. Харків, 2006. 242 с.
2. Bird J. Electrical Circuit Theory and Technology. 5th ed. Abingdon. 2014. 769 p.
3. Привалов Е. Е. Диагностика вентильных разрядников электроэнергетического оборудования. Ставрополь, 2015. 68 с.

4. Панкин А. М. Построение диагностических моделей резистивных электрических цепей. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2008. №. 9. С. 44-49.
5. Хусаинов Ш. Н., Киесш И. Е. Локальная диагностика электрических цепей. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2012. №. 16 (275). С. 103-106.
6. Gorbenko Y., Kiryukha V., Yablokova V. Methods of Increasing the Reliability of Solving the Problem of Diagnostics of Electrical Circuits. *2019 International Science and Technology Conference " EastConf"*. (Vladivostok, 1-2 March 2019). IEEE, 2019. – С. 1-5.
7. Bi K.; Quntao An, Jiandong Duan; Li Sun; Kuo Gai. Fast diagnostic method of open circuit fault for modular multilevel dc/dc converter applied in energy storage system. *IEEE Transactions on Power Electronics*. (Taiwan, 29 December 2016) 32. 5. 3292-3296.
8. Pochanke Z., Chmielak W., Daszczyński T. Experimental studies of circuit breaker drives and mechanisms diagnostics. *2016 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*. (Koscielisko-Zakopane, 26 June – 1 July 2016). IEEE, 2016. С. 1-5.
9. Migal V., Arhun Shc., Hnatov A., Dvadnenko V., Ponikarovska S. Substantiating the Criteria for Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *한국정밀공학회지*. 2019. T. 36. №. 10. С. 989-999.
10. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Paļins, A. Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. *In: USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Latvia, 7-9 October, 2019). Latvia, 2019, pp.#051-1-#051-6.
11. *Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Energetika*. 16 (275). 103-106.
12. Gorbenko Y., Kiryukha V., Yablokova V. (2019) Methods of Increasing the Reliability of Solving the Problem of Diagnostics of Electrical Circuits. *2019 International Science and Technology Conference " EastConf"* (Vladivostok, 1-2 March 2019). 1-5.
13. Bi K.; Quntao An, Jiandong Duan; Li Sun; Kuo Gai. (2016) Fast diagnostic method of open circuit fault for modular multilevel dc/dc converter applied in energy storage system. *IEEE Transactions on Power Electronics..* (Taiwan, 29 December 2016) 32. 5. 3292-3296.
14. Pochanke Z., Chmielak W., Daszczyński T. (2016) Experimental studies of circuit breaker drives and mechanisms diagnostics. *2016 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE)*. (Koscielisko-Zakopane, 26 June – 1 July 2016). 1-5.
15. Migal V., Arhun Shc., Hnatov A., Dvadnenko V., Ponikarovska S. (2019) Substantiating the Criteria for Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *한국정밀공학회지*. 36. 10. 989-999.
16. Hnatov, A., Arhun, S., Tarasov, K., Hnatova, H., Mygal, V., Paļins, A. (2019) Researching the model of electric propulsion system for bus using Matlab Simulink. *In: USB PROCEEDINGS of 2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*. (Latvia, 7-9 October, 2019).#051-1-#051-6.

Reference

1. Hnatov A. V., Tarasova V. V., Novichonok S. M. (2006) *Teoretychni osnovy` elektrotexniky`. Chasty` na 2. [Theoretical foundations of electrical engineering. Part 2]. [in Ukrainian]*.
2. Bird J. (2014) *Electrical Circuit Theory and Technology*. 5th ed..
3. Privalov E. E. (2015) *Diagnostika ventilnykh razryadnikov elektroenergeticheskogo oborudovaniya. [Diagnostics of valve arresters of electric power equipment]. [in Russian]*
4. Pankin A. M. (2008) *Postroenie diagnosticheskikh modeley rezistivnykh elektricheskikh tsepey. [Construction of diagnostic models of resistive electrical circuits.] Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol, diagnostika.. 9. 44-49.*
5. Husainov Sh. N., Kiessh I. E. (2012) *Lokalnaya diagnostika elektricheskikh tsepey. [Local diagnosis of electrical circuits.] Vestnik Yuzhno-*

Ручка Александр Омелянович¹, к.т.н., доц.,
e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, тел. +38 067-774-86-83,

Рикун Володимир Георгійович¹, к.т.н., доц.,
e-mail: rykun.vova1961@gmail.com,
тел. +38 067-774-86-83,

Новіков Станіслав Володимирович¹, студент,
e-mail: rykun.vova1961@gmail.com,
тел. +38 067-774-86-83,

Гнатова Ганна Андріївна², студент автомоб. факультету ХНАДУ, тел. 099-067-98-09, e-mail: annagnatova22@gmail.com,

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Algorithms of test diagnostics of valve circuits

Abstract. Problem. *Valve circuits are a special case of electric circuits. The concepts of the electric circuit and the set of its forming elements do not differ from the conventional ones, that is, its elements are ordinary electrical elements and so-called valves - transistors, thyristors. This article explores the ways to solve problems such as checking the status and finding the failing electrical components. The*

verification task can be considered as a separate case of electric circuit identification. Therefore, the evaluation of the performance of the valve circuits, the compilation of algorithms for their diagnosis is quite an urgent task. Solving this problem will allow more efficient and qualitative use of complex valve circuits, which exist in various electrical systems used in various sectors of the economy and industry. **Goal.** The goal is analysis and study of basic algorithms for diagnosing electrical circuits of different types. **Methodology.** The article deals with some algorithms for the diagnosis of valve circuits, namely: the algorithm for the diagnosis of valve circuits in the absence of restrictions on the choice of reaction sensors, the algorithm of diagnosis based on the information criterion, the algorithm of diagnosis by the method of separation. In addition, the use of current sensors for compiling a test diagnosis algorithm is considered. **Results.** Diagnosis of parameters can be used to detect gradual failures, to predict the state of an object, and to detect sudden failures, including those that cause a change in the structure of the circle: breakage or circuit closure. **Originality.** Separation of the electric circuit is proposed, which allows to reduce the information capacity of the algorithm and to simplify the analysis of states. Separation of the object of diagnosis allows to reduce the solution of complex multifactor problem to the solution of several simpler ones. In addition, the division of the circle into separate links allows to reduce the number of built-in sensors. **Practical value.** Diagnosis algorithms using inductive dividers allow maximum depth of defect detection without the use of built-in sensors. In addition to the influence of parallel circles on each other, the split-diagnostics algorithm is reduced for sequential check of the status of the links from the elements included in series, or each element separately.

Key words: algorithm; diagnosis; method; valve; valve circle; sensor; test; failure; check; reactions of the working and faulty circle.

Ruchka Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, tel. 067-774-86-83,

Rykun Volodymyr¹, Ph.D., Assoc. Prof., e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, tel. 067-774-86-83,

Novikov Stanislav¹, student, e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, tel. 067-774-86-83,

Hnatova Hanna², student, tel. 099-067-98-09, e-mail: annagnatova22@gmail.com,

¹Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

Алгоритмы тестового диагностирования вентильных схем

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые алгоритмы диагностирования вентильных кругов, а именно: алгоритм диагностики вентильных цепей при отсутствии ограничений выбора датчиков реакций, алгоритм диагностики на основе информационного критерия, алгоритм диагностики методом деления. Кроме того, рассмотрено использование датчиков тока для составления алгоритма тестового диагностирования.

Ключевые слова: алгоритм; диагностирования; метод; вентиль; Вентильное круг; датчик; тест; отказ; проверка; реакции исправного и неисправного круга.

Ручка Александр Омелянович¹, к.т.н., доц., e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, тел. +38 067-774-86-83,

Рыкун Владимир Георгиевич¹, к.т.н., доц., e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, тел. +38 067-774-86-83,

Новиков Станислав Владимирович¹, студент, e-mail: rykun.vova1961@gmail.com, тел. +38 067-774-86-83,

Гнатова Анна Андреевна², студент, тел. 099-067-98-09, e-mail: annagnatova22@gmail.com,

¹Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

²Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ КОРПУСА ТУРБИНЫ 500 МВт ПРИ СНИЖЕНИИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

Красников С. В.¹,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

***Аннотация.** Созданы модели частей и всей системы турбоагрегат-фундамент-основание с паротурбинной установкой мощностью 500 МВт. Построены геометрические и расчетные модели с подробным моделированием корпусов цилиндров низкого давления. Проведено расчеты вынужденных колебаний корпусов цилиндров низкого давления при снижении рабочей частоты. В результате расчетных исследований определены элементы с повышенными вибрациями. В расчетах и моделировании использовался метод конечных элементов.*

***Ключевые слова:** вибрация; цилиндр низкого давления; паровая турбина; метод конечных элементов; фундамент; колебания.*

Введение

Энергетический комплекс большинства стран использует производство электроэнергии на тепловых и атомных электростанциях. Энергоблоки этих электростанций оборудованы тепловыми турбинами средней и большой мощности. Структурно такие турбины состоят из нескольких корпусных конструкций и единого валопровода. Вибрационный анализ подобных систем является сложной задачей. Учет особенностей системы турбоагрегат-фундамент-основание при вибрационном анализе приводит к необходимости постановки и решения целого ряда научных задач. В прошлом веке при разработке первых образцов паровых турбин средней и большой мощности многие задачи, в том числе задачи вибрационного анализа, решались с помощью значительных упрощений расчетных схем и многочисленных экспериментальных исследований. В современном научном обществе основное внимание уделяется экономически целесообразным решениям, среди которых наиболее распространенными считаются численные исследования на основе новых и усовершенствованных научных методик. Первые образцы отечественных паровых турбин мощностью от 500 до 1000 МВт были разработаны харьковскими учеными и инженерами под общим руководством Косяка Юрия Фёдоровича - генерального конструктора паровых и газовых турбин ПОАТ «Харьковский турбинный завод» имени Кирова. Руководство современными решениями научных и технических задач разработки и производства паровых турбин осуществляют Левченко Е. В., Швецов В. Л.,

Гришин Н. Н. и др. Важной практической задачей является отстройка от резонанса всей системы турбоагрегат-фундамент-основание. Численное решение этой задачи имеет множество особенностей, одной из которых является сложность учета наиболее гибких корпусных элементов паровой турбины [1-4]. Решением этой задачи на основе трехмерных математических моделей занимались Журавлева А.М., Степченко А.С., Жовдак В. А. Первоначальные идеи по созданию нового типа расчетных моделей и методик вибрационных исследований предложены д.т.н. Богомоловым С.И. Полученные методики построения расчетных моделей и проведения вибрационных исследований позволяют определять конкретные места на корпусах цилиндров паровой турбины с наибольшими амплитудами колебаний, а также находить наиболее оптимальные способы устранения повышенной вибрации и оценивать конечное вибрационное состояние до проведения работ по практической реализации решений по изменению вибрационного состояния. Дальнейшие работы в этом направлении продолжил автор. Решенные на практике задачи позволили в ряде случаев не проводить дорогостоящую модернизацию по ужесточению корпусов цилиндров низкого давления турбоагрегата, заменив ее оптимальной системой дополнительных стержней и пластин жесткости. Одной из паротурбинных установок, для которых проводились работы по определению наиболее целесообразной схемы улучшения вибрационного состояния, был турбоагрегат К-500-65/3000 ХТГЗ. Эксплуатация этого турбоагрегата в результате многочислен-

ных экспериментальных работ показала неудовлетворительное вибрационное состояние. Проведение работ по балансировке роторов не привело к желаемому результату по длительному улучшению вибрационного состояния. Однако численные исследования позволили определить истинные причины неудовлетворительного вибрационного состояния турбоагрегата. Основной причиной оказалось недостаточная жесткость фундамента турбоагрегата и наличие у фундамента опасных резонансов для нескольких режимов работы всей системы. В связи с необходимостью оперативного решения проблемы по улучшению вибрационного состояния турбоагрегата было поставлено ряд задач. Одной из задач являлось моделирование и анализ колебаний корпуса цилиндра низкого давления паровой турбины при снижении рабочей частоты.

Анализ публикаций

Паровая турбина К-500-65/3000 ХТГЗ состоит из цилиндра высокого давления и четырех цилиндров низкого давления. Цилиндры низкого давления имеют наиболее гибкий корпус подверженный вибрации (рис. 1). Каждый корпус цилиндров низкого давления состоит из двух выхлопных патрубков, а также технологически разделяется на верхнюю и нижнюю части. Соединение выхлопных патрубков выполнено фланцами на плоскостях симметрии. Нижние части выхлопных патрубков цилиндров низкого давления с помощью сварочных соединений жестко связаны с переходным патрубком конденсатора. Внутри корпусов цилиндров низкого давления находятся обоймы с диафрагмами пяти ступеней. Жесткость верхней половины корпусов выхлопных патрубков обеспечивается в большей степени за счет стержней и труб. Нижняя часть цилиндров низкого давления набрана большей частью из пластин в виде сотовой структуры.

