

**DOI: 10.30977/VEIT.2020.17.0**

**ISSN: 2226-9266**



# **АВТОМОБІЛЬ І ЕЛЕКТРОНІКА СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ**



**ЕЛЕКТРОННЕ НАУКОВЕ  
СПЕЦІАЛІЗОВАНЕ  
ВИДАННЯ**

**ВИПУСК**

**17**

**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)

**17/2020**

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

ISSN: 2226-9266

DOI: 10.30977/VEIT.2019.17.0

Харків 2020

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

**ISSN:** 2226-9266

**DOI:** 10.30977/VEIT.2019.17.0

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](mailto:ae.hnadu@gmail.com)

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

## ЗМІСТ

<b>Хрулев А. Э.</b> Моделирование повреждения шатуна при поступлении жидкости в цилиндр ДВС.....	5
<b>Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Гнатова Г. А., Тарасов К. С.</b> Сонячна зарядна електростанція – комплекс для проведення лабораторних та практичних занять.....	19
<b>Рубан Д. П.</b> Вимірвальний комплекс деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах.....	27
<b>Птиця Г. Г., Абрамова Л. С.</b> Аналіз підходів до реалізації системи управління безпекою дорожнього руху в Україні.....	33
<b>Серіков Г. С., Серікова І. О., Смирнов О. П., Борисенко А. О.</b> Аналіз функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в інформаційних системах транспортних засобів.....	42
<b>Кравченко Р. В., Богдан Д. И., Поваляев С. И.</b> Сравнение нагрузочной способности головок винта в зависимости от формы паза.....	48
<b>Симбірський Г. Д.</b> Інформаційна технологія дистанційного примусового обмеження швидкості транспортних засобів для підвищення безпеки дорожнього руху.....	54
<b>Серіков Г. С., Серікова І. О., Смирнов О. П., Борисенко А. О.</b> Інформаційні контрольні-діагностичні системи сучасних транспортних засобів.....	62
<b>Александров Е. Е., Александрова Т. Е., Костяник И. В., Моргун Я. Ю.</b> Параметрический синтез цифровой системы курсовой устойчивости автомобиля.....	69
<b>Кривошапов С. І.</b> Расходомер топлива на базе микроконтроллера AVR Microchip (ATMEL) .....	77
<b>Далека В. Х., Будниченко В. Б., Дзюбенко О. А.</b> Оцінка енергетичних показників електроприводу компресора електричного транспорту.....	85

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ШАТУНА ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ЖИДКОСТИ В ЦИЛИНДР ДВС

Хрулев А. Э.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Международное моторное бюро

**Аннотация.** Рассмотрены закономерности деформации стержня шатуна в процессе сжатия воздуха с жидкостью в цилиндре ДВС. Выполнено моделирование процесса сжатия с жидкостью, получена зависимость давления в цилиндре и деформации шатуна от степени заполнения камеры сгорания жидкостью. Проведено численное интегрирование системы дифференциальных уравнений, описывающих изменение давления и температуры воздуха с жидкостью в цилиндре по углу поворота коленчатого вала, определена зависимость максимального давления в цилиндре и деформации шатуна от заполнения камеры сгорания жидкостью. Для найденных деформаций выполнено моделирование осевого сжатия стержня шатуна с помощью метода конечных элементов, определены форма стержня и напряжения, установлена зависимость продольного изгиба от осевого сжатия стержня. Результаты моделирования сопоставлены с экспериментальными данными по повреждению шатунов в эксплуатации ДВС, а также с результатами расчетов напряжений с помощью классических методов, обоснована возможность практического применения моделирования повреждений при исследовании причин неисправности двигателей.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, шатун, гидроудар, устойчивость, деформация.

### Вступление

Практика эксплуатации двигателей внутреннего сгорания различных типов транспортных средств показывает, что при определенных условиях в цилиндр ДВС могут попадать различные жидкости – вода, моторное масло, топливо, охлаждающая жидкость [1,2]. Это вызывает явление, получившее название "гидроудар", при котором в цилиндре на такте сжатия за счет замещения части воздуха несжимаемой жидкостью резко возрастает давление, что нередко вызывает повреждения деталей шатунно-поршневой группы (рис.1).

### Анализ публикаций

Поскольку гидроудар одного из перечисленных видов не является редкостью в эксплуатации транспортных средств, исследования признаков, причин и причинно-следственных связей данного явления оказываются достаточно актуальными для практики [3,4]. Однако несмотря на достаточно многочисленные упоминания гидроудара в источниках информации [5,6], описание гидроудара часто ограничивается только кратким упоминанием некоторых его признаков, да и то, в большинстве случаев, неполным, в то время как никаких количественных оценок или характеристик этого явления не приводится.

Кроме того, исследования деформации шатуна, включая случаи потери устойчивости при осевом сжатии [7,8], обычно ограничены только деформацией и не затрагивают в деталях механизма, ее вызывающего [9,10].

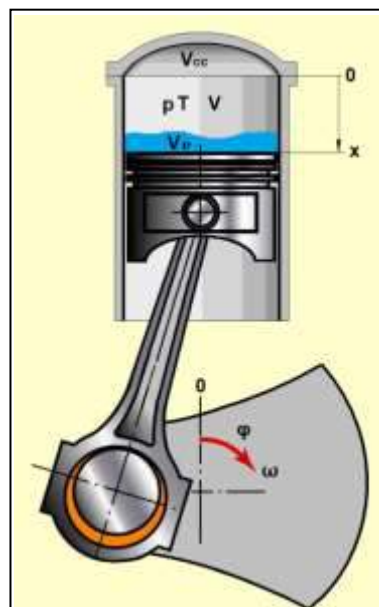


Рис. 1. Схема сжатия воздуха с несжимаемой жидкостью в цилиндре при гидроударе

В результате при исследовании причины неисправности, вызванной гидроударом, не удастся выявить многие особенности этого

явления. Это приводит к тому, что не удается выявить необходимые причинно-следственные связи признаков повреждения данного вида с тем или иным производственным дефектом или эксплуатационным повреждением.

#### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является исследование закономерностей гидроудара в цилиндре ДВС с целью выявления количественных характеристик этого явления.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать расчетную модель и определить влияние количества жидкости на давление воздуха при сжатии в цилиндре. Далее следует выполнить моделирование деформации деталей под действием давления, чтобы связать ее с количеством поступившей в цилиндр жидкости.

#### Изложение основного материала

Исследование гидроудара целесообразно начинать с определения влияния жидкости на параметры воздуха в цилиндре, для чего следует описать процесс сжатия при условии замещения части объема воздуха жидкостью.

#### Математическая модель сжатия воздуха с жидкостью

Для решения задачи необходимо принять упрощающие допущения, которые позволят составить расчетные соответствующие уравнения, но, в то же время, не окажут заметного влияния на результат.

В соответствии с этим были сделаны следующие упрощающие допущения:

- 1) жидкость в цилиндре несжимаема,
- 2) температура и свойства жидкости принимаются неизменными и одинаковыми по всему ее объему и не зависят от температуры и давления воздуха,
- 3) жидкость не подвергается испарению, конденсации, химическим реакциям и иным видам преобразования,
- 4) воспламенение и горение топлива исключаются. Действительно, в ДВС с искровым зажиганием любая жидкость шунтирует искровой промежуток свечи зажигания и препятствует искровому разряду. В дизеле рассматриваемые жидкости могут либо также препятствовать воспламенению топлива, либо делать горение неустойчивым,
- 5) утечки воздуха и жидкости из цилиндра через неплотности в поршневых кольцах и клапанах не учитываются,

б) мгновенные параметры воздуха в цилиндре по объему одинаковы, их изменение по углу поворота коленчатого вала происходит квазистационарно,

7) коленчатый вал тяжелый и/или его инерция при вращении очень велика, поэтому скорость вращения коленчатого вала постоянна и от попадания в цилиндр жидкости не зависит.

Текущий объем воздуха в цилиндре [11]:

$$V = x \frac{\pi}{4} D^2 + V_c (1 - \varepsilon), \quad (1)$$

где  $x$  – текущая координата днища поршня, отсчитываемая от верхней мертвой точки;

$D$  – диаметр цилиндра;

$V_c$  – объем камеры сгорания;

$\varepsilon = \frac{V_v}{V_c}$  – относительный объем жидкости

(по отношению к объему камеры), или коэффициент заполнения камеры сгорания жидкостью.

Выражение (1) можно преобразовать к виду:

$$V = V_h \left( \frac{x}{S} + \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon_c - 1} \right) = V_h A_\phi, \quad (2)$$

где  $A_\phi$  – коэффициент:

$$A_\phi = \frac{x}{S} + \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon_c - 1}, \quad (3)$$

$V_h = S \frac{\pi}{4} D^2$  – рабочий объем цилиндра;

$S$  – ход поршня, а относительная координата поршня находится по формуле [12]:

$$\frac{x}{S} = \frac{1}{2} \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_c}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right], \quad (4)$$

где  $\lambda_c = \frac{r}{L_c}$  – относительное удлинение шатуна;

$r = \frac{S}{2}$  – радиус кривошипа.

Коэффициент  $A_\phi$  после подстановки формулы (4) в выражение (3) можно получить в виде:

$$A_\varphi = \frac{1}{2} \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda_c}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] - \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon_c - 1} \cdot (5)$$

Согласно 1-му закону термодинамики применительно к рассматриваемому процессу сжатия в цилиндре [13], изменение внутренней энергии воздуха  $dU$  в течение времени процесса  $d\tau$  при производстве над воздухом работы  $dA$  и отбора от него теплоты  $Q_w$  можно представить в виде:

$$dU = dA - Q_w d\tau. \quad (6)$$

Уравнение (6) можно переписать в виде:

$$mC_p dT = -pdV - a_w F_w (T - T_w) d\tau, \quad (7)$$

где  $dA = -pdV$  – термодинамическая работа;

$Q_w = a_w F_w (T - T_w)$  – количество теплоты, отводимой от воздуха в стенки;

$F_w = \pi D(0,5D + x)$  – площадь стенок цилиндра;

$dU = mC_p dT$  – изменение внутренней энергии в процессе;

$C_p$  – теплоемкость воздуха,  $m$  – масса воздуха в цилиндре (при сжатии не изменяется, поскольку утечек из цилиндра нет);

$a_w$  – коэффициент теплоотдачи, который может быть рассчитан по формуле Вошни [13,14]:

$$a_w = 130 \frac{(p \cdot 10^{-5})^{0,8} \omega_m^{0,8}}{T^{0,53} D^{0,2}},$$

где  $\omega_m = 2,28 \cdot C_m$ ,  $C_m = \frac{S \cdot n}{30}$  – средняя скорость поршня.