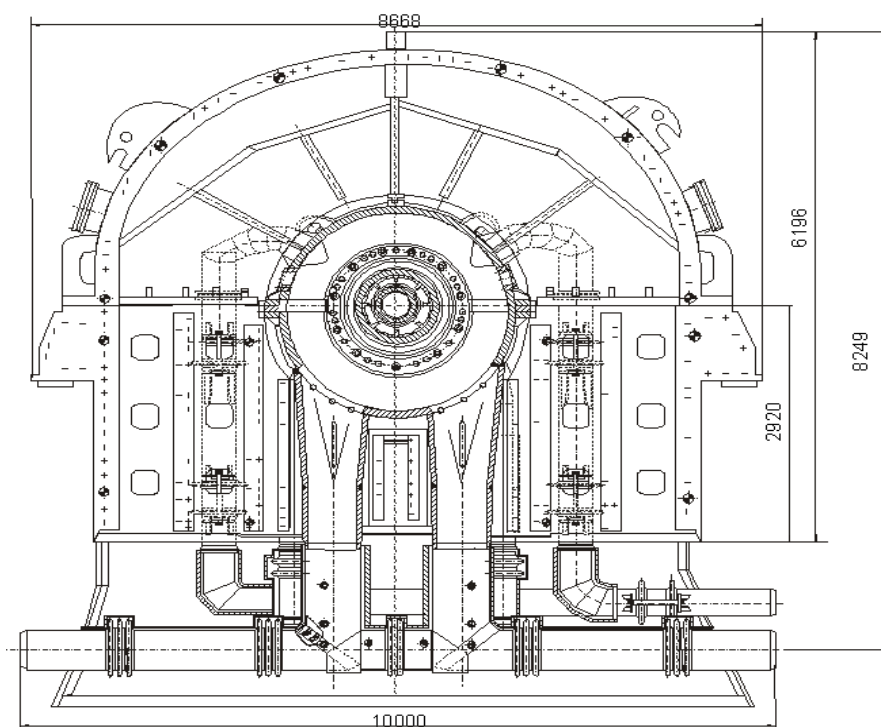


Рис. 1. Поперечный разрез цилиндра низкого давления

Подробное описание паровой турбины К-500-65/3000 ХТГЗ, а также основные особенности, основные конструкционные и научные решения в процессе ее создания и модернизации приводятся в [1-4].

Цель и постановка задачи

Цель работы заключается в определении амплитудно-частотных зависимостей вынужденных колебаний на стенках корпусов цилиндров низкого давления, а также причин повышенных уровней их вибрации. Объек-

том исследования является корпус цилиндра низкого давления в системе турбина-фундамент-основание с паровой турбиной мощностью 500 МВт. Предметом исследования являются амплитуды вынужденных колебаний корпуса цилиндра низкого давления при снижении рабочей частоты.

Математическая модель

Основной функционал задачи является разностью кинетической и потенциальной энергии и может быть представлен в следующем виде:

$$L(t, O, q) = 0, \quad (1)$$

где O – связи паровой турбины и фундамента;

L – оператор Лагранжа второго рода;

q – обобщенные перемещения.

В соответствии с методом конечных элементов [5-7] выражение функционала (1) представляется в матричном виде:

$$[M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} = R, \quad (2)$$

где M – инерционная матрица ;

C – демпферная матрица;

K – матрица жесткости;

R – внешние воздействия.

Система уравнений для определения собственных частот и форм для системы определяются согласно формуле (3):

$$\det[K - p_j^2 M] = 0. \quad (3)$$

Амплитуды вынужденных колебаний определяются с помощью метода итераций в подпространстве [5-6].

Описание расчетной модели

На основе ранее разработанной методики моделирования системы турбина-фундамент-основание [8-10] построены модели железобетонного фундамента и корпусов цилиндров низкого давления (рис. 2).

Переходной патрубков и конденсаторы, как и связи между всеми элементами системы турбоагрегат-фундамент-основание учитывались в модели с помощью дополнительных масс и граничных условий [11-14]. Преимуществом предложенной автором методики является учет состояний связи от абсолютно жесткой до свободного опирания [15-20].

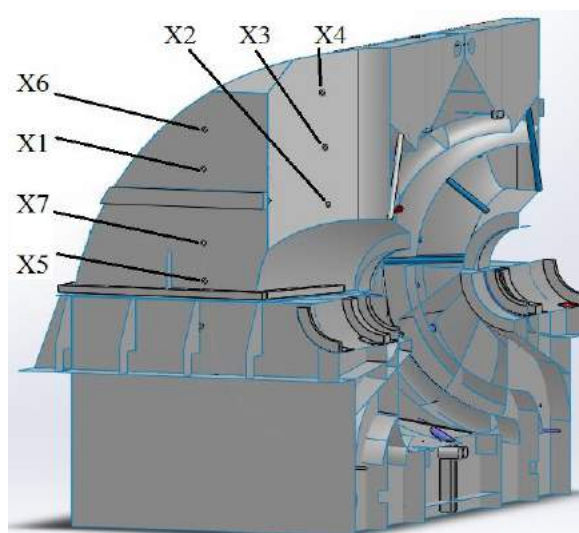


Рис. 2. Конечно-элементная модель паровой турбины К-500-65/3000 ХТГЗ

Общая расчетная конечно-элементная модель имеет 27040 узлов и 23165 конечных элементов [21].

Внешний вид половинной части модели корпуса цилиндра низкого давления приведен на рис. 2. Разрез выполнен по продольной плоскости симметрии. Внешние воздействия приложены системой равных сил по 1 Н в месте масляных подшипников роторов низкого давления, которые расположены внутри корпусов цилиндров низкого давления.

Модель фундамента конечными элементами типа стержень. Для цилиндра высокого давления, генератора и валопровода использовались в моделях системы масс.

Корпуса цилиндров низкого давления моделировались системой пластин, стержней, масс. Точки X1, X5, X6, X7 расположены на стенке, которая перпендикулярна оси валопровода; а точки X2, X3, X4 расположены над подшипником ротора низкого давления (рис. 2). Под точкой X2 располагается верхняя крышка корпуса подшипника. Верхняя крышка подшипника моделировалась системой масс, которые распределены по балке на нижней половине подшипника. Нижняя часть подшипника ротора низкого давления встроена в нижнюю половину корпуса цилиндра низкого давления и моделировалась системой пластинчатых и стержневых конечных элементов.

Расчетные исследования амплитудно-частотных характеристик колебаний

Проведены расчеты амплитуд вынужденных колебаний, указанных на рис. 2 точек

верхних частей корпуса цилиндра низкого давления.

В расчетах использовалась модель конструкционного модального трения. Трение однородное по частотам. Его значение равно наибольшей величине из имеющегося ряда данных, взятых из результатов экспериментальных исследований и неоднократно используемого при данном типе расчетов [7, 10, 14].

Результаты проведенных расчетов амплитудно-частотных зависимостей при снижении рабочей частоты приведены на рис. 3-9.

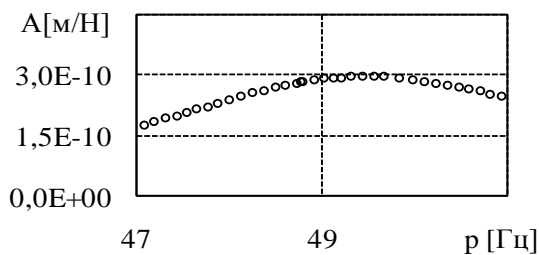


Рис. 3. Амплитуды колебаний в точке x1

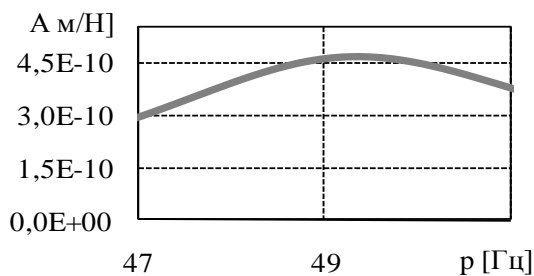


Рис. 4. Амплитуды колебаний в точке x2

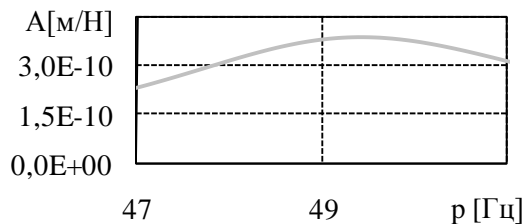


Рис. 5. Амплитуды колебаний в точке x3

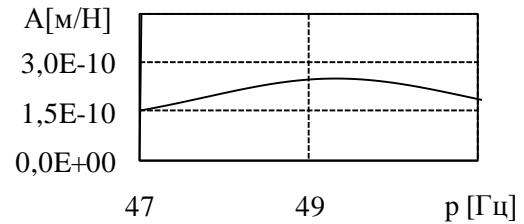


Рис. 6. Амплитуды колебаний в точке x4

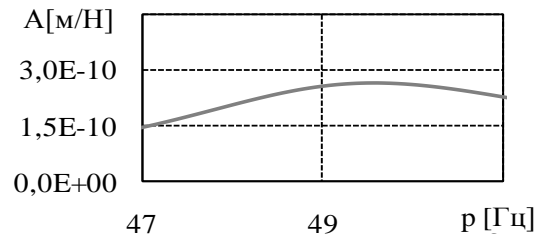


Рис. 7. Амплитуды колебаний в точке x5

Из рис. 3-9 видно, что амплитуды колебаний точек X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7 при снижении рабочей частоты до 49 Гц увеличиваются. При дальнейшем уменьшении рабочей частоты до 48 Гц амплитуды колебаний точек X1, X2, X3, X4, X5 уменьшаются, но остаются на уровне амплитуд колебаний на стандартной рабочей частоте. При последующем снижении частоты до 47 Гц амплитуды колебаний всех указанных точек уменьшаются.

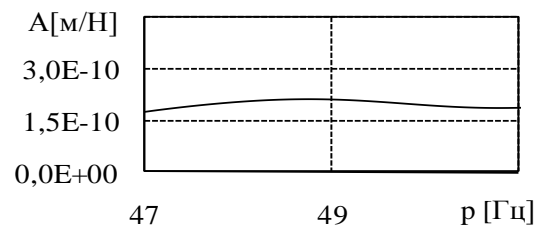


Рис. 8. Амплитуды колебаний в точке X6

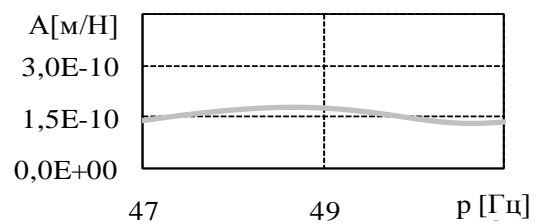


Рис. 9. Амплитуды колебаний в точке X7

Наименьшие изменения имеют амплитуды колебаний в точках Х6, Х7. Наибольшие амплитуды колебаний имеет точка Х2, которая наиболее близка к месту расположения встроеной в корпус опоры масляного подшипника. Увеличение амплитуд колебаний связано с тем, что при снижении рабочей частоты внешнее воздействие входит в резонанс с собственной частотой колебаний корпуса цилиндра низкого давления. Для уменьшения амплитуд колебаний, указанных на рис. 2 точек необходимо ужесточение, соответствующих стенок. В особенности требуется ужесточение стенок корпуса вблизи точки х2, которая находится в непосредственной близости от опоры подшипника валопровода.

Выводы

Анализ амплитудно-частотных характеристик вынужденных колебаний при небольшом снижении рабочей частоты показал увеличение амплитуд колебаний точек корпуса цилиндра низкого давления в связи с явлением резонанса. Дальнейшее снижение рабочей частоты сначала возвращает значения амплитуд колебаний к значениям на стандартной рабочей частоте, а затем делает их меньшими. Таким образом, вибрационное состояние корпуса при небольшой величине снижения значения рабочей частоты является неудовлетворительным. Определены стенки корпуса и конкретные места, которые требуют ужесточения конструкции.

Литература

1. Косяк Ю. Ф. и др. Паротурбинные установки атомных электростанций, ред. Ю. Ф. Косяк. М.: Энергия. 1978. 312 с.
2. Трояновский Б. М. Турбины для атомных электростанций. М.: Энергия. 1978. 182 с.
3. Левченко Е.В., Швецов В.Л., Кожешкурт И.И., Лобко А. Н. Опыт ОАО «ТурбоАтом» в разработке и модернизации турбин для АЭС. СПб.: *Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование*. 2010. № 3. С.5-11.
4. Субботин В. Г., Левченко Е. В., Швецов В. Л. Паровые турбины ОАО "Турбоатом" для тепловых электростанций. Харьков: *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ"*. 2009. № 3. С. 6-17.
5. Еременко С. Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. Харьков: Основа. 1991. 271 с.
6. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. М.: Мир. 1984. 428 с.
7. HITACHI. Turbine and Generator Foundation Design and construction & recommendation. Tokyo: Japan. 2009. 104 p.
8. Назаренко С. А., Ткачук Н. А. Обзор некоторых ключевых направлений исследований ученых НТУ «ХПИ» в области динамики конструкций. Харьков: *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2017. № 39. С.49-56.
9. Ларін А., Чумаченко О. Співпраця запорізьких авіадвигунобудівних підприємств з провідними вченими України в галузі динамічної міцності в 1950-1970-х рр. Харьков: *Дослідження з історії техніки*. 2016. № 23. С.72-78.
10. Жовдак В. О., Красников С. В., Степченко О. С. Решение задачи статистической динамики машиностроительных конструкций с учетом случайного изменения параметров. Харьков: *Проблемы машиностроения*. 2004. Т.7, № 3. С. 39 – 47.
11. Zhiqiang Hu, Wei Wang, Puning Jiang, Qinghua Huang, Jianhua Wang, Sihua Xu, Jin He and Lei Xiao. A Seismic Analysis on Steam Turbine Considering Turbine and Foundation Interaction. Düsseldorf: *ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition*. 2014. no. V01BT27A041. P. 1-8.
12. Alan Turnbull. Corrosion pitting and environmentally assisted small crack growth. *Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*. London: The Royal Society. 2014. no. 20140254. P. 1-19.
13. Chowdhury Indrajit, Dasgupta P. Shambhu Dynamics of Structure and foundation a unified approach. Leiden: CRC Press. 2009. 616 p.
14. Рунов Б. Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов. М.: Энергоиздат. 1982. 352 с.
15. Yu M., Feng N., Hahn E. J. An equation decoupling approach to identify the equivalent foundation in rotating machinery using modal parameters. *Journal of Sound and Vibration*. 2016. Vol. 365. P. 182-198.
16. Xu X. P., Han Q. K., Chu F. L. Nonlinear vibration of a generator rotor with unbalanced magnetic pull considering both dynamic and static eccentricities. *Archive of Applied Mechanics*. 2016. Vol. 86. P. 1521-1536.
17. Jalali M. H., Ghayour M., Ziaei Rad S., Shahriari B. Dynamic analysis of a high speed rotor-bearing system. Measurement: *Journal of the International Measurement Confederation*. 2014. Vol. 53. P. 1-9.
18. Zhang Yang , Yanlong Jiang , Guoyuan Zhang Bending fault evaluation for the HP-IP rotor system of the nuclear steam turbine based on the dynamic model. *Journal of Vibroengineering*. 2017. Vol. 19. P. 3364-3379.
19. Minli Yu, Ningsheng Feng, Eric J. Hahn Corrigendum to“ An equation decoupling

- approach to identify the equivalent foundation in rotating machinery using modal parameters” *J. Sound Vib.* 2016. Vol. 365. P.182 – 198.
20. Minli Yu, Jike Liu, Ningsheng Feng, Eric J. Hahn Experimental evaluation of a quasi-modal parameter based rotor foundation identification technique . *J. Sound Vib.* 2017. Vol. 411. P. 165 – 192.
 21. Красніков С. В. Моделирование и анализ вибрационных характеристик корпуса паровой турбины большой мощности. Харків: *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2017. № 39. С.23-26.
- ### References
1. Kosyak Yu. F. and other (1978). Paroturbinnye ustanovki atomnykh elektrostantsii, red. Kosyak Yu. F. [Steam turbine installations of atomic power plants], Moscow, Energiya. 312 [in Russian].
 2. Troyanovskii B. M. (1978). Turbiny dlya atomnykh elektrostantsii [Turbines for nuclear power plants], Moscow, Energiya. 182 [in Russian].
 3. Levchenko E. V., Shvetsov V. L., Kozheshkurt I.I., Lobko A.N. (2010). Opyt OAO «TurboAtom» v raz-rabotke i modernizatsii turbin dlya AES [Experience of OJSC “TurboAtom” in the development and modernization of turbines for nuclear power plants.], *Energeticheskie i teplotekhnicheskie protsessy i oborudovanie. SantPeterburg.* 3, 5-11 [in Russian].
 4. Subbotin V. G., Levchenko E. V., Shvetsov V. L. (2009). Parovye turbiny OAO "Turboatom" dlya teplovyykh elektrostantsii [Turboatom steam turbines for thermal power plants]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI". Khar'kov,* 3, 6-17 [in Russian].
 5. Eremenko S. Yu. (1991). Metody konechnykh elementov v mekhanike deformiruemyykh tel [Finite-element methods in mechanics of deformable bodies.], Khar'kov: Osnova. 271 [in Russian].
 6. Gallager R. (1984) Metod konechnykh elementov. Osnovy [The finite element method. Basedata], Moscow, Mir. 428 [in Russian].
 7. (2009). HITACHI. Turbine and Generator Foundation *Design and construction & recommendation. Tokyo: Japan,* 104.
 8. Nazarenko S. A., Tkachuk N. A (2017). Obzor nekotorykh klyuchevykh napravlenii issledovaniy uchenykh NTU « KhPI» v oblasti dinamiki konstruktivnykh. [Review of the main directions of research of scientists of NTU "KhPI" in the field of dynamics of constructions]. *Visnik NTU «KhPI», Kharkiv,* 39, 49-56 [in Russian].
 9. Larin A., Chumachenko O. (2016) Spivpratsya zaporiz'kikh aviadvigunobudivnykh pidpriemstv z providnimi vchenimi Ukraini v galuzi dinamichnoyi mitsnosti v 1950-1970-kh rr. [Cooperation Zaporizhzhya aviation engine-building companies with the leading scientists of Ukraine in the field of dynamic strength in the 1950-1970.] *Doslidzhennya z istorii tekhniki, Kharkiv,* 23, 72-78 [in Ukrainian].
 10. Zhovdak V. O., Krasnikov S. V., Stepchenko O. S. (2004). Reshenie zadachi statisticheskoi dinamiki ma-shinostroitel'nykh konstruktivnykh s uchedom sluchainogo izmeneniya parametrov [The solution of the problem of the statistical dynamics of the machine-building constructions taking into account a random change in parameters. Kharkiv: Engineering problems]. *Problemy mashinostroeniya, Kharkiv.* 3, 39 – 47 [in Russian].
 11. Zhiqiang Hu, Wei Wang, Puning Jiang, Qinghua Huang, Jianhua Wang, Sihua Xu, Jin He and Lei Xiao (2014). A Seismic Analysis on Steam Turbine Considering Turbine and Foundation Interaction. *ASME Turbo Expo 2014: Turbine Technical Conference and Exposition, Dusseldorf.* V01BT27A041, 1-8.
 12. Alan Turnbull (2014). Corrosion pitting and environmentally assisted small crack growth. *Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences, London: The Royal Society.* 20140254, 1-19.
 13. Chowdhury Indrajit, Dasgupta P. Shambhu (2009). Dynamics of Structure and foundation a unified approach. Leiden: CRC Press, 616.
 14. Runov B.T. (1982) Issledovanie i ustranenie vibratsii parovykh turboagregatov [Research and elimination of the vibration of the steam turbine units], Moscow, Energoizdat. 352 [in Russian].
 15. Gallager R. (1984) Metod konechnykh elementov. Osnovy [The finite element method. Basedata], Moscow, Mir. 428 [in Russian].
 16. Xu X. P., Han Q. K., Chu F.L. (2016) Nonlinear vibration of a generator rotor with unbalanced magnetic pull considering both dynamic and static eccentricities. *Archive of Applied Mechanics.* 86, 1521-1536.
 17. Jalali M. H., Ghayour M., Ziaei Rad S., Shahriari B. (2014) Dynamic analysis of a high speed rotor-bearing system. Measurement: *Journal of the International Measurement Confederation.* 53, 1-9.
 18. Zhang Yang, Yanlong Jiang, Guoyuan Zhang (2017) Bending fault evaluation for the HP-IP rotor system of the nuclear steam turbine based on the dynamic model. *Journal of Vibroengineering.* 19, 3364-3379.
 19. Minli Yu., Ningsheng Feng, Eric J. Hahn (2016) Corrigendum to “ An equation decoupling approach to identify the equivalent foundation in rotating machinery using modal parameters” *J. Sound Vib.* 365, 182 – 198.
 20. Minli Yu, Jike Liu, Ningsheng Feng, Eric J. Hahn (2017) Experimental evaluation of a quasi-modal

parameter based rotor foundation identification technique . *J. Sound Vib.* 411, 165 – 192.

21. Krasnikov S. V. (2017). Modelirovanie i analiz vib-ratsionnykh kharakteristik korpusa parovoi tur-biny bol'shoi moshchnosti [Modeling and analysis of the vibration characteristics of a high-power steam turbine hull]. *Visnik NTU «KhPI»*, Kharkiv, 39, 23-26 [in Russian].

Красников Сергей Васильевич¹, к.т.н., доц. каф. теоретической механики и гидравлики, тел. +38 057-707-37-30, e-mail: vsevavr@list.ru

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого 25.

Modeling and analyzing vibrations of a 500 MW turbine housing with a reduced operational frequency

Abstract. Problem. The problem of increased vibration of bodies of a steam turbine cases with a capacity of steam turbine of 500 MW is considered. The main cause of the increased vibration of the steam turbine is the rotor's unbalance and insufficient stiffness of the system elements. The case of operating practice is considered, where the rotational alignment did not significantly change the vibration parameters. **Goal.** In this work the purpose was to make simulation of the forced kind of oscillations of the low-pressure cylinders flexible bodies in the turbineunit-foundation-base system with a turbine unit K-500-65/3000 KHTZ, to study the different causes of their increased level of vibration in case of less work frequencies. **Methodology.** The research is made using the method of oscillation, the method of finite elements, as well as the author's methods of constructing models and conducting research on oscillations of the turbineunit-foundation-base system. **Results.** The results of the research is as follows: a three-dimensional complex finite-element model of the turbine-foundation-base system was obtained, as well as the amplitude-frequency dependences for the points of the cylinder body of low pressure. The conducted study made it possible to draw conclusions about the different causes of increased vibration of the parts of the steam turbine unit flexible bodies. **Originality.** The type of designed three-dimensional models of the turbine unit-foundation-base system is unique. Due to the features of the developed model, it is possible to make a vibration processes study at a low level that enables to analyze the oscillations of complex system elements. For individual kinds of studies, further unique specification of the individual parts of the considered system is required. This enables to use the features of the finite element method to specify the turbine unit-foundation-base system in accordance with the actual operating conditions. Other researchers did not solve the problem or clarified it.

Value to practice. The significance of the work done in practical terms is primarily an illustration of the technique as a tool for developing specific models in the study of oscillations of a turbine-foundation-base system, as well as for solving practical problems of concretizing and localizing the causes of increased vibration of individual elements of a complex system. The results obtained in the work were used to improve the vibration state of the buildings of units with a steam turbine power unit with the capacity of 500 MW.

Key words: vibration; low pressure case; steam turbine; finite element method; foundation; oscillations.

Krasnikov Sergey¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 057-707-37-30, e-mail: vsevavr@list.ru

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

Моделювання та аналіз коливань корпусу турбіни 500 МВт при зниженні робочої частоти

Анотація. Вирішена практична задача з аналізу підвищеної вібрації щодо корпусу циліндрів низького тиску парових турбін енергоблоків потужністю 500 МВт. З'ясовано; що основною причиною виникнення підвищених рівнів вібрації у паровій турбіні є сили небалансу ротору; а також недостатня жорсткість серед елементів всієї системи. Розглядається наявний випадок з практики по експлуатації енергоблоку; де центрування для роторів не надало суттєвого поліпшення робочих параметрів. В якості цілі даної роботи було поставлено задачі з моделювання системи турбіна-фундамент-основа з турбіною K-500-65/3000 ХТГЗ; її вимушених коливань; а також дослідження причин підвищеної вібрації корпусів циліндрів низького тиску при зменшенні значення робочої частоти. Дослідження проведено за використанням методів коливань та скінчених елементів; а також шляхом розроблених автором методик побудови моделей та досліджень коливань системи турбоагрегат-фундамент-основа. За результатом проведеного дослідження були отримані: трьохвимірна скінчено-елементна модель системи турбоагрегат-фундамент-основа; амплітудно-частотна залежність для системи точок у корпусах циліндрів низького тиску. Наведене дослідження дозволило надати висновки щодо причин підвищених рівнів вібрації верхніх частин у корпусах парової турбіни. Тип розроблених автором трьохвимірних моделей цільної системи турбоагрегат-фундамент-основа є унікальним. Завдяки наявним особливостям розробленої моделі існує реальна можливість з дослідження вібраційного процесу на рівні; що дозволяє аналізувати рівні вібрації всіх елементів

системи. Для окремого дослідження потрібна конкретизація частин системи; що потребують найбільшої уваги. Це дозволяє використання особливостей методу скінчених елементів для моделювання системи турбоагрегат-фундамент-основа з великим ступенем конкретизації реальних умов. Сторонніми дослідниками за використанням інших методик не було вирішено поставлені проблеми та в'ячено конкретні причини підвищених рівнів вібрації у корпусах циліндрів низького тиску. Практичне значення дослідження є ілюстрація засобу розробки спеціалізованої моделі для дослідження характеристик вимушених коливань у системі турбоагрегат-фундамент-основа; а також розв'язку задачі з аналізу наявних причин

підвищених рівнів вібрації. Результати роботи використано для практичних заходів; щодо поліпшення стану вібрації корпусів та паротурбінних установок потужністю 500 МВт.

Ключові слова: вібрація; циліндр низького тиску; парова турбіна; метод кінцевих елементів; фундамент; коливання.

Красніков Сергій Васильович¹; к.т.н., доц. кафедри теоретичної механіки і гідравліки, тел. +38 057-707-37-30, e-mail: vsevakr@list.ru

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Шимук Д. С.¹, Тарасова В. В.¹, Кляхін Б. В.¹, Альховський Г. С.¹

¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації

***Анотація.** У статті розглянуто деякі проблеми, які мають місце при використанні нетрадиційних джерел електричної енергії різних типів та стримують їх широке розповсюдження. Приведені методи часткових рішень деяких проблем систем електропостачання з нетрадиційними джерелами енергії, а також відмічена перспективність використання деяких конкретних елементів в цих системах.*

***Ключові слова:** нетрадиційні джерела електроенергії; сонячні установки; вітроенергетичні установки; коефіцієнт корисної дії; надійність; стабільність; вплив на навколишнє середовище; система електропостачання.*

Вступ

В теперішній час усі паливно-енергетичні запаси умовно підрозділяють на поновлювані (НПДН) та поновлювані (ПДЕ). До невідновлювальних джерел енергії належать: хімічна енергія паливних копалин, термоядерна (ядерна) енергія та внутрішня теплота Землі. До основних відновлювальних джерел енергії належать: енергія сонячного випромінювання, енергія вітру, гідроенергія, енергія морських припливів та інші.

Потреби людства в електроенергії постійно збільшуються. Однак запаси традиційних природних палив, в тому числі і ядерного палива – кінцеві. Тому саме сьогодні так важливо знайти інші, нетрадиційні джерела електричної та теплової енергії. При цьому при розгляданні того чи іншого джерела необхідно звертати увагу на багато факторів: дешевизну самого палива, дешевизну спорудження системи електропостачання (СЕП) та її експлуатації, простоту їхньої конструкції та багато інших факторів. [1, 2].

Стратегія розвитку паливно-енергетичного комплексу України передбачає суттєве розширення використання нетрадиційних джерел електричної та теплової енергії. І тому є свої підстави: практична невичерпність цих джерел, екологічність, висока надійність роботи, простота обслуговування.