Изменение объема  $dV$  можно получить из (2) и (4):

$$dV = V_h B_\varphi d\varphi, \quad (8)$$

где коэффициент  $B_\varphi$ :

$$B_\varphi = \frac{1}{2} (\sin \varphi + \lambda_c \sin 2\varphi). \quad (9)$$

Тогда уравнение (7) с помощью выражения (8) и с учетом того, что  $\varphi = \omega \cdot \tau$ , где  $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$  – угловая скорость коленвала,  $n$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>, можно переписать в виде:

$$\frac{dT}{d\varphi} = -T \frac{RB_\varphi}{C_p A_\varphi} - \frac{30 \cdot a_w F_w}{\pi \cdot n \cdot m \cdot C_p} (T - T_w). \quad (10)$$

Уравнение состояния:

$$pV = mRT, \quad (11)$$

где  $R$  – газовая постоянная воздуха, при его дифференцировании по углу поворота коленвала дает:

$$\frac{dp}{d\varphi} = m \frac{R}{V} \frac{dT}{d\varphi} - \frac{R}{V} \frac{dV}{d\varphi}. \quad (12)$$

Подставляя в уравнение (12) выражение (10) для  $\frac{dT}{d\varphi}$ , получим:

$$\frac{dp}{d\varphi} = -p \frac{B_\varphi}{A_\varphi} \left( 1 + \frac{R}{C_p} \right) - \frac{30 \cdot a_w F_w R}{\pi \cdot n \cdot m \cdot C_p A_\varphi} (T - T_w). \quad (13)$$

Система уравнений (10) и (13) для удобства может быть представлена в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\varphi} &= -T\gamma\psi, \\ \frac{dp}{d\varphi} &= -p\gamma \left( \psi + \frac{C_p}{R} \right), \end{aligned} \quad (14)$$

где коэффициенты:

$$\begin{aligned} \psi &= 1 + \frac{30 \cdot a_w F_w R}{\pi \cdot n \cdot m \cdot C_p A_\varphi} (T - T_w), \\ \gamma &= \frac{RB_\varphi}{C_p A_\varphi}, \end{aligned}$$

а коэффициенты  $A_\varphi$  и  $B_\varphi$  находятся по формулам (5) и (9) соответственно.

Система уравнений (14) решается численно с начальными условиями, решение

представляет собой значения давления и температуры в функции угла поворота коленчатого вала. Это можно сделать путем численного интегрирования уравнений (14), для чего необходимо задать начальные значения температуры и давления воздуха в цилиндре, соответствующие моменту закрытия впускных клапанов.

#### Определение начальных условий задачи

Найти начальные значения давления и температуры в момент закрытия впускных клапанов нетрудно с помощью стандартных программ расчета рабочего цикла ДВС.

Для выполнения расчета начальных условий, помимо задания геометрии двигателя и его режима работы (частота вращения) необходимо задавать температуру стенок цилиндра  $T_w$ , поскольку она входит в систему уравнений (14). Однако главная трудность состоит в определении влияния жидкости на процесс впуска.

Действительно, если рассматривать детально весь процесс поступления жидкости в цилиндр на такте впуска, задача будет значительно усложнена. Но поскольку речь идет о приближенной модели, можно дополнительно сделать упрощающее допущение о том, что объем поступившей жидкости мал по сравнению с объемом цилиндра (что вполне допустимо с ошибкой, составляющей не более отношения объема камеры сгорания к объему цилиндра, т.е. около 10%). В таком случае жидкость, попавшая в цилиндр на такте впуска, не будет оказывать влияния на температуру и давление воздуха в цилиндре в этот период. В результате можно сформулировать следующее начальное условие: во время впуска жидкости в цилиндре не было, и впуск проходил в обычном режиме, а жидкость появилась прямо в цилиндре непосредственно в момент окончания впуска, просто заменив часть воздуха в цилиндре.

Характерно, что такое допущение практически полностью соответствует действительным условиям работы ДВС при гидроударе, потому что цикл, предшествующий попаданию жидкости в цилиндр, ничем не отличается от нормального и фактически определяет начальные условия для последующего гидроудара.

Для расчета начальных значений, необходимых для моделирования гидроудара, была использована программа Lotus Engine Simulation [11] в упрощенной версии 1-цилиндровой

версии [15]. Программа позволяет рассчитать мгновенные параметры термодинамического цикла ДВС, т.е. средние по объему давления и температуры в цилиндре в функции угла поворота коленчатого вала.

При расчете были заданы тип ДВС – бензиновый с искровым зажиганием, размерность двигателя 83x80 мм, степень сжатия 9,0, закрытие впускных клапанов  $40^\circ$  после нижней мертвой точки, температура стенок 390K и другие параметры (рис. 2).

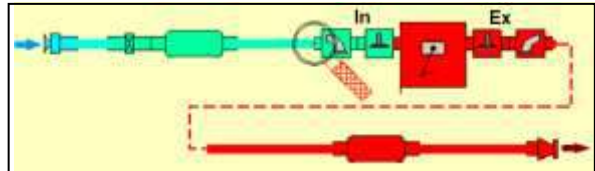


Рис. 2. Схема 1-цилиндровой геометрической модели двигателя в программе Lotus Engine Simulation

Расчет цикла проводился с учетом теплообмена со стенками, что было обеспечено заданием в программе соответствующих коэффициентов теплоотдачи (программа учитывает теплообмен газа со стенками камеры сгорания и поршня, а также потери тепла в охлаждающую жидкость).

На рис. 3 представлены расчетные диаграммы давления и температуры в цилиндре на режимах от 1000 до 6000 об/мин.

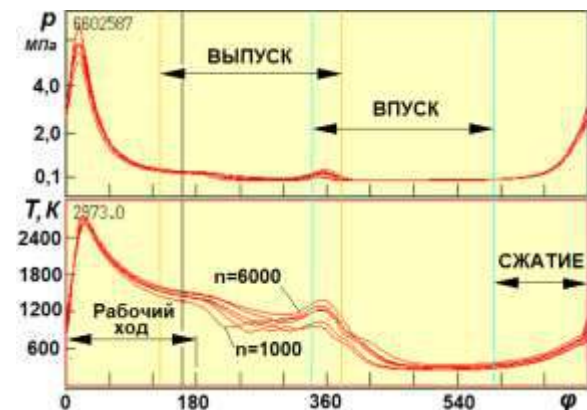


Рис. 3. Расчетный характер изменения давления  $p$  и температуры  $T$  в цилиндре ДВС по углу поворота  $\varphi$  коленчатого вала

Эти данные позволили установить начальные значения давления и температуры, соответствующие моменту закрытия впускных клапанов, необходимые для последующего моделирования гидроудара путем расчета такта сжатия при наличии жидкости. В част-



ности, для режима  $n = 3000$  об/мин были получены следующие начальные параметры воздуха в цилиндре  $p_0 = 1,23$  бар,  $T_0 = 363$ К при  $\varphi = 2200$ .

#### Расчет процесса сжатия в цилиндре с жидкостью

Решение задачи о сжатии воздуха с жидкостью в цилиндре выполняется путем численного интегрирования системы уравнений (14) с рассчитанными начальными условиями в диапазоне углов поворота коленчатого вала от момента закрытия впускных клапанов ( $\varphi = 220^\circ$ ) до верхней мертвой точки. Расчет был выполнен для различных значений коэффициента заполнения камеры сгорания жидкостью  $\epsilon_v$  (рис. 4).

Заданные значения  $\epsilon_v = 0-1,2$  позволили получить изменение давления в цилиндре в широком диапазоне состояний - от сжатия чистого воздуха без жидкости до сжатия воздуха с жидкостью, объем которой на 20 % превышает объем камеры сгорания.

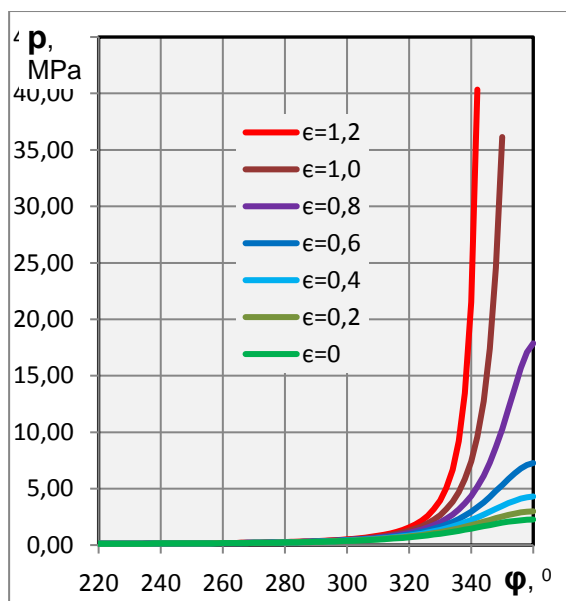


Рис. 4. Влияние коэффициента заполнения камеры на изменение давления в цилиндре по углу поворота коленвала ( $n=3000$  об/мин)

Результаты расчета показывают, что давление в цилиндре начинает возрастать по сравнению с обычным сжатием без жидкости только за  $50-60^\circ$  до верхней мертвой точки. Однако резкий рост давления при большом заполнении происходит в заключительной фазе сжатия примерно за  $10-15^\circ$  до ВМТ, когда при

большом заполнении камеры сгорания жидкостью давление может возрасти в десятки или даже в сотни раз.

Понятно, что такой значительный рост давления, обусловленный наличием большого количества жидкости в цилиндре, может вызвать повреждения деталей, однако одних только данных по давлению недостаточно – для того, чтобы определить граничное значение коэффициента заполнения, при котором начинаются повреждения, необходимо связать полученные результаты с прочностью деталей ДВС.

#### Воздействие давления в цилиндре на стержень шатуна

Как будет происходить сжатие шатуна при значительном росте давления в цилиндре, легко рассчитать. Так, если для рассматриваемого процесса пренебречь действующими на шатун силами инерции (что вполне справедливо, если коэффициент заполнения заметно выше нуля, а частота вращения коленвала небольшая), то сила осевого сжатия шатуна определяется давлением в цилиндре  $p$  и равна:

$$R = (p - p_0)F,$$

где  $F = \frac{\pi}{4}D^2$  – площадь поршня,  $p_0$  – давление в картере (в 1-м приближении можно принять равным давлению окружающей среды).

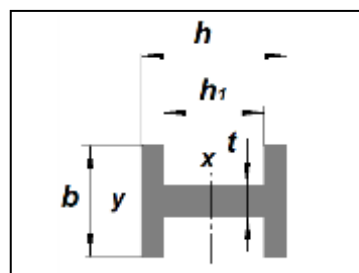


Рис. 5. Сечение стержня шатуна:  $h$  – ширина профиля стержня,  $b$  – толщина профиля,  $x, y$  – оси инерции

Сила сжатия воспринимается поперечным сечением стержня шатуна (рис. 9) с площадью:

$$A = (h - h_1)b + h_1t.$$

Тогда, очевидно, напряжение сжатия в стержне:

$$\sigma = \frac{R}{A} = (p - p_0) \frac{F}{A}. \quad (15)$$

Силу и напряжение сжатия легко получить из результатов расчета давления в цилиндре. С другой стороны, как это следует из теории [16,17], с ростом осевой нагрузки на стержень, при превышении напряжением сжатия  $\sigma$  в материале стержня некоего критического значения  $\sigma_{cr}$ , наступает потеря устойчивости.

Критическое значение напряжения  $\sigma_{cr}$  зависит от гибкости стержня:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i}, \quad (16)$$

где  $l$  – длина стержня;

$\mu$  – коэффициент приведения длины [16,18];

$i$  – радиус инерции поперечного сечения стержня:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}},$$

а моменты инерции [19] по осям  $x$  и  $y$  (рис. 5):

$$I_x = 0,0833 [bh^3 - (b-t)h_1^3]$$

$$I_y = 0,0833 [(h-h_1)b^3 + h_1t^3]$$

Для деформации в направлении вдоль оси коленвала стержень на краях можно считать зажатым, если пренебречь зазорами и люфтами деталей шатунно-поршневой группы. Тогда для него  $\mu_y = 1/2$ . В то же время в плоскости качания шатуна стержень имеет шарнирное крепление (шатун имеет возможность свободного вращения в кривошипной и поршневой головках), для таких условий  $\mu_x = 1$  [16].

Теперь, имея размеры стержня, легко рассчитать его гибкость. В качестве примера можно рассмотреть стержень шатуна с размерами, типичными для бензиновых ДВС:  $l = 100$  мм,  $h = 20$  мм,  $h_1 = 14$  мм,  $b = 12$  мм,  $t = 4$  мм. Тогда по формуле (16) значения

гибкости:  $\lambda_x = 14,4$ ;  $\lambda_y = 18,4$ . Отсюда следует, что при данных размерах гибкость в направлении оси коленвала больше, и именно в этом направлении нужно ожидать деформацию стержня при потере устойчивости.

Согласно [16], учесть влияние гибкости стержня на критическое напряжение можно с помощью коэффициента снижения допускаемого напряжения  $\varphi_\sigma$ , т.е.:

$$\sigma_{cr} = \sigma_t \varphi_\sigma,$$

где  $\sigma_t$  – предел текучести материала шатуна.

Известно, что для шатунов ДВС данного типа нередко применяются хромоникелевые стали, для которых ориентировочно при указанных выше значениях гибкости  $\varphi_\sigma = 0,96$ , а при термообработке до твердости НВ 280-320 предел текучести составляет около 785 МПа [20]. В соответствии с этим критическое напряжение при сжатии для шатуна из такой стали, при котором следует ожидать потери устойчивости стержня, приблизительно на 4 % ниже (около 760 МПа).

#### **Влияние количества поступившей в цилиндр жидкости на деформацию шатуна**

Для практики определения причин неисправностей ДВС вопрос о том, сколько жидкости необходимо, чтобы вызвать ту или иную деформацию шатуна, может иметь принципиальное значение.

Если пересчитать кривые, приведенные на рис.4, отложив по оси ординат не давление в цилиндре, а удельную, т.е. на единицу площади поперечного сечения, силу сжатия в стержне шатуна от силы давления на поршень соответствующего диаметра, то можно получить зависимость этой силы от положения коленчатого вала при различных значениях степени заполнения камеры жидкостью (рис.6). Удельная сила по величине может быть равна или близка к величине напряжения в стержне.

Очевидно, следует ожидать, что стержень шатуна получит остаточную деформацию только тогда, когда напряжения в стержне превысят критическое, вызывающее потерю устойчивости.

Тогда из графика (рис.6) прямо следует, что исследуемое явление, называемое гидроударом и сопровождаемое остаточной деформацией шатуна от потери устойчивости,

возникает не с произвольным количеством жидкости в цилиндре, а только с вполне определенным, превышающим 80%.

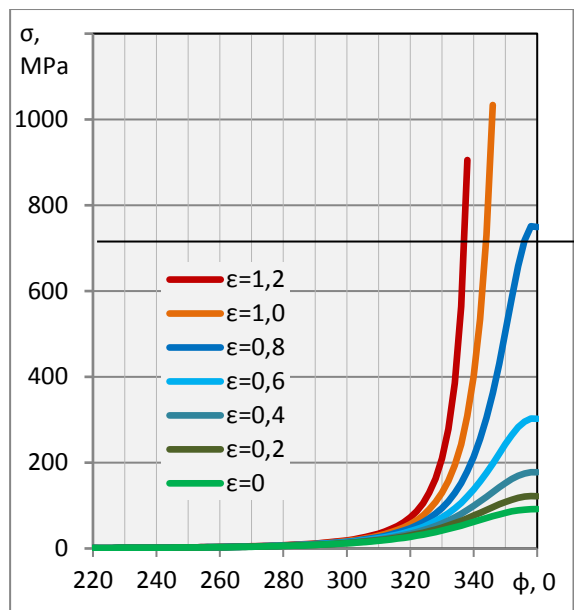


Рис. 6. Изменение напряжений сжатия в стержне шатуна по углу поворота коленчатого вала в зависимости от коэффициента заполнения

Так, верхняя часть диаграммы выше значения напряжения 760 МПа и с заполнением жидкостью более 80% соответствует области потери стержнем шатуна устойчивости ( $n=3000$  об/мин).

Влияние количества жидкости в цилиндре на деформацию шатуна можно наглядно представить, если для заданного заполнения камеры жидкостью рассчитать координату поршня, соответствующую потере устойчивости стержня при достижении напряжения сжатия значения 760 МПа.

Если приближенно допустить, что после потери устойчивости стержень не имеет остаточной упругости, то на основании зависимости (рис.6) может быть получена достаточно простая зависимость осевой деформации стержня от заполнения камеры жидкостью (рис.7).

Полученные результаты могут дать понимание причин повреждения многих двигателей на практике. Однако учитывая тот факт, что данные, рассчитанные простыми классическими методами, могут отличаться от реальной картины, иногда даже значительно, целесообразно провести сравнение этих данных с результатами, которые дают другие методы.

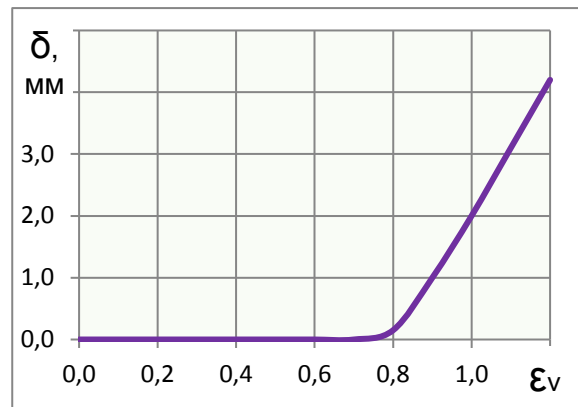


Рис. 7. Зависимость осевой деформации стержня шатуна от степени заполнения камеры сгорания жидкостью

Кроме того, классическая теория не дает информации о форме стержня, которая в ряде практических случаев может быть ключом к пониманию причины и особенностей повреждения данного вида.

#### Расчет напряжений и деформаций шатуна при гидроударе с помощью метода конечных элементов

Чтобы проверить полученные результаты, исключить возможную погрешность, а также исследовать форму стержня, было выполнено моделирование потери устойчивости стержня шатуна с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

Обычно при моделировании шатуна принято создавать его математическую модель как можно ближе к физической [7,8]. Однако для рассматриваемой задачи решение было упрощено и ограничено стержнем простой формы. Такое упрощение в целом соответствует цели работы, поскольку, в отличие от задач проектирования, при исследовании необходимо выявить закономерности повреждения, а не слабые сечения конкретной конструкции шатуна. Тем более, что деформации с последующим разрушением шатуна в случае гидроудара происходят именно по стержню ближе к его средней части [1,3].

Учитывая это, при решении задачи было сделано допущение о том, что при правильной постановке граничных условий для стержня можно избежать детальной прорисовки формы головок шатуна и с некоторой степенью приближения рассматривать только сам стержень.

Для моделирования был взят тот же стержень с тем же профилем (рис. 5), для которого

выше были получены предварительные данные по потере устойчивости. В общем случае на краях стержня необходимо поставить соответствующие граничные условия – шарнирно опертые головки и возможность осевого перемещения верхней части стержня (рис. 8).

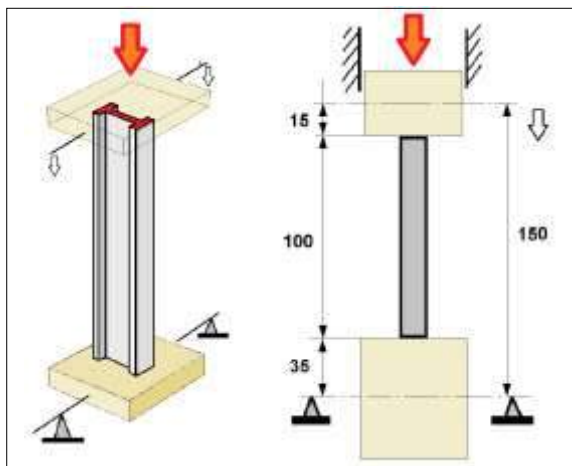
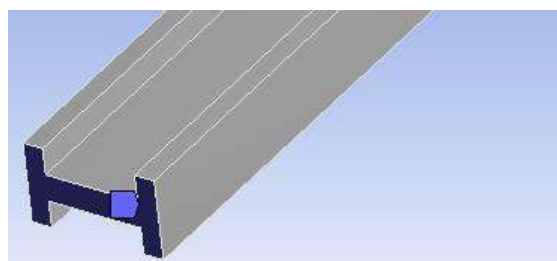
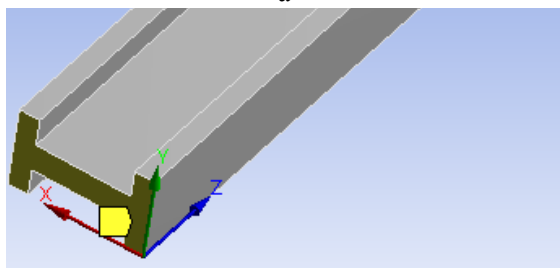


Рис. 8. Исходная расчетная схема задачи по моделированию потери устойчивости стержня шатуна



а



б

Рис. 9. Граничные условия, заданные при моделировании: а – со стороны кривошипной головки; б – со стороны поршневой головки

Однако в связи с тем, что деформация стержня заданного профиля ожидалась только в направлении по оси головок, задача была упрощена до жесткой заделки стержня со стороны кривошипной головки, а со стороны поршневой головки обеспечена возможность осевого перемещения, т.е. перемещение вдоль оси  $X$  и  $Y$  равны 0, перемещение вдоль оси

$Z$  свободное, вращение относительно  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  равно 0 (рис. 9).