В основних положеннях Енергетичної Стратегії України на період до 2030 року записано: «Відповідно до базового сценарію, виробництво електроенергії з використанням інших відновлювальних джерел має збільшитись з 51 млн. кВт у 2005 р. до 2,1 млрд кВт-годин у 2030 році».

Але при використанні поновлюваних джерел існує і ряд проблем, технічне вирішення яких приводить до суттєвого зростання ціни енергії, отриманої від цих джерел.

Вітчизняні і зарубіжні дослідження, що проводяться у галузі енергетики нетрадиційних джерел, пов'язані з трьома основними напрямками: електроенергетикою, освітленням і теплопостачанням.

Досягнення в галузі фізики, хімії, енергетики, перетворювальної техніки та машинобудування дозволяють сподіватися на можливість створення принципово нових джерел та суттєвих змін в конструкції вже існуючих перетворювачів енергії, схем стабілізації напруги та частоти тощо.

Аналіз публікацій

Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), є основою електроенергетики нашої країни. Завдяки цієї системі забезпечується як централізоване енергоживлення власних споживачів, тобто споживачів в межах України, так і взаємодія з сусідніми країнами, тобто забезпечується експорт та імпорт електроенергії.

Енергетична система (або енергосистема) – це сукупність устаткування, яке забезпечує безперервний процес генерування (виробництва), передачі, перетворення і розподілу електричної та теплової енергії, її споживання, а також забезпечує загальне керування цим процесом.

Електроенергетична система – це сукупність електрообладнання енергетичної системи, яке об'єднано загальним режимом спо-

живачів електричної енергії, які становлять єдине ціле.

Для надійної та безперебійної роботи споживачі повинні отримувати від енергосистеми електроенергію належної якості, в першу чергу – стабільної частоти та стабільної напруги. [3, 4].

Але використання найбільш поширених поновлюваних джерел, тобто вітрових та сонячних станцій, суттєво залежить від погодних умов і саме тому напряму веде до нерівномірності виробництва енергії, а також до неспівпадання максимуму енергії, виробленої ПДЕ, з годинами максимального (пікового) навантаження [5 - 7]. У вітроенергетичних установках це пов'язане зі зміною швидкості вітру, а у сонячних – з інсоляцією сонячних елементів.

Використання в складі ОЕС нетрадиційних джерел енергії з нерівномірним графіком виробництва електроенергії веде або до необхідності зміни характеру енергоспоживання, або до введення в частину яка генерує ОЕС відповідного обсягу маневрених потужностей [6, 8-10].

В останні роки постійно зростає тенденція сумісного використання для електростанцій невеликої потужності різних джерел генерації з поновлюваними джерелами енергії, в першу чергу, по сумісному використанню вітрової та сонячної електрогенерації. Таке сумісне використання також може сприяти рішенням питань нерівномірної генерації [11-16].

Мета та постановка задачі

Однак використання поновлюваних джерел електричної енергії має не тільки явні переваги, але і суттєві недоліки. І це не тільки загальновідомі, наприклад, низький коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячних батарей; залежність параметрів електроенергії, виробленої вітроенергетичною установкою (ВЕУ) від швидкості вітру; складні технічні рішення при використанні практично усіх видів поновлюваних джерел, а внаслідок цього – велика собівартість 1 кВт-години електроенергії.

Метою роботи є дослідження основних проблем, які існують при використанні нетрадиційних (поновлюваних) джерел енергії, в першу чергу – сонячних та вітроенергетичних установок.

Труднощі сонячної енергетики

Сонячна енергетика є одним із перспективних напрямів використання енергії поновлюваних джерел на території України. Переваги використання енергії сонячної радіації як енергоресурсу, полягають у безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в теплову та електричну енергію. Останні кілька років сонячна енергетика є сегментом альтернативної енергетики в Україні, що найбільш інтенсивно розвивається. У 2018 році загальна потужність всіх нових сонячних електростанцій склала 645,688 МВт, на їх частку припадає близько 87 % всіх об'єктів, які використовують ПДЕ.

На рис. 1 приведена класифікація технологій використання сонячного випромінювання.

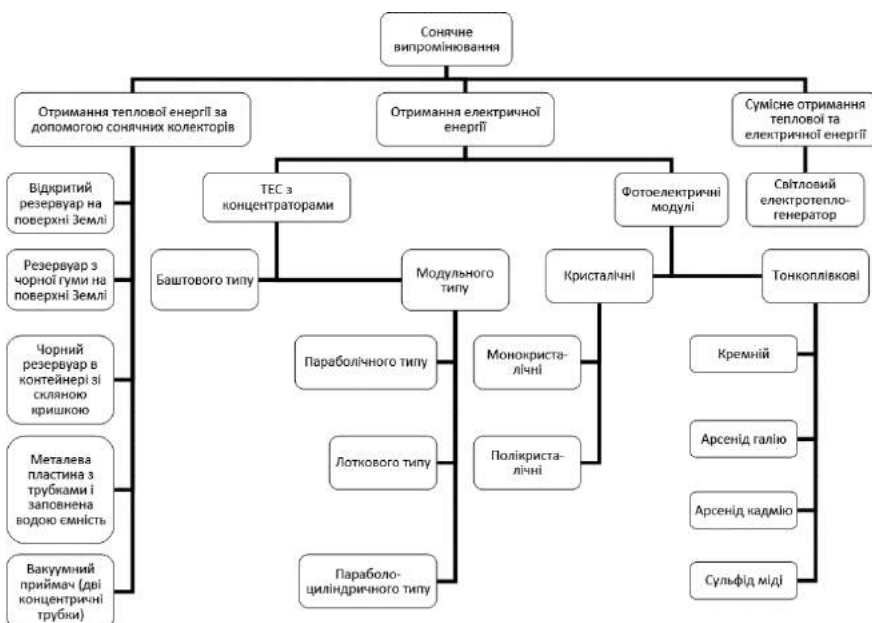


Рис. 1. Класифікація технологій використання сонячного випромінювання

Якщо аналізувати використання фотоелектричних тонкоплівкових модулів, то наочно видно, що широкого застосування набули сонячні елементи на основі кремнію. Основні його переваги – він дешевше, ніж арсенід галію; його багато в природі; він не оказує хімічного впливу на людину. Його основний недолік – ширина забороненої зони менша оптимальної 1,1 еВ. Це веде до того, що меншою є і теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії менша (до 29 %) [17].

Для практичного використання із окремих сонячних елементів збирають сонячні фотомодулі (сонячні батареї). З'єднання фотомодулів дає можливість створювати сонячні електричні станції різної потужності.

В складі сонячної електростанції є і інші прилади. Найбільш важливих серед них два. Це, в першу чергу, – хімічні акумулятори, які вдень заряджуються від сонячної батареї, а вночі (або при малої величині рівня освітлення) є джерелом живлення.

Другим найважливішим елементом сонячної електростанції є регулятори – перетворювачі, рис. 2. Вони керують процесом зарядки-розрядки акумуляторів. Крім того, ці регулятори-перетворювачі, перемикають навантаження сонячна батарея – акумулятор, а також слідкують за збіганням вихідної напруги батареї з номінальною напругою апаратури.



Рис. 2. Схема сонячної електростанції

Однією з невідкладних завдань підвищення ефективності експлуатації таких поновлюваних джерел енергії, як сонячні батареї, є розробка нових технологій захисту їх компонентів від перевантажень (як електричних, так і теплових). Це необхідно як для збільшення терміну служби, так і для зменшення кількості аварійних ситуацій.

Як відомо, сонячні батареї є одним із найбільш перспективних поновлюваних джерел електроенергії. Вони складаються з десятків і сотні тисяч окремих фотоелектричних (ФЕ) елементів, які можуть бути з'єднані за різними схемами на підставі паралельного та (або) послідовного з'єднань для забезпечення необхідних величин струмів та напруг. Вибір різних схем може забезпечити їх різні електричні характеристики, оптимальний режим функціонування, а також надійність та безвідмовність таких багатокомпонентних систем [18].

Однак існують прояви різних дефектів у ФЕ елементах і їх з'єднаннях у процесі експлуатації. Можна стверджувати, що робота в режимі неоднорідної освітленості веде до так званих послідовних і паралельних невідповідностей між окремими елементами та їх групами. Через це, в підсумку, в ФЕ елементах сонячних батарей виникають перегріву, як правило, локальні («гарячі плями») й більш інтенсивно йдуть процеси деградації.

Запропонована достатня кількість методів запобігання появи «гарячих плям». На сьогодні основними напрямками і методами є такі:

- удосконалення відомих схемотехнічних технологій;
- використання фотоелементів, з характеристиками зворотного пробію з малою амплітудою напруги або з захистом від розімкненого контуру;
- застосування виявлення й активного захисту, які базуються на технологіях відстеження точки максимальної потужності компонентів сонячних батарей. [19].

На сьогодні можна виділити два напрямки в розробці захисту від «гарячих плям» на рівні окремого фотоелектричного модуля, які базуються на застосуванні методів відстеження точки максимальної потужності МРРТ (Maximum Power Point Tracking)

Для виявлення гарячих плям була запропонована концепція, на основі використання змін параметрів повного опору або параметрів вольт-амперної характеристики рядка фотоелектричних модулів (ФЕМ) при частковому затіненні окремих його модулів. Алгоритми виявлення «гарячої плями» можуть працювати в тандемі з контролем МРРТ, періодично перериваючи МРРТ для вимірювання повного опору або інших електричних параметрів рядка фотоелектричних модулів [20].

Існує декілька методів виявлення «гарячої плями». Усі вони мають свої переваги та недоліки.

Один з методів передбачає вимір електричних параметрів сонячних панелей сумісно з поєднанням з активним захистом, який виконується за способом розімкненого електричного контуру. Однак такі технології, по-перше, вимагають спеціального (складного) обладнання, а по-друге, повинні бути розроблені тільки на рівні фотоелектричних модулів.

Одним із перспективних напрямків є використання додаткових блокувальних елементів, що дає можливість ізоляції тимчасових температурних і струмових перевантажень, а також перенапруг на ФЕ елементах.

Метод передбачає використання менш дорогих елементів, наприклад, відносно нових самовідновлювальних запобіжників (СВЗ) типу «Polyswith», які вже широко використовуються. Одно з виконань таких СВЗ це полімерні композити з нано-розмірними вуглецевими наповнювачами.

Базова функціональна властивість СВЗ – стрибкоподібне збільшення електричного опору після досягнення деякої граничної температури і повернення в високопровідний стан після зниження температури.

Проведені останнім часом експериментальні дослідження різних авторів дозволили встановити, що такі елементи захисту функціонально придатні для електричної ізоляції «гарячих плям» та не впливають на роботу сонячних батарей в їхньому робочому діапазоні температури

Вітроелектричні станції та особливості їх використання

Економічна оцінка використання вітру стосовно до енергосистем складається в порівнянні загальної вартості вітроенергоустановки (ВЕУ) для енергосистем із сумарною грошовою економією, одержуваної в результаті заміщення енергії теплових електростанцій.

При оцінці ефективності вітрової енергетики потрібно, щоб крім визначення грошової економії, одержуваної внаслідок зменшення витрати палива, була також підрахована додаткова економія, що може бути досягнута в результаті зміни витрат на придбання генеруючого устаткування теплових електростанцій.

При аналізі економічних показників використання енергії вітру в енергосистемах на стадії проектування потрібен розгляд різних

питань, таких, як вибір будівельних майданчиків, вимоги до надійності енергопостачання, добові і сезонні зміни навантаження й ін.

Якщо ВЕУ спроектована для генерування струму стабільної частоти та напруги то у цьому випадку до неї можна підключать будь яке навантаження відповідно до потужності генератора ВЕУ.

Коли ВЕУ спроектована для умов стабільної частоти та напруги, вона може включатися до паралельної роботи з державною енергетичною мережею. А якщо навантаження достатньо невелике, тобто є додаткова потужність ВЕУ, це дозволяє отримати платню від держави за вироблену електроенергію.

Ця перевага ВЕУ втілюється тільки тоді, коли є простий, надійний та дешевий спосіб підтримання умов стабільності частоти. Якщо для цієї мети будуть використовуватися складні та дорогі засоби, то така ВЕУ буде мати високу початкову ціну та великі експлуатаційні витрати.

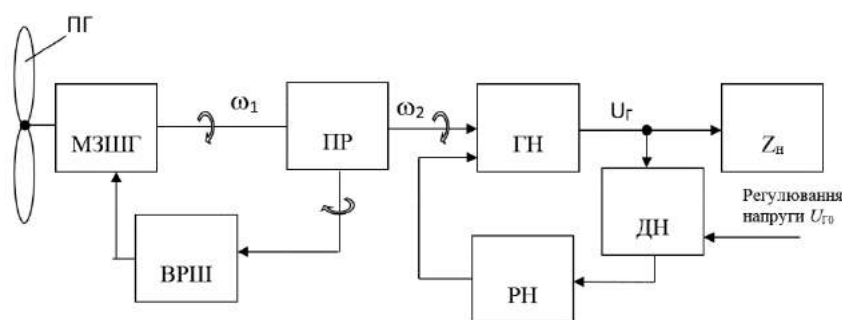
Як показала практика проектування та експлуатації ВЕУ, найбільш простим і надійним способом, який забезпечує достатню точність підтримання частоти струму, тобто частоти обертів валу генератора, є механічний спосіб.

В основі цього метода лежить зміна шагу лопаток повітряного гвинта, шляхом використання відцентрових регуляторів, тобто використання механічної замкнутої автоматичної системи управління (АСУ) шагом гвинта з метою забезпечення стабільності кутової швидкості $\omega_{\text{вх}}$ ведучого валу генератора.

В залежності від потреб замовника, АСУ кутової швидкості може бути виконана по механічній схемі або з використанням гідравлічної системи. В останньому випадку АСУ буде більш складною і дорожчою, але забезпечуватиме більш точну стабільність частоти обертів валу.