Анализ потери устойчивости был выполнен с помощью программного комплекса ANSYS в версии R18.0 Student [21] в несколько этапов [22].

На первом этапе выполнялось разбиение стержня на конечные элементы. Всего было выделено 204 элемента в сечении стержня при его длине в 133 элемента (рис.10), что составило 27.132 элементов и позволило уложиться в ограничение используемой версии программы (32.000 элементов [21]).

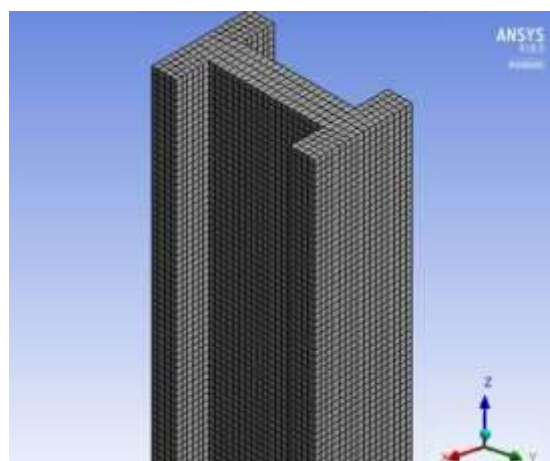


Рис. 10. Математическая модель стержня (конечно-элементная сетка)

Далее определялась форма стержня при потере устойчивости, для этого решалась статическая задача (расчетный модуль Static Structural), где в качестве нагрузки была задана единичная сила ( $F$ ).

После решение статической задачи выполнялся анализ линейной потери устойчивости (Eigenvalue Buckling), и определялась форма стержня, соответствующая потере устойчивости (рис. 11).

По результатам расчета потери устойчивости был создан входной файл с результатами анализа (форма потери устойчивости), который далее был передан в программу ANSYS Mechanical APDL.

Затем выполнялось преобразование конечно-элементной сетки (рис. 10) для выбранной формы потери устойчивости с помощью расчетного модуля Finite Element Modeler.

После этого проводился нелинейный анализ потери устойчивости в Static Structural, в том числе, определялась критическая сила. Общая схема расчета представлена на рис. 12.

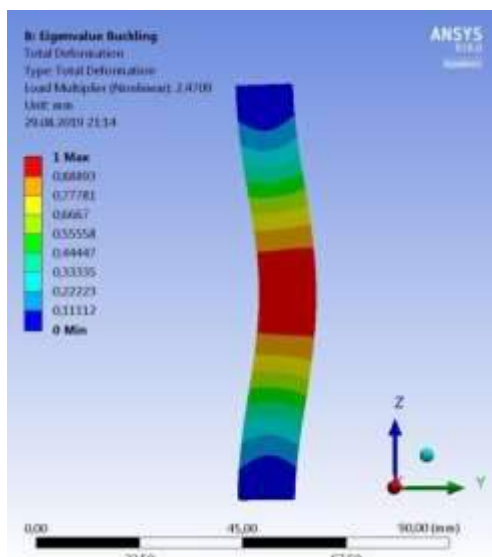


Рис. 11. Форма потери устойчивости, полученная с помощью модуля Eigenvalue Buckling программного комплекса ANSYS R18.0 Student

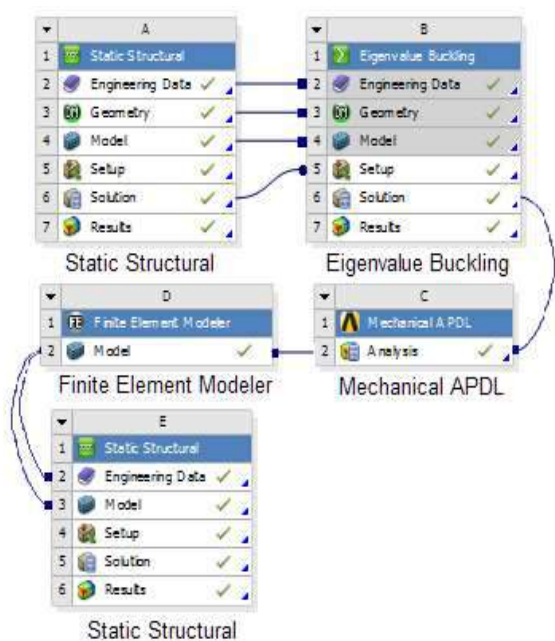
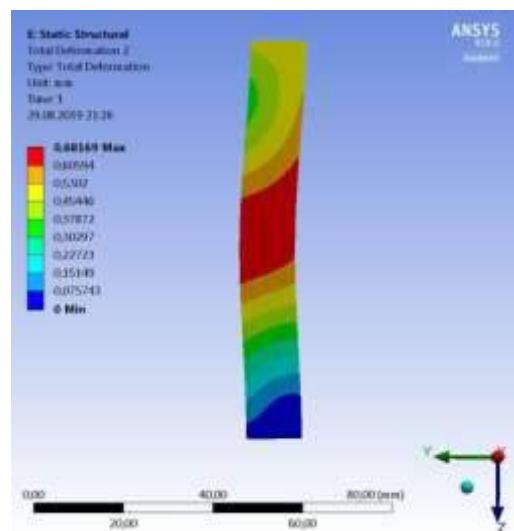


Рис. 12. Схема расчета потери устойчивости

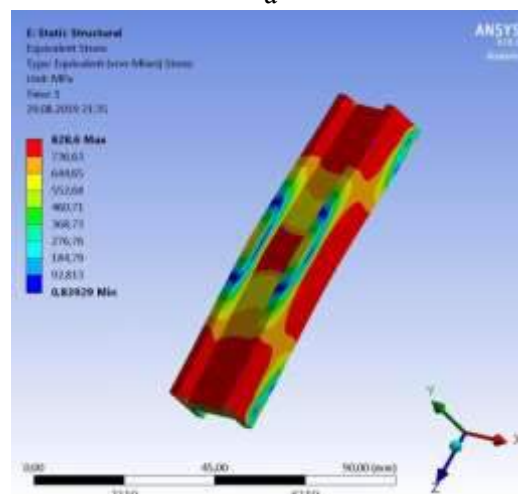
После того, как общий порядок моделирования определен, для расчетов последовательно задавались величины осевого сжатия стержня, моделирующие деформацию при гидроударе, в диапазоне от 0 до 5 мм с шагом 0,5 мм.

Для каждого значения заданного осевого сжатия рассчитывались реакция опоры, возникающая при заданной деформации, включая изменение формы и напряженно-деформированное состояние стержня. Результаты расчета напряжений и деформаций

стержня шатуна для осевой деформации 0,5 мм и 4,5 мм представлены на рис.13 и 14.



а

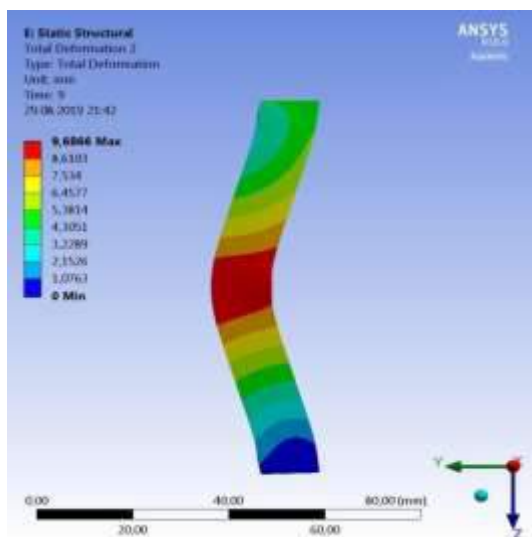


б

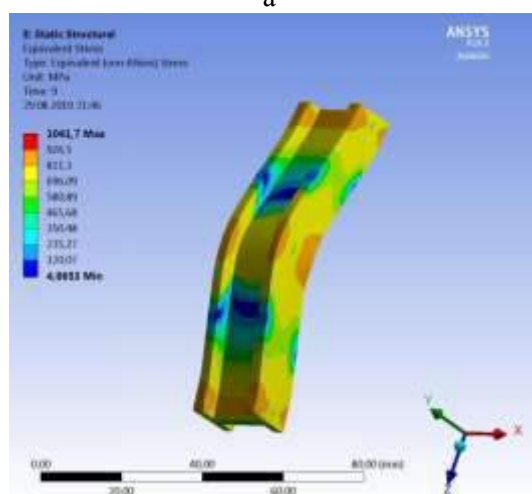
Рис. 13. Суммарная деформация: а – и напряжения по фон Мизесу; б – при осевом сжатии стержня 0,5 мм

В расчетах было установлено, что потеря устойчивости стержня заданной геометрии под действием сжимающей силы происходит при осевой деформации около 0,5 мм (рис. 13), при этом в средней части стержня возникает напряжение в диапазоне 736-826 МПа. Данный результат примерно соответствует полученному выше с помощью классической теории (760 МПа).

Согласно результатам моделирования, потеря устойчивости наступает при максимальном значении удельной сжимающей силы (реакции опоры), отнесенной к площади поперечного сечения стержня, приблизительно 680 МПа, после чего сила падает (рис. 15).



а



б

Рис. 14. Суммарная деформация и напряжения: а – по фон Мизесу; б – при осевом сжатии стержня 4,5 мм

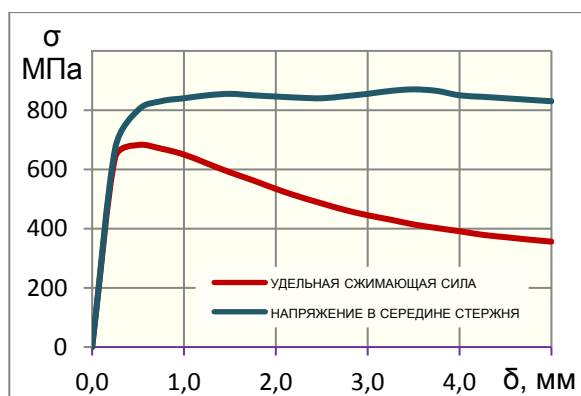


Рис. 15. Зависимость напряжения сжатия в средней части стержня и удельной сжимающей силы (реакции опоры), отнесенной к площади поперечного сечения стержня, от осевой деформации стержня

В то же время, если напряжение в средней части стержня до потери устойчивости равно

удельной сжимающей силе, то затем, после потери устойчивости, оно становится заметно выше, достигая 840-870 МПа, и в процессе продольного изгиба в рассмотренных пределах изменяется мало.

Такой характер изменения напряжения и реакции опоры объясняется возрастающим продольным изгибом [16] стержня в средней части при сжатии, когда пластическая деформация стержня происходит при все меньшей сжимающей силе.

Зависимость величины продольного изгиба от осевого сжатия представлена на рис.16, откуда хорошо видно, что после потери устойчивости изгиб по величине примерно вдвое превышает осевое сжатие.

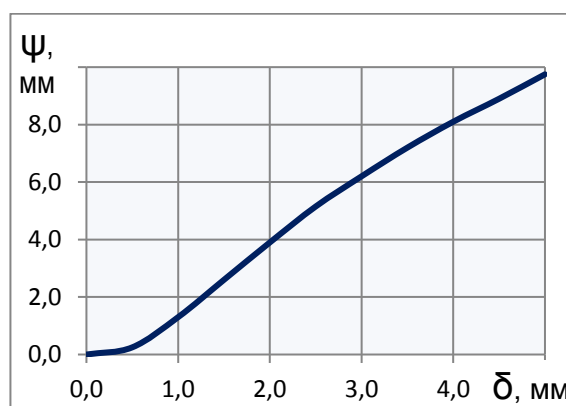


Рис. 16. Зависимость величины продольного изгиба оси стержня от его осевого сжатия

### Сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными

Имеющийся в настоящее время опыт [1,3] подтверждает, что при попадании жидкости в цилиндр стержень шатуна, испытывая значительные осевые сжимающие нагрузки, может потерять устойчивость и деформироваться. Анализ случаев, известных из практики исследования причин неисправности ДВС [3,4], показывает, что характер деформации стержня может быть различным по форме у разных шатунов - в соответствии с указанными выше различиями в профиле стержня и его гибкости в разных направлениях.

На приведенном примере (рис.17) хорошо видно, что по крайней мере, по форме деформированного стержня имеется соответствие полученным выше результатам расчета.

Вследствие того, что потеря устойчивости шатуна сопровождается не только искривлением стержня, но и его осевым сжатием, межосевое расстояние между осями кривошипной и поршневой головок шатуна уменьшается.



Рис. 17. Типичная форма стержня шатуна при гидроудара в цилиндре полностью соответствует расчетной

Однако провести точные измерения самого деформированного шатуна непросто, а в большинстве практических случаев вообще невозможно.

Когда деформация сравнительно невелика, повреждение приобретает скрытый характер – двигатель может сохранить работоспособность после гидроудара, но со временем практически неизбежно усталостное разрушение стержня шатуна (чаще всего в среднем его сечении, где знакопеременные напряжения нештатного изгиба деформированного стержня максимальны). Понятно, что при усталостном разрушении стержня (а именно этим обычно заканчивается эксплуатация двигателя с деформированным шатуном) речь может идти только об обломках шатуна (рис.18).



Рис. 18. Усталостное разрушение шатуна после гидроудара не позволяет получить какие-либо данные с помощью прямых измерений

В то же время, измерять обломки, как и сам шатун, для определения величины осевой деформации (сжатия) стержня чаще всего и не требуется. Для измерений вполне подходит косвенный метод [3]: достаточно измерить высоту следа нагара в верхней части цилиндра и сравнить ее с теми цилиндрами, где гидроудара не выявлено (рис. 19) – разница будет в точности соответствовать осевой деформации шатуна.



Рис. 19. Расширение пояса нагара в верхней части цилиндра (справа) при работе с деформированным при гидроударе шатуном позволяет однозначно измерить его деформацию

В таком случае можно точно определить количество жидкости, попавшей в цилиндр, путем измерения деформированного стержня и/или пояса нагара на верхней части цилиндра с использованием полученных при моделировании данных (рис.6, 7,16).

В некоторых случаях, когда в цилиндр попадает сразу большое количество жидкости, деформация шатуна может быть значительной. Тогда возможно повреждение поршня с нижней стороны вследствие его касания противовесов коленчатого вала вблизи нижней мертвой точки (рис. 20).



Рис. 20. Повреждение бобышек поршня при их нештатном контакте с противовесами коленчатого вала после укорочения шатуна

Работа двигателя с таким повреждением закономерно и быстро заканчивается разрушением шатуна, а еще большая деформация стержня приводит к заклиниванию коленвала прямо в момент гидроудара. Поскольку у современных автомобильных двигателей штатный зазор между бобышками поршня и противовесами коленвала при положении поршня в нижней мертвой точке составляет около 3-4 мм, посадка поршня на противовесы оставляет на поршне соответствующие следы (рис. 20), которые фактически указывают на предельную деформацию шатуна, при превышении которой наступает заклинивание коленвала.

### Выводы

С целью получения количественных данных о характере деформации стержня шатуна при попадании жидкости в цилиндр ДВС (гидроудар) разработана методика расчета, которая позволяет получить зависимость силы сжатия и деформации стержня от коэффициента заполнения камеры сгорания жидкостью. Расчетным путем установлено, что наблюдаемая согласно имеющимся экспериментальным данным деформация шатуна с потерей устойчивости стержня возникает при минимальном заполнении камеры сгорания жидкостью на 80%, что соответствует осевому сжатию стержня на 0,5 мм. С другой стороны, моделированием с помощью метода конечных элементов (МКЭ) определена зависимость формы стержня от его осевой деформации – продольный изгиб стержня при потере устойчивости оказывается приблизительно вдвое больше осевой деформации, что может быть использовано при выявлении признаков гидроудара на практике. Помимо этого, полученные результаты показывают, что поскольку задачи исследования эксплуатационных повреждений в целом отличаются от задач проектирования новых двигателей, моделирование напряженно-деформированного состояния шатуна с помощью МКЭ может быть сделано с упрощениями, а в некоторых случаях для получения количественных данных о повреждении достаточно и более простых классических методов расчета.

### Литература

1. Хрулев А.Э., Кочуренко Ю.В. Методика определения причины неисправности ДВС при тяжелых эксплуатационных повреждениях. Двигатели внутреннего сгорания. 1. 2017. С. 52-60. DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.10.
2. Хрулев А.Э. Методика исследования и определения причин тяжелых повреждений ДВС в эксплуатации. Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции "Двигатель-2017", посвященной 110-летию специальности "Поршневые двигатели" в МГТУ им.Н.Э.Баумана. Москва. МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2017. С. 22-23.
3. Хрулев А.Э., Лосавио С.К., Дроздовский В.Б. Экспертиза технического состояния и причины неисправностей автомобильной техники. Москва, Изд-во АБС, 2019. 966 с.
4. Хрулев А., Самохин С. Гидроудар "замедленного действия". 2011. 08. С.36-39.
5. Greuter E., Zima S. Engine Failure Analysis. SAE International. Warrendale. USA, 2012. 568 p.
6. Компоненты двигателя и фильтры: дефекты, их причины и профилактика. Пер.с англ., Mahle GmbH, 2016. 77с.
7. Kumar P.S. and Kumar K. Buckling Analysis and Shape Optimization of Connecting Rod using FEA. Journal on Emerging trends in Model. and Manufact, 2016, no.2(2), pp. 44-50.
8. Shenoy P.S. and Fatemi A. Dynamic analysis of loads and stresses in connecting rods. DOI: 10.1243/ 09544062JMES105. J.Mechanical Engineering Science. Proc.IMechE, 2006, vol. 220 Part C, pp. 615-624.
9. Kumar M. and Prajapati S.N. Design, Buckling and Fatigue Failure Analysis of Connecting Rod: A Review. DOI: 10.22161/ijaers.4.7.7. International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS), 2017, vol.4 (7), pp. 39-44.
10. Nagaraju K.L., Chandan R. Buckling Analysis Of Connecting Rod. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 2016; vol. 03 (08), pp. 1358-1361.
11. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Двигатели внутреннего сгорания. Т.IV–14. Москва. Машиностроение, 2013. 784 с.
12. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering. McGraw–Hill, Inc. USA, 1988. 930p.
13. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник. Перевод с украинского языка. Харьков. ХНАДУ, 2009. 500 с.
14. Левтеров А.М., Левтерова Л.И. Анализ математических моделей механизма сажеобразования при сжигании углеводородных топлив, Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. Харків, НТУ «ХПІ», 2013, №5 (979). С. 130-141.
15. Lotus Engineering Software (LESOFT). Group Lotus PLC, 2019. URL: <http://www.lesoft.co> (дата обращения 20.10.2019).
16. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов: учебник для вузов. 17-е изд., испр. Москва, Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2018. 542 с.



17. Gere J.M. *Mechanics of Materials*. 6th Edition. Belmont, USA, Brooks/Cole-Thomson Learning, 2004. 940 p.
18. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. *Сопротивление материалов*. Москва. Наука, 1986. 560 с.
19. Фаворин М.В. *Моменты инерции тел*. Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва. Машиностроение, 1977. 511 с.
20. Сорокин В.Г. *Стали и сплавы*. Марочник. Москва. "Интернет Инжиниринг", 2001. 608 с.
21. ANSYS Free Student Software Downloads. ANSYS, Inc., 2019. URL: <https://www.ansys.com/academic/free-student-products> (дата обращения 20.10.2019).
22. Федорова Н.Н., Вальгер С.А., Данилов М.Н., Захарова Ю.В. *Основы работы в ANSYS 17*. Москва. ДМК Пресс, 2017. 210 с.