Точність роботи механічної АСУ стабілізації частоти обертів складає $\Delta f = \pm 5\%$, тобто для стандартної мережі маємо $f = 50 \pm 2,5$ Гц. Точність роботи гідравлічної АСУ може сягати значення $\Delta f = \pm 1\%$, а значення частоти складатиме $f = 50 \pm 0,5$ Гц.

Функціональна схема ВСУ з відцентровим регулятором швидкості обертів вала генератора показана на рис. 3.



ПГ – повітряний гвинт; МЗШГ – механізм зміни шагу гвинта; ВРШ – відцентровий регулятор швидкості, ПР – підвищуючий редуктор; ГН – генератор напруги (асинхронний або синхронний); Z_n – опір навантаження (користувачі змінного струму); ДН – датчик напруги; РН – регулятор напруги

Рис. 3. Функціональна схема ВЕУ

До цього треба додати, що конкретні електричні схеми стабілізації напруги для синхронного чи асинхронного генераторів будуть відрізнятися, так як синхронний генератор має обмотку збудження, змінюючи струм в котрій стабілізують вихідну напругу генератора.

У асинхронного генератора принцип стабілізації напруги інший відносно синхронного. Він полягає в регулюванні ємнісної складової реактивного струму ємностей збудження за рахунок індуктивного струму, який створює регулятор (його індуктивність). Схема стабілізації напруги асинхронного генератора має більшу масу за рахунок використання ємностей збудження C_z та індуктивностей L в кожній фазі для отримання реактивного струму. Асинхронний генератор легший за вагою порівняно з синхронним, але система стабілізації напруги у синхронного генератора набагато легша від системи стабілізації асинхронного генератора.

У більшості випадків застосування ВЕУ при її проектуванні ставиться мета мінімізувати вартість системи з урахуванням терміну її служби і, отже, вартість виробленої енергії. Це вимагає, щоб питомі капітальні витрати на спорудження ВЕУ, включаючи пристрої, що акумулюють, були мінімальними. Необхідно також, щоб ВЕУ була спроектована з урахуванням вимоги мінімізувати експлуатаційні витрати протягом терміну її служби при відповідному проектуванні її елементів, зокрема лопатей, генератора, опорних пристроїв, передач, вежі, акумулюючих пристроїв і інших елементів. До інших критеріїв, що повинні бути враховані для визначення ефективності ВЕУ, відносяться:

– строк окупності витрат енергії ВЕУ, іншими словами, час, необхідний для того, щоб

ВЕУ виробила ту кількість енергії, що була витрачена на її виготовлення, а також на роботу й обслуговування за певний період;

– частка корисно спожитої енергії ВЕУ, тобто співвідношення кількостей енергії, виробленої ВЕУ за термін її служби і спожитої при її виробництві, для роботи та обслуговування за цей же період;

– різні фактори, пов'язані з навколишнім середовищем, естетикою, юридичними, фінансовими, соціальними й іншими питаннями, що можуть мати вплив на суспільне визнання ВЕУ.

Характеристики ВЕУ визначаються, насамперед, мінливістю природи вітру як джерела енергії і тим фактом, що потужність, що розвивається ними, змінюється в залежності від площі ореолу вітроколеса, і швидкості вітру. Унаслідок кубічної залежності потужності від швидкості вітру і його мінливості дійсна продуктивність вітродвигуна за тривалий період може бути значно вище продуктивності, підрахованої по середній швидкості вітру за цей час. Як критерій розглядається і розташування вітроколеса над поверхнею землі, оскільки швидкість вітру з висотою збільшується. Місцеві особливості зміни швидкості вітру виникають унаслідок, з одного боку, її збільшення над положистими височинами й іншими об'єктами навколо них, а з іншого, - зменшення швидкості потоку поблизу дерев, будинків і інших перешкод. На рис. 4 приведена карта, на якій вказані швидкості вітру по регіонах [21].

Згідно з офіційною інформацією у другому кварталі 2018 року сумарна потужність сонячних (СЕС) та вітрових (ВЕС) електростанцій досягла 1552 МВт. За даними НЕК «Укренерго» до кінця 2019 року встановлена потужність СЕС та ВЕС може досягнути 3000 МВт.



Рис. 4. Карта швидкостей вітру [21]

Зростання частки ВЕС в балансі енергосистеми вимагає збільшення резерву потужності на інших електростанціях для швидкого реагування на зміни генерованої потужності. В умовах України на даному етапі для балансування можуть бути задіяні теплові електростанції (ТЕС) або гідроелектростанції (ГЕС). Останнім часом розглядається можливість використання для балансування енергосистеми електрохімічних накопичувачів енергії на основі літій-іонних акумуляторних установок, однак їхнє будівництво може зайняти тривалий час.

Якщо звернути увагу на структуру генеруючих джерел об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України, то можна відзначити, що єдиний наявний в достатньому обсязі тип електростанцій для балансування ОЕС України – це ТЕС (встановлена потужність більше 27 ГВт). Залучення гідроелектростанцій малоймовірне через їхню недостатню потужність в балансі ОЕС України – 11,2% проти 15% необхідних.

Переважну більшість ТЕС було збудовано в 60–80-тих роках минулого століття, тому бі-

льшість з них вже практично повністю вичерпали свій ресурс та потребують реконструкції. Збільшення в балансі ОЕС частки негарантованої потужності (ВЕС та СЕС) може призвести до зростання нерівномірності добового графіка навантажень, і як наслідок, до збільшення пусків-зупинок енергоблоків ТЕС. Такі режими роботи енергоблоків можуть позначитися на надійності роботи генеруючого обладнання ТЕС. В той же час, навантаження ТЕС під час проходження добового максимуму може бути зменшене на величину потужності ВЕС, що є особливо важливим з огляду на проблеми з постачанням палива для ТЕС. Таким чином, робота ВЕС та СЕС у енергосистемі вимагає додаткового дослідження для оцінки можливого впливу ВЕС на режими роботи енергоблоків ТЕС. Для цього необхідно виконати аналіз балансів потужності ОЕС України в умовах, максимально наближених до реальних режимів роботи ВЕС, в єдиному режимі з іншими електростанціями ОЕС України. Для цього необхідно промоделювати роботу енергоблоків електростанцій, що залучаються до покриття навантажень енергосистеми в продовж певного періоду, наприклад одного року. Чим більший період моделювання, тим більше можливих режимів роботи буде враховано.

Оцінка може бути виконана за такими показниками:

- зміна кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС;
- величина потужності ТЕС, що може бути заміщена ВЕС в максимумі навантажень;
- величина обмеження потужності ВЕС.

Результати розрахунку наведені в таблицях 1-3 та проілюстровано на рис. 5 та рис. 6.

Таблиця 1 – Вплив різних рівнів встановленої потужності ВЕС на число пусків /зупинок енергоблоків ТЕС

Пусків енергоблоків ТЕС	Потужність ВЕС, МВт								
	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Зима									
Максимально за сезон	23	23	23	23	24	24	24	27	28
Сума за сезон	1158	1163	1155	1180	1168	1148	1137	1141	1132
Весна									
Максимально за сезон	16	14	14	14	14	14	15	16	16
Сума за сезон	433	415	407	391	406	398	395	382	366
Літо									
Максимально за сезон	17	17	18	18	18	20	19	20	18
Сума за сезон	619	594	564	528	506	492	476	461	423
Осінь									
Максимально за сезон	22	20	21	19	18	19	19	19	19
Сума за сезон	837	831	808	815	796	787	763	747	739
За рік									
Сума	3047	3003	2934	2914	2876	2825	2771	2731	2660

Таблиця 2 – Величина потужності ТЕС, що може бути заміщена ВЕС в максимумі

Навантаження ТЕС, МВт		Встановлена потужність ВЕС, МВт								
		0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Максимальне		15060	14825	14640	14545	14455	14365	14275	14185	14095
Зниження	сумарне	0	235	420	515	605	695	785	875	965
	на 1 ГВт ВЕС	–	469	420	343	302	278	262	250	241

В таблиці 1 наведено зміну кількості пусків/ зупинок енергоблоків на добу по сезонах в залежності від встановленої потужності ВЕС. Згідно з отриманими результатами, впродовж року спостерігається зменшення кількості пусків блоків.

Величину потужності ТЕС, що може бути заміщена в максимумі ВЕС для різних рівнів встановленої потужності ВЕС, наведено в таблиці 2 та на рис. 5.

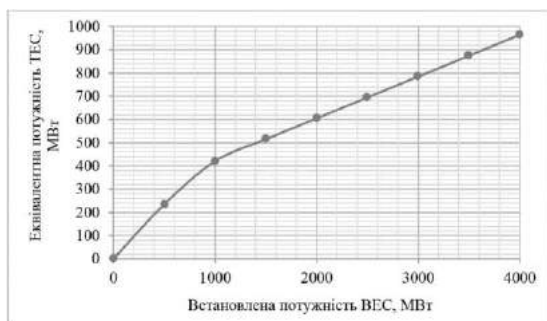


Рис. 5. Величина потужності ТЕС заміщена потужністю ВЕС

Таблиця 3 – Річний виробіток електричної енергії та величина режимних обмежень потужності за різних рівнів установленої потужності ВЕС

Встановлена потужність ВЕС, МВт	0	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	
Виробіток ел.ен., тис. МВт·год/рік	0	1147,6	2332,9	3524,8	4715,7	5899,3	7091,1	8281,7	9468,4	
Річне обмеження	МВт·год/рік	0	400	5415	15275	32900	64665	121095	198910	305810
	%	0	0,03	0,23	0,43	0,70	1,10	1,71	2,40	3,23

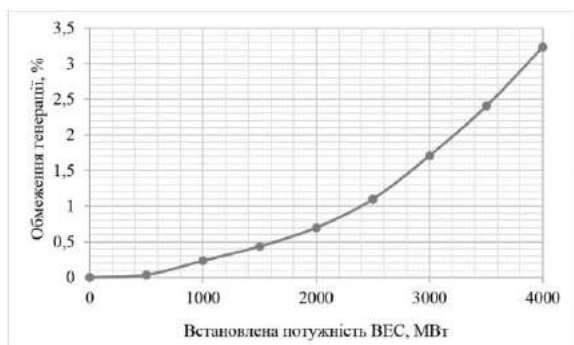


Рис. 6. Відсоток недоотриманої енергії ВЕС внаслідок режимних обмежень

Граничну потужність ВЕС визначається режими роботи ТЕС з мінімально допустимою потужністю. Існує висока ймовірність виникнення таких режимів під час весняного паводку, коли ГЕС працюють переважно в базовій частині добового графіку навантажень.

В таблиці 3 та на рис. 6. наведено величину виробленої ВЕС енергії та недовиробіток енергії внаслідок режимних обмежень з боку енергосистеми.

Обмеження потужності можуть спостерігатися навіть при незначній потужності ВЕС (500 МВт). Наприклад, такий випадок припав на паводок 2012 р. Тоді спостерігалось не характерне низьке навантаження в енергосистемі під час нічного мінімуму, тому під час балансування енергосистеми, щоб уникнути зменшення кількості енергоблоків ТЕС нижче мінімально допустимого складу, було прийнято рішення обмежити потужності ВЕС.

Станом на 2018 рік встановлена потужність ВЕС складає більше 500 МВт, однак через брак палива на ТЕС ці електростанції працюють зі складом генеруючого обладнання нижче нормативного, тому потреба у обмеженні потужності станцій не виникає. Після стабілізації ситуації така потреба може виникнути. Альтернативою обмеженням потужності може слугувати будівництво нових балансуєчих потужностей на базі акумуляторних установок.

При цьому інтеграція ВЕС дозволяє замінити певну частку потужностей ТЕС під час проходження максимуму навантажень енергосистеми. Питомий показник потужності

ТЕС, що може бути заміщена ВЕС, зменшується у разі зростання встановленої потужності ВЕС – від 469 МВт (при 0,5 МВт ВЕС) до 241 МВт (4 ГВт ВЕС). Для забезпечення збалансованої роботи ОЕС за умов збереження наявної структури генерації, у разі досягнення мінімально допустимого складу генеруючого обладнання на ТЕС, виникне необхідність у обмеженні потужності ВЕС. Для запобігання цьому необхідне будівництво установок акумулювання електричної енергії.

Висновки

Представлено аналіз основних результатів досліджень, що були проведені останнім часом в напрямках використання сонячних енергетичних установок та вітроенергетичних установок.

Вказані перспективні технології та напрямки для ізоляції тимчасових перевантажень за струмом та температурою на ФЕ елементах сонячних батарей. Розглянути також елементи електричного та теплового захисту, які вже використовуються в нетрадиційних джерелах живлення та функціонально придатні для електричної ізоляції локальних областей і компонентів сонячних батарей з підвищеною температурою.

Аналіз балансів потужності для рівнів навантаження енергосистеми та різних рівнів інтеграції ВЕС (до 4 ГВт) підтвердив можливість використання ТЕС для балансування ВЕС. Збільшення встановленої потужності ВЕС не дає збільшення кількості пусків/зупинок енергоблоків ТЕС. Балансування енергосистеми без зменшення складу енергоблоків ТЕС нижче технічного мінімуму вимагає обмеження потужності ВЕС. Для уникнення цього, необхідне впровадження систем акумулювання електричної енергії.

Інтеграція ВЕС дозволяє замінити певну частку потужності ТЕС під час проходження максимуму навантажень енергосистеми. Визначено, що питомий показник потужності ТЕС зменшується у разі зростання встановленої потужності ВЕС.

Література

- Кулик М. М., Др'омін І. В., Згуровець О. В. Можливості використання акумуляторних батарей для стабілізації частоти в об'єднаних енергосистемах з потужними сонячними електростанціями. *Відновлювана енергетика*. Київ, 2018. Вип. 3. С. 6-14.
- Gnatov A., Argun S., Ulyanets, O. Joint innovative double degree master program "energy-saving technologies in transport": 2017 IEEE First

Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, Ukraine, 29 June 2017. С. 1203–1207.

- Мірошник О. О. Аналіз методів оцінки якості електричної енергії в розподільних мережах в умовах невизначеності. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2016. №. 175. С. 14-16.
- Lezhnyuk P. et al. Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy. 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). – IEEE, 2017. С. 324-327.
- Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2015. №. 2. С. 134-145.
- Бацала Я. В., Гладь І. В., Николин У. М. Аналіз показників якості електроенергії сонячної електростанції. *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 2013. №. 4 (49). С. 81-90.
- Lezhnyuk P. et al. Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). IEEE, 2017. С. 379-383.
- Yadav T., Yadav D. Integration of Electric Vehicle and Renewable Generation to Improve the Power Quality Problems in Distribution System. 2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON). IEEE, 2018. С. 1-5.
- Irimia F. D. et al. About some quality aspects regarding the renewable energy installations voltage. 11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation. IEEE, 2011. С. 1-6.
- Chen Z. et al. Integrated mode and key issues of renewable energy sources and electric vehicles' charging and discharging facilities in microgrid. 2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013), 9-11 Sept. 2013. Beijing, China, 2013.
- Gnatov A., Argun S., Rudenko N. Smart road as a complex system of electric power generation: 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering: IEEE 2017, 29 трав.–2 черв. 2017 р. Kiev, 2017. Р. 457–461.
- Аргун Щ. В., Гнатов А. В. Сонячні зарядні станції як невід'ємна частина транспортної інфраструктури. Наукові праці Міжнародної науково-практичної конференції. «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців», Харків, Україна, 20-21 жовтня 2017 р., Харків: ХНАДУ, 2017. С. 53–54.

13. Patlins A., Hnatov A., Kunicina N., Arhun S. та ін. Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy: *International Conference on Energy and Sustainability in Small Developing Economies, 2018 International Conference, IEEE 2018*, 12 лип. 2018 Funchal, 2018. P. 21–26.
 14. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, Lithuania, Trakai, Kaunas University of Technology, 03.October.18. С. 574–579.
 15. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Safety of Pedestrian Crossings and Additional Lighting Using Green Energy: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, 5 oktob. 2018. Kaunas: Kaunas University of Technology : 2018. P. 527–531.
 16. Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O., та ін. A Device for Converting Kinetic Energy of Press Into Electric Power as a Means of Energy Saving. *Journal of the korean society for precision engineering*. 2019. Vol. 36, № 1. P. 105–110.
 17. Що таке сонячна енергетика і чи потрібна вона Україні. 2019. URL: <https://solarsystem.com.ua/blog/shho-take-sonyachna-energetyka-chy-potribna-vona-ukrayini/> (дата звернення 20.10.2019).
 18. Типы солнечных батарей и их КПД. 2015. URL: http://utem.org.ua/materials/show/typy_solnechny_h_batarey (дата звернення 20.10.2019).
 19. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. Study of load characteristics of various types of silicon PV panels for sustainable energy efficient road pavement. *Electrical, control and communication engineering*. 2019. Vol. 15 № 1. P. 30-38.
 20. Patlins A., Arhun S., Hnatov A., та ін. Determination of the Best Load Parameters for Productive Operation of PV Panels of Series FS-100M and FS-110P for Sustainable Energy Efficient Road Pavement: *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2018): Conference Proceedings*, 12 Nov. 2018. Riga : RTU, 2018, P. 1–6.
 21. Іноземних інвесторів зацікавила природна особливість Закарпаття і вони готові вкладати в неї великі кошти. 2017. URL: <https://pmg.ua/life/60866-inozemnykh-investoriv-zacikavyla-pryrodna-osoblyvist-zakarpattya-i-vony-gotovi-vkladaty-v-nei> (дата звернення 20.10.2019).
- References**
1. Kulyk M. M., Dromin I. V., Zghurovets O. V. (2018) Mozhyvosti vykorystannia akumuliatornykh batarei dlia stabilizatsii chastoty v obiednanykh enerhosystemakh z potuzhnymy soniachnymy elektrostantsiiamy. [Opportunities for the use of rechargeable batteries for frequency stabilization in combined power systems with powerful solar power plants.] *Vidnovliuvana enerhetyka*. Kyiv. 3. 6-14. [in Ukrainian].
 2. Gnatov A., Argun S., Ulyanets, O. (2017) Joint innovative double degree master program “energy-saving technologies in transport”: *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kiev, Ukraine, 29 June 2017. 1203–1207.
 3. Mirosnyk O. O. (2016) Analiz metodiv otsinky yakosti elektrychnoi enerhii v rozpodilnykh merezhakh v umovakh nevyznachenosti. [Analysis of methods for estimating the quality of electricity in distribution networks under uncertainty.] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni P. Vasylenka*. Kharkiv. 175. 14-16. [in Ukrainian].
 4. Lezhnyuk P. et al. (2017) Mathematical modeling of operation quality of electric grid with renewable sources of electric energy. 2017 International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). IEEE. 324-327.
 5. Lezhniuk P. D., Rubanenko O. Ye., Hunko I. O. (2015) Vplyv invertoriv SES na pokaznyky yakosti elektrychnoi enerhii v LES. [Influence of SES inverters on electricity quality indicators in forestry.] *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky*. 2. 134-145. [in Ukrainian].
 6. Batsala Ya. V., Hlad I. V., Nykolyn U. M. (2013) Analiz pokaznykiv yakosti elektroenerhii soniachnoi elektrostantsii. [Analysis of electricity quality indicators of a solar power plant.] *Prospecting and Development of Oil and Gas Fields*. 4 (49). 81-90. [in Ukrainian].
 7. Lezhnyuk P. et al. (2017) Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources. *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. IEEE. 379-383.
 8. Yadav T., Yadav D. (2018) Integration of Electric Vehicle and Renewable Generation to Improve the Power Quality Problems in Distribution System. *2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*. IEEE. 1-5.
 9. Irimia F. D. et al. (2011) About some quality aspects regarding the renewable energy installations voltage. *11th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*. IEEE. 1-6.
 10. Chen Z. et al. (2013) Integrated mode and key issues of renewable energy sources and electric vehicles' charging and discharging facilities in microgrid. *2nd IET Renewable Power Generation Conference (RPG 2013)*, 9-11 Sept. 2013. Beijing, China.

11. Gnatov A., Argun S., Rudenko N. (2017) Smart road as a complex system of electric power generation: *2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering: IEEE 2017*, 29 трав. – 2 черв. 2017. Kiev. 457–461.
12. Arhun Shch. V., Hnatov A. V. (2017) Soniachni zariadni stantsii yak nevidiemna chastyna transportnoi infrastruktury. [Solar charging stations are an integral part of transport infrastructure]. *Naukovi pratsi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii. «Avtomobilnyi transport i avtomobilebuduvannia. Novitni tekhnologii i metody pidhotovky fakhivtsiv»*, Kharkiv, Ukraina, 20-21 zhovtnia, KhNADU. 53–54. [in Ukrainian].
13. Patlins A., Hnatov A., Kunicina N., Arhun S. (2018) Sustainable pavement enable to produce electricity for road lighting using green energy: *International Conference on Energy and Sustainability in Small Developing Economies, 2018 International Conference, IEEE 2018*, 12 лип. 2018 Funchal. 21–26.
14. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2018) Using of Green Energy from Sustainable Pavement Plates for Lighting Bikeways: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, Lithuania, Trakai, Kaunas University of Technology, 03.October.18. 574–579.
15. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2018) Safety of Pedestrian Crossings and Additional Lighting Using Green Energy: *Transport Means 2018: Proceedings of 22nd International Scientific Conference*, 5 oktob. 2018. Kaunas: Kaunas University of Technology. 527–531.
16. Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O. (2019) A Device for Converting Kinetic Energy of Press Into Electric Power as a Means of Energy Saving. *Journal of the korean society for precision engineering*. 36(1). 105–110.
17. Shcho take soniachna enerhetyka i chy potribna vona Ukraini. [What is solar energy and whether it is needed for Ukraine] Retrived from: <https://solarsystem.com.ua/blog/shho-take-soniachna-enerhetyka-chy-potribna-vona-ukrayini/> (accessed: 20.10.2019). [in Ukrainian].
18. Tipy` solnechny`kh batarej i ikh KPD. [Types of solar panels and their efficiency] Retrived from: http://utem.org.ua/materials/show/typy_solnechny_h_batarey (accessed: 20.10.2019). [in Russian].
19. Patlins A., Hnatov A., Arhun S. (2019) Study of load characteristics of various types of silicon PV panels for sustainable energy efficient road pavement. *Electrical, control and communication engineering*. 15(1). 30-38.
20. Patlins A., Arhun S., Hnatov A. (2018) Determination of the Best Load Parameters for Productive Operation of PV Panels of Series FS-100M and FS-110P for Sustainable Energy Efficient Road Pavement: *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON 2018): Conference Proceedings*, 12 Nov. 2018. Riga: RTU. 1–6.
21. Inozemnykh investoriv zatsikavyla pryrodna osoblyvist Zakarpattia i vony hotovi vkladaty v nei velyki koshty. [Foreign investors are interested in the natural feature of Transcarpathia, and they are ready to invest a lot of money in it.] Retrived from: <https://pmg.ua/life/60866-inozemnykh-investoriv-zacikavyla-pryrodna-osoblyvist-zakarpattia-i-vony-gotovi-vkladaty-v-nei> (accessed: 20.10.2019). [in Ukrainian].

Шимук Дмитро Степанович¹, к.т.н., доц. тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,
Тарасова Валентина Всеволоодівна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com
Кляхін Борис В'ячеславович¹, студент, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com
Альховський Гліб Сергійович¹, студент, +38- 066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com
¹Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.

Анализ проблем использования нетрадиционных источников электрической энергии

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые проблемы, которые имеют место при использовании нетрадиционных источников электроэнергии различных типов и сдерживают их широкое распространение. Приведены также методы частичных решений некоторых проблем. Отмечена перспективность применения элементов функциональной электроники, в частности полимерных самовосстанавливающихся предохранителей типа «Polyswith».

Ключевые слова: нетрадиционные источники электроэнергии; солнечная установка; ветро-энергетическая установка; КПД; надежность; стабильность; влияние на окружающую среду; система электроснабжения.

Шимук Дмитрий Степанович¹, к.т.н., доц., тел. +38 066-458-81-29, shimukds@gmail.com,
Тарасова Валентина Всеволоодівна¹, к.т.н., доц., тел. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,
Кляхін Борис В'ячеславович¹, студент, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com
Альховський Гліб Сергійович¹, студент +38- 066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com/
¹Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

Analyzing the problems of using non-traditional electricity sources

Abstract. Problem. The strategy of development of the fuel and energy complex of Ukraine envisages the expansion of using non-traditional sources of electric

and thermal energy. There are a number of problems with the use of renewable energy sources (RES), whose technical solution leads to a significant increase in the price of energy obtained from these sources. But the use of the most common RES, i.e. wind and solar stations, is significantly dependent on weather conditions, which is why it directly leads to uneven energy production, as well as the maximum energy produced by the RES does not coincide with the maximum load hours. In wind power plants, it is connected to the change in wind speed, and in solar - to the insolation of the solar cells. **Goal.** The goal is research of the main problems that exist when using non-traditional (renewable) energy sources, first of all - solar and wind power plants. **Methodology.** The analytical methods of research on the development and application of methods and devices for converting sun energy into electricity have been used. Experimental methods of research and mathematical methods of processing experimental research were used. **Results.** The perspective of the use of functional electronics elements, including polymeric self-healing fuses of the "Polyswith" type for solving the problem of improving reliability of the devices of conversion of solar radiation energy is noted. **Originality.** Experimental studies have shown that such protection elements do not affect the operation of solar panels in

their operating temperature range, and are functionally suitable for electrical isolation of local areas and components of high temperature solar panels. **Practical value.** Separation of the electrical circuit is proposed, which allows to reduce the information capacity of the algorithm and simplify the analysis of states. Separation of the object of diagnosis allows to reduce the solution of complex multifactor problem to the solution of several simpler ones. In addition, splitting the circle into separate links reduces the number of built-in sensors.

Keywords: unconventional electricity sources; solar installations; wind energy installations; efficiency; reliability; stability; environmental impact; power supply.

Shymuk Dmytro¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. + 38 066-458-81-29 shimukds@gmail.com.,

Tarasova Valentina¹, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Кляхін Борис Вячеславович¹, student, +38066-99-812-86, 17insta@gmail.com

Альховський Гліб Сергійович¹, student, +38-066-166-44-74, alhovskijjgleb@gmail.com

¹Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЛТОВАНИЯ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ К НАНЕСЕНИЮ ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ

Богдан Д. И.¹, Коряк А. А.¹, Егоров П. А.¹, Шарапата А. С.¹, Вельможная Ю. Л.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Аннотация. Предложена методика галтования для массовой и производительной обработки деталей с целью устранения дефектов после выполнения операций лазерной резки. Выполнены: анализ последовательности технологических операций, оценка производственно-технологических возможностей вибрационных станков и опыта их эксплуатации. Подобрана конструкция оборудования и его оптимальные режимы работы, число колеблющихся масс, вид и характер движения рабочей камеры, форма и объем рабочей камеры, характеристики упругих связей, тип привода и его характеристики, форма и грануляция галтовочных тел, промывочные растворы и степень заполнения рабочей камеры. Продемонстрированы результаты до и после указанного вида обработки.

Ключевые слова: галтование, микроудар, вибрация, окалина, облой, грат, коррозия, заусенцы, наклеп, мойка, очистка, нагар, шероховатость, износостойкость, листового материал, лазерная резка, притупление кромки.