### References

1. Khrulev A.E., Kochurenko Y.V. Metodika opredeleniya prichiny neispravnosti DVS pri tyazhelykh ekspluatatsionnykh povrezhdeniyah [Method for determining the cause of the ICE failure for severe damages in operation]. DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.10. *Internal Combustion Engines*, 2017, 1, pp. 52-60.
2. Khrulev A.E. Metodika issledovaniya i opredeleniya prichin tyazhelykh povrezhdeniy DVS v ekspluatatsii [Methods of study and determination of the causes of heavy duty damages of internal combustion engines]. Theses of the International scientific and technical conference "Engine-2017", Moscow, MSTU N.E.Bauman, 2017, pp. 22–23.
3. Khrulev A., Drozdovsky V., Losavio S. Ekspertiza tekhnicheskogo sostoyaniya i prichiny neispravnosti avtomobilnoi tekhniki [Expertize of the technical condition and the vehicle fault causes]. Moscow, Publ. house ABS, 2019. 966 p.
4. Khrulev A., Samokhin S. Gidroudar "zamedlenogo deystviya" [Hydrolock "delayed action"]. *Car and service*, 2011, 08, pp. 36-39.
5. Greuter E., Zima S. *Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failure and Their Causes*. ISBN 978-0-7680-0885-2. SAE International, R-320, Warrendale, USA, 2012. 568 p.
6. Engine components and filters. Damage profiles, probable causes and prevention. Technical information MS3-1109, Mahle Inc., Farmington Hills, United States, 2016. 77 p.
7. Kumar P.S. and Kumar K. Buckling Analysis and Shape Optimization of Connecting Rod using FEA. *REST Journal on Emerging trends in Modeling and Manufacturing* 2016, 2(2), pp. 44-50.
8. Shenoy P.S. and Fatemi A. Dynamic analysis of loads and stresses in connecting rods. DOI: 10.1243/09544062JMES105. *J.Mechanical Engineering Science. Proc.IMEchE*, 2006, Vol. 220 Part C, pp. 615-624.
9. Kumar M. and Prajapati S.N. Design, Buckling and Fatigue Failure Analysis of Connecting Rod: A Review. DOI: 10.22161/ijaers.4.7.7. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 2017, Vol.4(7), pp. 39-44.
10. Nagaraju K.L., Chandan R. Buckling Analysis Of Connecting Rod. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2016, Vol. 03(08), pp. 1358-1361.
11. L.V. Grekhov and others. *Mashinostroenie. Enciklopediya. Dvigateli vnutrennego sgoraniya*, T. IV–14 [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Internal combustion engines. Vol. IV–14]. Moscow, Mashinostroenie, 2013. 784 p.
12. Heywood J.B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw–Hill Series in Mech. Engineering. McGraw-Hill, Inc. USA, 1988. 930 p.
13. Dyachenko V.G. *Teoriya dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Theory of internal combustion engines]. Kharkov, HNADU, 2009. 500 p.
14. Levterov A.M., Levterova L.I. Analiz matematicheskikh modelei mehanizma sajeobrazovaniya pri sjiganii uglevodorodnykh topliv [Analysis of mathematical models of the mechanism of soot formation during the combustion of hydrocarbon fuels]. *News of NTU "KhPI". Series: Mathematical Modeling in tech and technology*, 2013, 5(979), pp. 130-141.
15. Lotus Engineering Software (LESOFT). Group Lotus PLC, 2019. Available at: <http://www.lesoft.co> (Accessed 20 October 2019).
16. Feodosyev V.I. *Soprotivlenie materialov. Uchebnik dlya vuzov* [Resistant materials. Textbook for high schools]. Moscow, Publishing MSTU. N. Bauman, 2018. 542 p.
17. Gere J.M. *Mechanics of Materials*. 6th Edition. Belmont, USA, Brooks/Cole –Thomson Learning, 2004. 940 p.
18. Birger I.A., Mavlyutov R.R. *Soprotivlenie materialov* [Resistant materials]. Moscow, Nauka, 1986. 560 p.
19. Favorin M.V. *Momenty inertsii tel*. Spravochnik [Moments of bodies' inertia. Handbook]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 511 p.
20. Sorokin V.G., Gervasiev M.A. and others. *Stali i splavy* [Steels and alloys]. Moscow, Internet Engineering, 2001. 608 p.
21. ANSYS Free Student Software Downloads. ANSYS, Inc., 2019. Available at: <https://www.ansys.com/academic/free-student-products> (Accessed 20 October 2019).
22. Fedorova N.N., Valger S.A., Danilov M.N., Zakharova Yu.V. *Osnovy raboty v ANSYS 17* [Fundamentals work in ANSYS 17]. Moscow, DMK Press, 2017. 210 p.

**Хрулев Александр Эдуардович**<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., судебный эксперт по специальности 10.2 "Исследование технического состояния транспортных средств", [alo.engine@gmail.com](mailto:alo.engine@gmail.com), тел. +380961632183.

<sup>1</sup>Международное моторное бюро, ул. Школьная,

д. 15, пгт Немешаєво, Бородянський район, Київська область, 07853, Україна.

### Моделювання пошкодження шатуна при надходженні рідини в циліндр ДВЗ

**Анотація. Постановка проблеми.** Розглянуто закономірності деформації стрижня шатуна в процесі стиснення повітря з рідиною в циліндрі ДВЗ, виконано розрахунок деформації шатуна при попаданні рідини в циліндр (гідроудар). Відзначено, що всупереч загальновідомому характеру даного ушкодження, будь-які кількісні дані відсутні, що нерідко ускладнює визначення причин пошкодження в практиці експлуатації ДВЗ. **Мета роботи** – дослідження механізму деформації шатуна при втраті стійкості внаслідок гідроудару в циліндрі для отримання кількісних характеристик даного явища, придатних до використання в практиці визначення причин несправностей. **Методика** дослідження включає моделювання процесу стиснення з рідиною, а також моделювання деформації та втрати стійкості стрижня шатуна при осьовому стисненні. Проведено чисельне інтегрування системи диференціальних рівнянь, що описують зміну тиску і температури повітря з рідиною в циліндрі по куту повороту колінчастого вала, з початковими умовами, які були отримані з використанням стандартної програми розрахунку циклу ДВЗ, визначена залежність максимального тиску в циліндрі та деформації шатуна від заповнення камери згоряння рідиною. **Результати.** Для знайдених деформацій виконано моделювання осьового стиснення стрижня шатуна за допомогою методу скінченних елементів, визначені форма стрижня та напруги, встановлено залежність поздовжнього вигину від осьового стиснення стрижня. Результати моделювання зіставлені з експериментальними даними по пошкодженню шатунів в експлуатації ДВС, а також з результатами розрахунків напружень за допомогою класичних методів. **Наукова новизна.** Вперше встановлений кількісний зв'язок між кількістю рідини, що потрапила в циліндр ДВС при гідроударі, формою стрижня шатуна, величиною його осьового стиснення та поздовжнього вигину при втраті стійкості. **Практична значущість.** Отримані результати можуть бути використані на практиці при пошуку причин несправності ДВЗ, в тому числі, при моделюванні ушкоджень ДВЗ, з метою уточнення ознак і причин несправності, пов'язаної з гідроударів. За результатами дослідження обґрунтовано можливість практичного застосування моделювання ушкоджень при дослідженні причин несправності двигунів.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згоряння, шатун, гідроудар, стійкість, деформація.

**Хрулев Олександр Едуардович**<sup>1</sup>, к.т.н., с.н.с., судовий експерт за фахом 10.2 «Дослідження технічного стану транспортних засобів», alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183.

<sup>1</sup>Міжнародне моторне бюро, вул.Шкільна, д. 15,

смт Немешаєво, Бородянський район, Київська область, 07853, Україна.

### Simulation of the connecting rod damage when fluid enters the engine cylinder

**Abstract. Problem.** The patterns of a conrod stem deformation during compression of air with a liquid in the internal combustion engine cylinder are considered, and the stem deformation when liquid enters the cylinder (hydrolock) is calculated. It is noted that despite the well-known nature of this damage, no quantitative data are available, which often makes it difficult to determine the damage causes in the practice of ICE operation. **Goal** of the work is to study the connecting rod deformation mechanism during the loss of stem stability due to hydrolock in the cylinder to obtain quantitative characteristics of this phenomenon, suitable for use in practice to determine the failure causes. **Methodology** includes simulation of the compression process with a liquid, as well as simulation of the deformation and the buckling of the conrod stem under axial compression. A numerical integration of a system of differential equations describing the change in pressure and air temperature with a liquid in a cylinder by the crankshaft rotation angle is carried out with the initial conditions that were obtained using the standard ICE cycle calculation program. Then the dependence of maximum pressure in the cylinder and the conrod buckling from the combustion chamber filling ratio was determined. **Results.** For the found strains, the axial deformation of the conrod stem was simulated using the finite element method, the buckling shape of the stem and the stress were determined, and the dependence of the longitudinal bending on the axial deformation of the stem was determined. The simulation results were compared with experimental data on the conrods damages in the ICE operation, as well as with the results of stress calculations using classical methods. **Originality.** For the first time, a quantitative link was determined between the liquid amount that fell into the internal combustion engine cylinder during hydrolock, the shape of the conrod stem, its axial deformation, and longitudinal bending in case of loss of stability. **Practical value.** The results can be used in practice when searching for the causes of the internal combustion engines faults, including simulation the ICE damages, in order to clarify the symptoms and causes of the faults associated with hydrolock. Based on the results of the study, the feasibility of the practical application of the damage simulation in studying the fault causes is substantiated.

**Keywords:** internal combustion engine, connecting rod, hydrolock, buckling, simulation.

**Khrulev Alexander E.**<sup>1</sup>, Ph.D., Senior Researcher, forensic expert on specialty 10.2 "Study of the vehicles technical condition", alo.engine@gmail.com, tel. +38096 616 183.

<sup>1</sup>International Motor Bureau, Shkolnaya str., 15, Nemshaev, Borodyansky district, Kiev region, 07853, Ukraine.

## СОНЯЧНА ЗАРЯДНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ – КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Гнатов А. В.<sup>1</sup>, Аргун Щ. В.<sup>1</sup>, Гнатова Г. А.<sup>1</sup>, Тарасов К. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Наведено технічні характеристики розробленого комплексу, зазначені основні його складові та представлено перелік його обладнання. Приведено основні залежності для розрахунку параметрів сонячних панелей у складі розробленого комплексу. Запропоновано схему для проведення експериментальних досліджень з сонячними панелями комплексу. Запропоновано перелік лабораторних та практичних занять, що можна проводити на розробленому комплексі.

**Ключові слова:** сонячна зарядна електростанція, зелена енергетика, зелений тариф, сонячна енергетика, сонячна електростанція, електромобіль, енергоефективні технології, сонячні панелі.