Введение

За последнее время широкое распространение получили вибрационные методы обработки, а также соответствующие им машины и оборудование. Их применение способствует интенсификации различных процессов, повышает качество обработки, уровень механизации и автоматизации многих трудоемких работ, экономическую эффективность и производительность труда.

Широкие технологические возможности этого метода в сочетании с высокой производительностью на очистных, доделочных, шлифовально-полировальных и упрочняющих операциях ставят его в число наиболее актуальных и перспективных способов обработки и упрочнения деталей машин и приборов. Высокая интенсивность и экономичность вибрационных процессов обуславливаются возможностью обработки одновременно всей поверхности деталей большого количества деталей.

Особую актуальность галтование приобрело при обработке штампованных деталей из листового материала, который часто применяется при производстве кузовов автомобиля.

Также широкое распространение получила технология лазерной раскройки листового материала. Это обусловлено в первую очередь низким соотношением стоимости работ по обработке к стоимости материала, что благоприятно сказывается на себестоимости изделия. Зачастую стоимость механической обработки

превышает стоимость самого материала. За счет высокой степени автоматизации технологического процесса порезки в некоторых случаях стоимость работ может приближаться к стоимости материалов и даже уступать ей. В некоторых конструкциях стоимость работ даже приближается к стоимости материала в связи с высокой степенью автоматизации технологического процесса порезки (использование автоматизированного проектирования в современных САПР, имеющих встроенный модуль работы с листовым материалом; использование САПР по оптимизации раскроя, минимизирующих расходы и длину реза; раскрой на автоматизированных станках).

В качестве основного недостатка получаемых деталей можно выделить оплавление торцевой поверхности детали, что особым образом проявляется при обработке деталей из материалов с высокой теплопроводностью (нержавеющая сталь, медь, латунь и т. д.).

В случае ручной зачистки детали полностью нивелируются все преимущества данного метода получения деталей. Поэтому авторами статьи предложен более совершенный метод - обработки деталей галтованием после лазерной резки.

Анализ публикаций

В работе [1] описаны основные направления применения, достоинства и недостатки, технологические возможности вибрационного обо-

рудования для обработки деталей различных машин и приборов. Описана практика применения абразивных материалов (металлических и неметаллических) с разными свойствами, характеристиками, формами и размерами.

Теоретические основы, методики расчета и конструирования объемных вибрационных машин, а также типовые схемы лотковых галтовочных барабанов и взаимное расположение осей вращения дебаланса относительно галтовочной емкости описываются в работе [2].

В работах [3, 4] описаны конструкции и основные подходы при использовании промышленных жидкостей при галтовании. Описано влияние кислотности этих жидкостей на поверхностный слой обрабатываемых деталей.

Применение различных конструктивных и технологических мероприятий, описанных в монографии [5], позволяет обрабатывать детали (машин, приборов, инструментов) в различных гранулированных средах для широкого спектра технологических операций. Подробно рассмотрены вопросы обеспечения производительности обработки и требуемого качества поверхности, характеристики и классификации гранулированных сред, условий их эффективного применения, технологии и источники получения.

В работах [6, 7] рассмотрены основные тематические подходы при описании и моделировании динамической колебательной системы лоткового галтовочного барабана.

Особенности расчета конструкции тороидального галтовочного барабана приведены в работе [8].

В работе [9] рассмотрены технологический процесс и технология изготовления абразивного инструмента из соответствующих абразивных материалов. Даны рекомендации по выбору абразивных инструментов.

Широкие технологические возможности вибрационной обработки и особенности взаимодействия рабочей среды с поверхностью обрабатываемых деталей отмечены в работах [10-12].

Опыт использования вибрационной обработки для механизации трудоемких и малопродуктивных операций, выполняемых обычно вручную (скругление острых кромок, удаление облоя и заусенцев) изложен в источнике [13].

Особое внимание следует обратить на то, что основные изыскания по галтовочному оборудованию имели место в советской школе в 1970 годах. С развалом советского союза и

утратой основной массы производственных мощностей данный вид обработки утратил свою актуальность, тем самым, спровоцировав исчезновение научных школ по данному направлению на территории Украины. И только сейчас с широким распространением автоматизированной лазерной резки данная технология приобретает большую актуальность. К сожалению, более свежих публикаций по этой тематике, чем представленных в этом литературном обзоре, авторам статьи найти не удалось.

Цель работы и постановка задачи

Цель работы: определение возможности и области применения галтовочного оборудования в зависимости от материала обрабатываемых деталей, вида галтовочных тел и промышленных растворов; определение диапазона частотного регулирования привода и особенности конструкции типовых установок для галтования.

Необходимо разработать метод групповой обработки деталей после лазерной резки, который обеспечит достаточно высокую эффективность обработки, в совокупности с одновременной обработкой большого количества деталей при достижении одинакового эффекта для всех деталей. При этом данный метод должен позволить притупить острые кромки и удалить облой после лазерной резки, тем самым обеспечив эстетический внешний вид детали и возможность ее нормального функционирования в готовом изделии.

Обзор галтовочного оборудования

Сущность процесса вибрационной обработки состоит в последовательном нанесении на поверхности обрабатываемых деталей большого числа микроударов множеством частиц рабочей среды при их взаимном соударении и скольжении, вызванных действием направленных вибраций, сообщаемых рабочей камере, в которой размещены обрабатываемые детали и рабочая среда [1]. Его основой является механический или механохимический съем мельчайших частиц металла и его окислов с обрабатываемой поверхности, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими в процессе работы колебательное движение [2, 9].

Процесс вибрационной обработки протекает следующим образом. Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру, заполнен-

ную рабочей средой с требуемыми характеристиками. Рабочей камере, смонтированной на пружинах и имеющей возможность колебаться в различных направлениях, вибрация сообщается от вибратора с частотой $f=15 - 50$ Гц и амплитудой от 0,5 до 9 мм. В процессе вибрирования детали и рабочая среда непрерывно подвергаются переменным по знаку ускорениям. Рабочая среда и обрабатываемые детали имеют интенсивное относительное перемещение, совершая два вида движений: колебание и медленное вращение (циркуляционное движение) [2]. От стенок рабочей камеры вибрация передается по прилегающим слоям рабочей среды, которые передают ее следующим слоям и т. д.

В процессе обработки детали занимают различные положения в рабочей среде и проходят различные зоны рабочей камеры, что обеспечивает достаточно равномерную обработку всех поверхностей деталей, контактирующих с частицами рабочей среды. Воздействие на обрабатываемую деталь одновременно большого числа микроударов в различных направлениях способствует удержанию ее во взвешенном состоянии, исключая, таким образом, грубые забоины и повреждения [4].

Процесс обработки может протекать всухую, с периодической или непрерывной промывкой содержимого рабочей камеры (деталей, рабочей среды) смазочно-охлаждающей жидкостью (СОЖ). Последняя обеспечивает удаление продуктов износа (частиц металла и абразива) с поверхности деталей и частиц рабочей среды, смачивает их, способствует разделению и равномерному распределению деталей в рабочей среде. Путем изменения уровня жидкости в рабочей камере регулируется интенсивность обработки. В состав жидкого раствора могут вводиться различного рода химические добавки со специальными свойствами, что позволяет регулировать интенсивность процесса и качества обработки.

В зависимости от назначения операции могут применяться абразивные материалы различных характеристик, а также металлические и неметаллические полирующие материалы требуемой формы и размеров.

В процессе обработки рабочая камера совершает гармонические (или близкие к ним) колебания, а ее точки движутся по траекториям в виде окружности или эллипса. Частицы рабочей среды в течение каждого периода колебаний на некотором его участке движутся вместе с рабочей камерой, при этом их траектории и скорости совпадают или весьма близки. Затем

происходит отрыв частиц среды от стенок рабочей камеры вследствие разности величины и направления их скоростей и ускорений (после чего частицы среды совершают свободное перемещение).

Граничный слой, а с ним и остальная масса рабочей среды и обрабатываемых деталей, как бы находятся в «зацеплении» и обкатываются относительно друг друга под действием импульсов движений, сообщаемых рабочей среде стенками рабочей камеры при их встрече на некотором участке каждого цикла ее колебания.

По форме камеры обработки галтовочные машины бывают [3, 5]: лотковые рис. 1 и торообразные рис. 2.

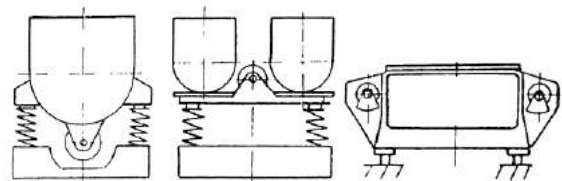


Рис. 1. Компонировочные схемы лотковых галтовок [5]

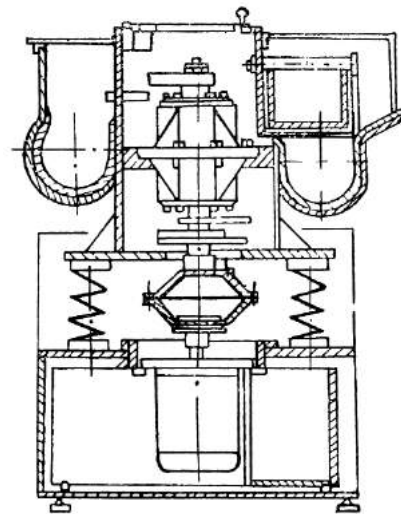


Рис. 2. Схема галтовочного станка с торообразной рабочей камерой [5]

Лотковые галтовки имеют преимущества в виде возможности загрузки деталей больших габаритов, но вместе с тем интенсивность обработки деталей ниже в 1,5 раза, чем в галтовках с торообразной формой галтовочной камеры.

Примеры обработки галтованием деталей из нержавеющей стали

Авторами статьи приводится пример обработки галтованием деталей из нержавеющей стали в лотковой галтовке.

Экспериментально был подобран режим обработки: частота вращения двух дебалансов – 1500 об/мин, характер движения – плоскопараллельное, объем камеры – 60 л, тип привода – асинхронный, мощность привода – 1.5 кВт, время обработки – 180 мин, галтование мокрое [6, 7, 8], оптимальным промывочным раствором является вода, степень заполнения рабочей камеры – 30%. Галтовочные тела представляли собой треугольные призмы с длиной ребра 15 мм. Внешний вид галтовочных тел представлен на рис. 3.



Рис. 3. Галтовочные тела

Отметим, что при увеличении частоты обычно уменьшается время обработки, то есть можно добиться результата за меньшее время обработки. Но при этом режим работы галтовочной машины должен находиться в околорезонансной зоне самой конструкции. Это замечание является важным, так как частота собственных колебаний конструкции машины зависит от веса обрабатываемых деталей, галтовочных тел. Система управления галтовочной машины должна иметь возможность изменения частоты вращения дебаланса.

Вид деталей после лазерной резки представлен на рис. 4-7.

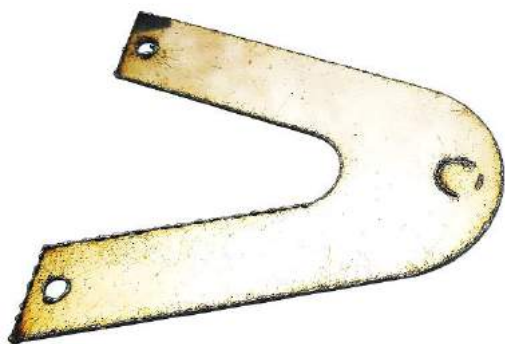


Рис. 4. Полный вид изделия после лазерной резки



Рис. 5. Оплавления по дуговой траектории реза



Рис. 6. Дефекты небольших отверстий и прямых углов



Рис. 7. Торцовая поверхность после лазерной резки

Они имеют следующие дефекты: оплавления по дуговой траектории, дефекты на небольших отверстиях, большие наплывы вдоль линии реза. В качестве недостатков следует отметить наличие острой кромки на деталях со стороны размещения режущей головки, оплавления материала с противоположной стороны и пилообразный профиль торца детали, который вызван дискретным движением приводов режущей головки. При галтовании по предлагаемой методике удастся убрать эти дефекты. На рис. 8, 9 показаны детали после обработки галтованием.



Рис. 8. Торцовая поверхность после галтования

Приведенные фотографии подтверждают эффективность данного вида обработки: исчезли большие наплывы облоя, восстановилась форма окружностей отверстий и детали приобрели равномерную по всей плоскости деталей и торцам шероховатость, что важно для внешнего вида изделия. На рис. 7 видна форма торцов детали после лазерной резки. Форма торцов после обработки галтованием показана на рис. 8. Для сравнения качества обработки поверхностей после лазерной обработки и галтования представлены совмещенные изображения деталей (рис. 9, 10).



1 – до галтования; 2 – после галтования
Рис. 9. Изделие до и после галтования



Рис. 10. Качество обработки галтованием серии изделий

Выводы

Таким образом, ввиду широкого распространения лазерной резки в металлообработке сегодня особую актуальность приобрела необходимость устранения оплавления и облоя торца детали. Предложенный авторами метод обработки, а именно галтование, обладает не-

оспоримыми преимуществами в связи с высокой автоматизацией и одновременной обработкой большого количества деталей по всей ее поверхности. Применение галтования не снижает эффективность технологической цепочки обработки деталей (проектирование, лазерная резка, гибка, галтование, покрытие, сборка). Галтование позволяет уйти от ручных слесарных операций по устранению указанных дефектов при изготовлении деталей, тем самым снижая себестоимость изделия и делая процесс изготовления деталей более технологичным и доступными для широкого круга потребителей.

Применение галтования в автомобилестроении также имеет особую актуальность. Острые кромки после штампования достаточно тяжело убрать ручным способом ввиду больших габаритов детали и небольшой толщины листа. Вибрационная обработка позволяет автоматизировать достаточно трудоемкий процесс удаления окалины и масляного загрязнения с листа перед нанесением лакокрасочного покрытия. Кроме того, регулярная создаваемая шероховатость на поверхности обеспечивает хорошее сцепление с грунтом и, как следствие, повышает коррозионную стойкость детали.