### Вступ

В Україні сонячна енергетика, в порівнянні з іншими країнами, тільки-но починає розвиватися. Для її стимулювання держава вводить різні заходи, наприклад, цільові субсидії, відміну або послаблення податкового навантаження, дотації тощо [1-3].

У відповідності до закону України про електроенергетику № 575/97-ВР від 16.10.1997, «зелений» тариф – це тариф за яким оптовий ринок електричної енергії України зобов'язаний закуповувати електричну енергію вироблену на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії.

Отже, «зелений» тариф – це механізм, призначений для заохочення населення для вироблення електроенергії з альтернативних джерел енергії [4]. У відповідності до вище зазначеного закону, електроенергія, яка вироблена сонячними електростанціями, вітроелектростанціями та гідроелектростанціями приймається загальною мережею і оплачується оптовим ринком електроенергії за «зеленим» тарифом.

Варто зазначити, що з 1 січня 2020 р. «зелений» тариф в Україні становить 4,28 грн. за кВт·год).

Відповідно, розробка та впровадження «зелених» технологій є не тільки актуальною, а й економічно вигідною науковою та інженерною задачею. Тому випуск фахівців з новітніх «зелених» енергоощадних та енергоефективних технологій є також актуальною задачею і для сучасного освітнього процесу.

### Аналіз публікацій

Ринок сонячних панелей складається з декількох різних типів, що відрізняються технологією виготовлення і матеріалами, з яких їх виробляють [5-7]. Найбільш популярними та поширеними є сонячні панелі на основі кремнію. Це пояснюється досить широким розповсюдженням кремнію у природі, його відносною дешевизною і високим показником продуктивності, в порівнянні з іншими видами сонячних батарей.

Переважаюча більшість елементів сучасних сонячних панелей виготовляється з монокристалічного (C-Si) або полікристалічного (MC-Si) кремнію. На цей час зазначені кремнієві фотоелектричні модулі займають близько 90 % ринку фотоелектричних перетворювачів [8, 9]. Тому для сонячної зарядної електростанції, як основи комплексу на базі якого планується проводити низку лабораторних та практичних занять, вибрано кремнієві сонячні панелі.

Докладно інформацію щодо основних видів та типів сонячних електростанцій (СЕС) наведено в [10-12]. Зваживши всі переваги і недоліки схемних рішень СЕС пропонується за основу взяти гібридну мережеву сонячну електростанцію змінного струму.

### Мета та постановка задачі

Мета роботи: розробка концептуального рішення щодо комплексу для проведення лабораторних та практичних занять на базі сонячної зарядної станції.

Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналітичний огляд існуючих способів перетворення сонячної енергії в електричну та дослідити основні види і типи сонячних електростанцій;
- запропонувати концептуальне рішення будови сонячної електростанції на основі її гібридної конструкції, як учбового комплексу для проведення лабораторних та практичних занять;
- навести перелік основних елементів та обладнання запропонованого комплексу;

- запропонувати курс лабораторних та практичних занять на розробленому комплексі для здійснення навчального процесу.

### Комплекс для проведення лабораторних та практичних занять

Виходячи з проведеного аналізу конструкцій типів та будови сонячних електростанцій [10, 11], у відповідності до поставленого завдання, за основу комплексу для проведення лабораторних та практичних занять вибрано гібридну мережеву СЕС змінного струму, рис. 1.

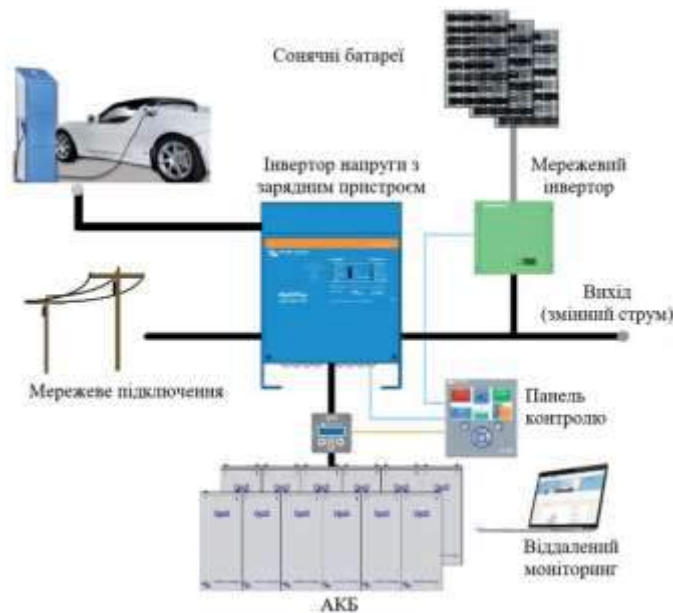


Рис. 1. Схема комплексу для проведення лабораторних та практичних занять на базі сонячної зарядної станції

Через панель контролю, що зображена на рис. 1, проводиться вимірювання сигналів та діаграм струму, напруги, потужності від часу на ключових складових елементах даного комплексу:

- сигналів з сонячних батарей (СБ);
- сигналів з накопичувачів енергії – акумуляторних батарей (АКБ) (заряд/розряд);
- сигналів з мережі (прийом та віддача);
- сигналів, що подаються споживачам (наприклад, заряд електромобіля).

В даному комплексі сонячні батареї підключаються до мережевого сонячного інвертора (DC/AC). Мережа змінного струму підключається до входу гібридного інвертора (DC/AC). Також до гібридного інвертора підключені АКБ. Вихід мережевого сонячного інвертора і

гібридного інвертора об'єднані через розподільний щит і забезпечують електроживленням споживачів змінного струму. Вихід гібридного інвертора підключається до зарядних станцій електромобілів.

Застосування гібридного інвертора з зарядним пристроєм забезпечує ряд переваг, наприклад, СЕС працює навіть при відсутності напруги в мережі змінного струму, а також в умовах нестабільної мережі.

В якості накопичувачів енергії у запропонованій зарядній станції пропонується використовувати вживані АКБ від електромобілів або гелієві АКБ, що призначені для використання в сонячних електростанціях. Їх сумарна потужність повинна забезпечити 200 кВт·год. Це приблизно від 8 до 10 літій-іонних АКБ від електромобіля Nissan Leaf).

Загальний вид комплексу для проведення лабораторних та практичних занять на базі сонячної зарядної станції представлено на рис. 2.

Більш докладно склад обладнання комплексу представлено в таблиці 1.



а



б

Рис. 2. Комплекс для проведення лабораторних та практичних занять: а – АКБ з гібридним / автономним інвертором; б – сонячні панелі

Таблиця 1 – Обладнання комплексу

№	Найменування товару	Кількість, шт
1.	Сонячна панель EnerGenie EG-SP-M300W-33V9A	4
2.	Гібридний / автономний інвертор Voltronic Axpert VM3000-24(MPPT)	1
3.	Акумуляторна батарея KSTAR Solar Series 12V 100Ah (6-FM-100T)	4
4.	Автоматичний вимикач Schneider Domae BA63 1P+n 16A C 11213	3
5.	Кабель силовий Brille ШВВП 3x1,5 (106658), м	30
6.	Коробка монтажна Schneider IMT35092	2
7.	Розподільний щит MasterTool OB-4 (94-0234)	3

У відповідності до проведених досліджень на кафедрі автомобільної електроніки Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), розроблено експериментальний варіант сонячної зарядної електростанції для електромобілів, як комплексу для проведення лабораторних та практичних занять. Згідно з навчальним планом за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», студенти ХНАДУ, що навчаються за програмою «Електромобілі та енергозберігаючі технології» можуть відпрацьовувати практичні навочки на розробленому комплексі, що охоплює дисципліни: «Енергозберігаючі та електромобільні технології на транспорті»; «Електричні системи екологічно чистих АТЗ»; «Інтелектуальні інформаційні технології і системи»; «Методи планування наукових досліджень в АТЗ». Крім того, на розробленому комплексі студенти мають змогу проходити наукове стажування та виконувати дослідження щодо дипломного проектування.

Одним з основних елементів комплексу який перетворює енергію сонячного випромінювання в електричну є сонячні панелі (сонячні батареї). У відповідності до технічних характеристик сонячних панелей можна визначити їх внутрішній опір:

$$R_{\text{вн}} = \frac{U_{\text{xx}}}{I_{\text{кз}}}. \quad (1)$$

де  $R_{\text{вн}}$  – внутрішній опір сонячної панелі, Ом;

$U_{\text{xx}}$  – напруга при розімкненому контурі сонячної панелі, В;

$I_{\text{кз}}$  – струм короткого замикання сонячної панелі, А.

Ще одним важливим параметром сонячної панелі, який необхідно визначати – це коефіцієнт заповнення  $FF$ . Цей параметр у поєднанні зі струмом короткого замикання ( $I_{\text{кз}}$ ) і напругою при розімкненому контурі сонячної панелі ( $U_{\text{xx}}$ ) визначає максимальну потужність на виході сонячної панелі.  $FF$  визначається як відношення номінальної потужності сонячної панелі до добутку  $U_{\text{xx}}$  та  $I_{\text{кз}}$  і дорівнює максимальній площі прямокутника, який можна вписати в вольт-амперну криву сонячної панелі [13]:

$$FF = \frac{I_{\text{ном}} \cdot U_{\text{ном}}}{I_{\text{кз}} \cdot U_{\text{кз}}}. \quad (2)$$

Ще одними з важливих параметрів сонячних панелей, які можна і розрахувати, і виміряти, є:

- вольт-амперна характеристика;
- характеристика навантаження (залежність потужності сонячної панелі від струму навантаження).

Виробники повинні визначати ці характеристики у відповідності до затверджених методів, які наведені в [14, 15].

Розрахунок вольт-амперної характеристики можна виконати за формулою:

$$I = I_f - I_0 \left( \exp \left[ \frac{q}{AkT} (U + IR_l) \right] - 1 \right), \quad (3)$$

де  $I_f$  – фотострум, А;

$I_0$  – струм насичення, А;

$q$  – заряд, Кл;

$A$  – коефіцієнт, отриманий при порівнянні теоретичних та експериментальних характеристик (приймає значення від 1 до 5);

$k$  – постійна Больцмана;

$T$  – абсолютна температура, К;

$I$  – струм сонячної панелі, А;

$U$  – напруга, В;

$R_l$  – активний опір сонячних панелей, Ом.

Схему для проведення експериментальних досліджень з сонячними панелями комплексу представлено на рис. 3, де А – це амперметр, V – вольтметр; W – ватметр.

У відповідності до представленої схеми сонячну панель можна навантажувати активним опором та проводити вимірювання з побудовою графіків.