Галтовка деталей после термообработки имеет бесспорное преимущество так как правильно подобранный размер галтовочных тел позволяет одновременно обработать всю поверхность детали достаточно сложной формы. Такая сложная форма детали зачастую диктуется необходимостью снижения металлоемкости деталей автомобилей. Низкий вес деталей обеспечивает высокую экономичность при снижении общей массы автомобилей.

Авторами статьи показана целесообразность применения галтовочного оборудования для одновременной обработки большого количества деталей из нелегированной и легированной листовой стали, продемонстрированы эффективные результаты галтования деталей из нержавеющей стали в галтовке лоткового типа с указанными в статье параметрами рабочего процесса. Указанный метод позволяет удалить облой после лазерной резки и притупить острые кромки, а также обеспечить эстетический внешний вид изделия.

Литература

1. Политов И. В., Кузнецов М. А. Вибрационная обработка деталей машин и приборов. Ленинград: Лениздат, 1965. 126 с.
2. Малкин Д. Д. Теория и конструирование объемных виброобработывающих устройств. В

- кн.: Вибрационная техника в машиностроении. Львов, 1967. 278 с.
3. Альбом типовых конструкций оборудования для виброабразивной обработки (виброгалтовки) деталей. Ростов н/Д, 1967. 23 с.
 4. Карташов И. Н., Шаинский М. Е., Власов В. А. и др. Обработка деталей свободными абразивами в вибрирующих резервуарах. Киев, 1975. 188 с.
 5. Бабичев А. П., Мотренко П. Д., Костенков С. А., Рожненко О. А., Тамаркин М. А., Шумячер В. М. Инструментальное обеспечение процессов обработки деталей в гранулированных средах: монография: Донской государственный технический университет (Ростов-на-Дону), 2011. 266 с.
 6. Лавендел Э. Э., Субач А. П. Определение параметров движения контейнера и загрузки с учетом их взаимодействия при объемной вибрационной обработке. В кн.: Вопросы динамики и прочности. Рига: Зинатис. Вып. 22. Рига, 1972. С. 5-18.
 7. Бурштейн И. Е., Бабичев А. П., Картышев Б. Н. и др. Объемная вибрационная обработка. Москва: Машиностроение. 1970. 96 с.
 8. Ящерицын П. И., Мартынов А. Н. Чистовая обработка деталей в машиностроении. Минск: Высшая школа, 1983. 192 с.
 9. Муцянка В. И., Гаврилов П. А., Глаговский Б. А., Ивакин В. Д. Абразивные материалы и инструменты. Каталог-справочник. Москва: НИИ по машиностроению. 1981. 360 с.
 10. Бранспиз Е. В. Повышение эффективности виброабразивной обработки путем рационального выбора ее основных параметров: дис. ... кандидата тех. наук: 05.03.01. Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського. Київ, 2001.
 11. Калмыков М. А. Повышение эффективности процесса вибрационной обработки крупногабаритных изделий: дис... кандидата тех. наук: 05.03.01. Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського. Київ, 2005.
 12. Гончаревич И. Ф., Гончаревич И. Ф., Фролов К. В. Теория вибрационной техники и технологии. Москва: Наука. 1981. 320 с.
 13. Бабичев А. П. Отделочно-упрочняющая обработка деталей многоконтактным виброударным инструментом. Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2003. 191 с.
 3. (1967). Al'bom tipovykh konstruktсий oborudovaniya dlya vibroabrazivnoy obrabotki (vibrogaltovki) detaley. [An album of typical constructions of equipment for vibroabrasive processing (vibrating) of parts]. Rostov n/D, 23 [in Russian].
 4. Kartashov I. N., Shainskiy M. Ye., Vlasov V. A. i dr. (1975). Obrabotka detaley svobodnymi abrazivami v vibriruyushchikh rezervuarakh [Processing of parts with free abrasives in vibrating tanks]. Kiyev. 188 [in Russian].
 5. Babichev A. P., Motrenko P. D., Kostenkov S. A., Rozhnenko O. A., Tamarkin M. A., Shumyacher V. M. (2011). Instrumental'noye obespecheniye protsessov obrabotki detaley v granulirovannykh sredakh [Tool support of part processing processes in granular environments]. monografiya: Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet (Rostov-na-Donu), 266 [in Russian].
 6. Lavendel E. E., Subach A. P. (1972). Opredeleniye parametrov dvizheniya konteynera i zagruzki s uchetom ikh vzaimodeystviya pri ob'yemnoy vibratsionnoy obrabotke [Determination of the motion parameters of the container and the load, taking into account their interaction during volumetric vibration processing]. V kn.: Voprosy dinamiki i prochnosti. Riga: Zinatis. 22. Riga, 5-18 [in Russian].
 7. Burshteyn I. Ye., Babichev A. P., Kartyshev B. N. i dr. (1970). Oyemnaya vibratsionnaya obrabotka [Volumetric vibratory processing]. Moskva: Mashinostroyeniye. [in Russian].
 8. Yashcheritsyn P. I., Martynov A. N. (1983). Chistovaya obrabotka detaley v mashinostroyenii [Finishing parts in mechanical engineering]. Minsk: Vysshaya shkola [in Russian].
 9. Mutsyanko V. I., Gavrilov P. A., Glagovskiy B. A., Ivakin V. D. (1981). Abrazivnyye materialy i instrumenty. Katalog-spravochnik [Abrasive materials and tools. Directory]. Moskva: NII po mashinostroyeniyu. [in Russian].
 10. Brunspiz E.V. (2001) Povysheniye effektivnosti vibroabrazivnoy obrabotki putem ratsional'nogo vybora yeye osnovnykh parametrov [Improving the efficiency of vibroabrasive processing by rational selection of its main parameters]. dys. ... kandydata tekhn. nauk: 05.03.01 / Nats. b-ka Ukrayiny im. V. I. Vernads'koho. Kyiv, [in Russian].
 11. Kalmykov M. A. (2005). Povysheniye effektivnosti protsessa vibratsionnoy obrabotki krupnogabaritnykh izdeliy [Improving the efficiency of the vibration processing of large products]. dys... kandydata tekhn. nauk: 05.03.01. Nats. b-ka Ukrayiny im. V. I. Vernads'koho. Kyiv [in Russian].
 12. Goncharevich I. F., Goncharevich I. F., Frolov K. V. (1981). Teoriya vibratsionnoy tekhniki i tekhnologii [Theory of vibration tech-

References

1. Politov I. V., Kuznetsov M. A. (1965). Vibratsionnaya obrabotka detaley mashin i priborov. [Vibration processing of machine parts and devices]. Leningrad: Lenizdat. [in Russian].
2. Malkin D. D. (1967) Teoriya i konstruirovaniye obyemnykh vibroobratyvyayushchikh ustroystv. [Theory and design of volumetric vibration processing devices]. V kn.: Vibratsionnaya tekhnika v mashinostroye-nii. L'vov. 278. [in Russian].

nique and technology]. Moskva: Nauka. [in Russian].

13. Babichev A. P. (2003). Otdelochno-uprochnayushchaya obrabotka detaley mnogokontaktnym vibroudarnym instrumentom [Finishing and hardening of parts with multi-contact vibro-impact tools]. Rostov-na-Donu: DGTU. [in Russian].

Богдан Дмитрий Иванович¹, к.т.н., доц. каф. ДМ и ТММ, тел. +38 099-334-30-00, phd.bogdan@gmail.com,

Коряк Александр Алексеевич¹, к.т.н., доц. каф. ДМ и ТММ, тел. +38063475-67-85, alexanderalexkor@gmail.com,

Егоров Павел Анатолієвич¹, к.т.н., доц. каф. ДМ и ТММ, тел. +38066225-33-51, egorovpa@online.ua,

Шарапата Андрей Сергеевич¹, к.т.н., доц. каф. ДМ и ТММ, тел. +38 097-273-10-70, shandreysh@gmail.com,

Вельможная Юлия Леонидовна¹, студентка, тел. +38 068-314-33-81, velmozhnaya.yulya@gmail.com

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

Використання галтування після лазерної різання для підготовки поверхонь деталей до нанесення декоративного покриттів

Анотація. Запропоновано методику галтування для масової і продуктивної обробки деталей з метою усунення дефектів після виконання операцій лазерного різання. Виконано: аналіз послідовності технологічних операцій, оцінка виробничо-технологічне можливостей вібраційних верстатів і досвіду їх експлуатації. Підібрана конструкція устаткування і його оптимальні режими роботи, число тих, хто вагається мас, вид і характер руху робочої камери, форма і обсяг робочої камери, характеристики пружних зв'язків, тип приводу і його характеристики, форма і грануляція галтувальних тіл, промивні розчини і ступінь заповнення робочої камери. Продемонстровані результати до і після зазначеного виду обробки. На малюнках наведені основні дефекти, що виникають при лазерному способі різання заготовок і результати їх усунення після використання запропонованої методики. Виконано аналіз і оцінка використання запропонованої методикою обробки конкретної серії деталей з точки зору технологічної та економічної ефективності, якості обробки, рівня механізації, автоматизації та продуктивності праці. Авторами виявлені можливості і області застосування галтовочного обладнання. Запропонована методика дозволяє: очистити деталі від нагару, накіпу, забруднень, мастила, абразив, стружки і пилу; усунути оплавлення

торцевих поверхонь; притупити, закруглити і полірувати гострі кромки; видалити облой, усунути недорези отворів і пилкоподібний профіль торця деталі; вирівняти і знизити шорсткість по всій деталі; підвищити ефективність, рівномірність і якість обробки; збільшити число одночасно оброблюваних деталей; знизити собівартість виробу; заощадити на допоміжних матеріалах і інструменті, підвищити технологічність виготовлення, рівень механізації і автоматизації обробки; підвищити доступність виробу для споживача. Крім того, вібраційний і ударний характер впливу безлічі галтувальних тіл на оброблювані деталі дозволяє підвищити мікротвердість, сформувані сприятливі стискають залишкові напруги в поверхневому шарі, підвищити зносостійкість і втомну міцність виробу.

Ключові слова: галтування; мікроудар; вібрація. окалина; облой; грат; корозія; задирки; наклеп; мийка; очищення; нагар; шорсткість; зносостійкість; листовий матеріал; лазерна різка; притуплення кромки.

Богдан Дмитро Іванович¹, к.т.н., доц. каф. ДМ і ТММ, тел. +38 099-334-30-00, phd.bogdan@gmail.com,

Коряк Олександр Олексійович¹, к.т.н., доц. каф. ДМ і ТММ, тел. + 38063475-67-85, alexanderalexkor@gmail.com,

Егоров Павло Анатолієвич¹, к.т.н., доц. каф. ДМ і ТММ, тел. + 38066225-33-51, egorovpa@online.ua,

Шарапата Андрій Сергійович¹, к.т.н., доц. каф. ДМ і ТММ, тел. +38 097-273-10-70, shandreysh@gmail.com,

Вельможна Юлія Леонідівна¹, студентка, тел. +38 068-314-33-81, velmozhna-ya.yulya@gmail.com

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Using tumbling after laser cutting to prepare the detail surfaces for applying decorative coatings

Annotation. A tumbling technique is proposed for mass and productive machining of parts in order to eliminate defects after performing laser cutting operations. Completed: analysis of the sequence of technological operations, evaluation of production and technological possibilities of vibrating machines and experience of their operation. The design of the equipment and its optimal modes of operation, the number of oscillating masses, the type and nature of movement of the working chamber, the shape and volume of the working chamber, the characteristics of elastic connections, the type of drive and its characteristics, the shape and granulation of tumbling bodies, washing solutions and the degree of filling of the working chamber were selected. Results are shown before and after the specified type of

treatment. The figures show the main defects arising in the laser method of cutting blanks and the results of their elimination after using the proposed technique. The analysis and evaluation of the use of the proposed method of processing a specific series of parts in terms of technological and economic efficiency, quality of processing, level of mechanization, automation and productivity of labor has been carried out. The authors identified the possibilities and areas of use of tumbling equipment. The proposed method enables to: clean the parts from carbon deposits, scale, dirt, grease, abrasive, chips and dust; eliminate the melting of the end surfaces; blunt, round and polish the sharp edges; remove burr, eliminate undercutting of holes and sawtooth profile of the part butt; align and reduce roughness throughout the part; improve the efficiency, uniformity and quality of processing; increase the number of simultaneously processed parts; reduce the cost of the product; save on auxiliary materials and tools, improve manufacturability, level of mechanization and automation of processing; increase product availability to the consumer. In addition, the vibration and impact nature of the effect of a multitude of tumbling bodies on the workpieces makes possible to increase the microhardness, to

form favorable compressive residual stresses in the surface layer, to increase the wear resistance and fatigue strength of the product.

Keywords: tumbling; micro shock; vibration. scale; rip-off; burr; corrosion; burrs; work hardening; washing; cleaning; soot; roughness; wear resistance; sheet material; laser cutting; edge blunting.

Bogdan Dmitry Ivanovich¹, Ph.D., Assoc. Prof. MP and TMM Department, tel. +38 099-334-30-00, phd.bogdan@gmail.com,

Koryak Alexander Alekseevich¹, Ph.D., Assoc. Prof. MP and TMM Department, tel. + 38063475-67-85, alexander-alexkor@gmail.com,

Egorov Pavel Anatolievich¹, Ph.D., Assoc. Prof. MP and TMM Department, tel. + 38066225-33-51, egorovpa@online.ua,

Sharapata Andrei Sergeevich¹, Ph.D., Assoc. Prof. MP and TMM Department, tel. +38 097-273-10-70, shandreysh@gmail.com,

Vel'mozhnaya Yuliya Leonidovna¹, student, tel. +38 068-314-33-81, velmozhnaya.yulya@gmail.com
¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.