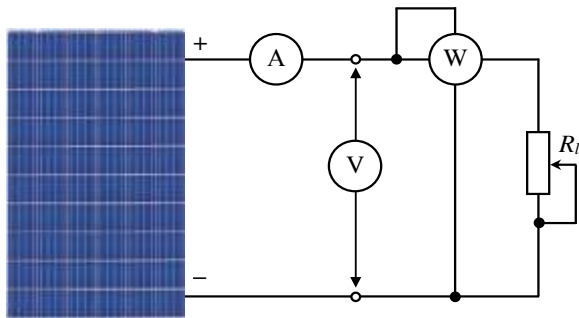


Рис. 3. Схема для проведення вимірювань на сонячних панелях

Зразок графіків, що отримані при проведенні експериментальних досліджень наведено на рис. 4.

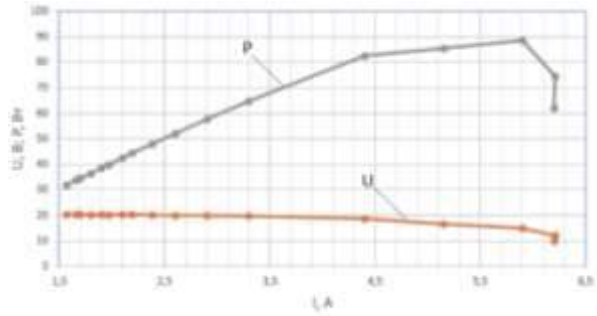


Рис. 4. Результати експериментальних досліджень сонячних панелей

Спираючись на отримані результати, використовуючи представлений комплекс, пропонується проводити наступні лабораторні та практичні роботи перелічені нижче [16].

### Лабораторні роботи

1. Лабораторна робота № 1. Дослідження СЕС в режимі автономної роботи – 4 год.

Завдання:

1.1 Дослідити графіки струму, напруги та потужності при генерації електроенергії сонячними батареями в залежності від їх кута нахилу.

1.2 Дослідити, яку частку енергії буде спожито СЕС з мережі, при:

- повністю горизонтальному положенні сонячних панелей;

- при куті нахилу  $15^{\circ}$ ;

- при куті нахилу  $30^{\circ}$ ;

- при куті нахилу  $45^{\circ}$ .

1.3 Дослідити за яких умов при сталому навантаженні, СБ будуть генерувати рівно 50 % електроенергії.

2. Лабораторна робота № 2. Дослідження СЕС в режимі змішаного електропостачання – 4 год.

Завдання:

2.1 Дослідити роботу СЕС при розряді АКБ на 20 % і підключенні мережі живлення. Виміряти струм, напругу і потужність, що підводиться від СБ і АКБ:

- при роботі СЕС без підключених споживачів електроенергії;

- при роботі СЕС в режимі заряду електроавтомобіля.

2.2 Дослідити роботу СЕС при розряді АКБ на 50 % і підключенні мережі живлення. Виміряти струм, напругу і потужність, що підводиться від СБ і АКБ:

– при роботі СЕС без підключених споживачів електроенергії;

– при роботі СЕС в режимі заряду електромобіля.

3. Лабораторна робота № 3. Дослідження СЕС в режимі резервного електропостачання – 4 год.

Завдання:

3.1 Визначити умови навантаження СЕС та виміряти графіки напруги, струму та потужності від часу, при яких:

– 20 % згенерованої електроенергії йде в мережу за зеленим тарифом;

– 50 % згенерованої електроенергії йде в мережу за зеленим тарифом;

– 70 % згенерованої електроенергії йде в мережу за зеленим тарифом;

– 100 % згенерованої електроенергії йде в мережу за зеленим тарифом.

### Практичні заняття

1. Налаштування гібридного інвертора сонячної електростанції на різні режими роботи.

2. Вимірювання вольт-амперної характеристики СБ з поступовим збільшенням та зменшенням опору навантаження.

3. Визначення оптимального навантаження СБ при різних схемах їх підключення.

4. Вимірювання функції потужності СБ в залежності від її навантаження:

– при куті нахилу СБ 15°;

– при куті нахилу СБ 30°;

– при куті нахилу СБ 45°;

– при куті нахилу СБ 60°;

– при куті нахилу СБ 75°.

5. Вимірювання функції струму, напруги та потужності від часу під час розряду АКБ сонячної електростанції при роботі на номінальне навантаження.

6. Визначення ефективності роботи СБ в залежності від її нагріву.

7. Визначення ефективності роботи СБ при її частковому та повному затемненні.

8. Побудова графіку навантаження сонячної електростанції при підключенні змінного у часі навантаження.

9. Розрахунок сонячної зарядної електростанції для заряду електромобіля.

10. Розрахунок сонячної електростанції для роботи на зелений тариф для одного домогосподарства.

11. Розрахунок сонячної автономної електростанції для забезпечення електроенергією одного домогосподарства.

Гібридний / автономний інвертор типу Voltronic Axpert VM3000-24 (MPPT) дозволяє вимірювати електричні сигнали, як з блоку СБ, так і з АКБ і зовнішньої мережі. Також дана модель формує графіки навантаження СЕС та графік генерованої електроенергії. Вивід даних з інвертора на комп'ютер дозволяє швидко і ефективно проводити їх аналіз, відповідно, ефективно програмувати режим роботи СЕС у складі комплексу для проведення лабораторних та практичних занять.

### Висновки

В ході роботи проведено огляд існуючих способів перетворення сонячної енергії в електричну та досліджено основні види і типи сонячних електростанцій.

Спираючись на проведені дослідження запропоновано концептуальне рішення будови сонячної електростанції на основі її гібридної конструкції, як учбового комплексу для проведення лабораторних та практичних занять.

Наведено технічні характеристики розробленого комплексу, зазначені основні його складові та представлено перелік обладнання.

Зважаючи на те, що сонячні панелі є основним елементом комплексу, що перетворює енергію сонячного випромінювання в електричну, приведено основні залежності для розрахунку їх параметрів. Запропоновано схему для проведення експериментальних досліджень з сонячними панелями комплексу.

Запропоновано перелік лабораторних та практичних занять, що можна проводити на розробленому комплексі для здійснення навчального процесу.

### Література

1. Гнатов А. В., Аргун І. В., Череватий В. О., Ульянець О. А. Сонячна енергія – основні види та типи сонячних електростанцій. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. Харків, 2017. Вип. 12. С. 12-21.
2. Hnatov A., Arhun Shch., Ulyanets O. ESTET – New innovative specialty for master students. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2018. Вип. 42. С. 103-110.
3. Гнатов А. В., Аргун І. В., Дзюбенко О. А. Визначення оптимальних параметрів навантаження

- для ефективної роботи кремнієвих сонячних батарей. *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2018. Вип. 80. С. 53–58.
4. Зелений тариф 2020. 2020. URL: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>. (дата звернення 08.06.2018).
  5. Green M. A. Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation. *Springer-Verlag*. Berlin, 2003. 160 p.
  6. Marti A., Luque A. (Eds) Next Generation Photovoltaics. *Bristol: Institute of Physics Publ.* Bristol. 2004. 344 p.
  7. Bauer T. Thermophotovoltaics: Basic Principles and Critical Aspects of System Design. *Springer-Verlag*. Berlin, 2011. 202 p.
  8. Patlins A., Arhun S., Hnatov A., Dziubenko O., Ponikarovska, S. 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. *IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON): E-Proceedings*, (Latvia, Riga, 12-14 November, 2018). Riga, 2018, p.71-76.
  9. Patlins A., Hnatov A., Arhun S., Hnatova H., Migal V. 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, no. 1, p.30-38.
  10. Abramova O. Види та типи: схеми сонячних електростанцій. 2017. URL: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipi-shemi-sonyachnih-elektrostantsij/>. (дата звернення 08.06.2018).
  11. Гнатів А. В., Аргун Ш. В. Аналіз схем сонячних електростанцій на фотоелектричних модулях для зарядних станцій електромобілів. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2017. Вип. 41. С. 163-169.
  12. Тарасова В. В., Разживин В. П., Тельний А. С., Гнатів А. В., Аргун Ш. В., Дзюбенко А. А. Аналіз перспектив розвитку нетрадиційних джерел енергії та оцінка можливостей їх використання. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання*. Харків, 2017. № 12. С. 50-56.
  13. Миличко В. А., Мухін І. С., Ковров А. Э., Крайнін А. А., Виноградов А. В., Белов П. А., Сивовський К. Р. Сонячна фотовольтаїка: сучасне становище та тенденції розвитку. *Успіхи фізических наук*. Санкт-Петербург, 2016. Т. 186. №. 8. С. 801-852.
  14. Nakhodov V., Baskys A., Skeie N.-O., Pfeiffer C. F., Dmytro I., Selection methodology of energy consumption model based on Data Envelopment Analysis. *Electrical, Control and Communication Engineering*. 2016. vol. 11, no. 1, p. 5–12.
  15. Racz E., Horompoli B., Varga A., Neuchel E. R. Experimental investigation based on analyzation of electric current-voltage characteristics on Pasaflasher flashlight irradiated photovoltaic cells aged by various processes. *Elektroenergetika*. 2017. p. 718.
  16. Гнатів А. В., Аргун Ш. В., Гнатова Г. А. Проект сонячної зарядної електростанції для електромобілів як комплексу для проведення лабораторних та практичних занять. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій* : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя. (Тернопіль, 14–15 травня 2020 року). Тернопіль, 2020. С. 288

### Reference

1. Hnatov A. V., Arhun Shch. V., Cherevaty V. O., Uliyanets O. A. (2017) Soniachna enerhiia – osnovni vydy ta typu soniachnykh elektrostantsii. [Solar energy - the main types and types of solar power plants]. *Avtomobil i elektronika. Sovremennyye tehnologii: elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie*. Kharkiv, 12, 12-21. [in Ukrainian].
2. Hnatov A., Arhun Shch., Uliyanets O. (2018) ESTET – New innovative specialty for master students. *Avtomobilnyi transport*. Kharkiv, 42, 103-110. [in Ukrainian].
3. Hnatov A. V., Arhun Shch., Dziubenko O.A. (2018) Vyznachennia optimalnykh parametriv navantazhennia dlia efektyvnoi roboty kremniievnykh soniachnykh batarei. [Determination of optimal load parameters for efficient operation of silicon solar panels]. *Visnyk KhNADU*. Kharkiv, 80. 53–58. [in Ukrainian].
4. Zelenyi taryf 2020. [Green tariff 2020]. Retrived from: <http://www.ecosvit.net/ua/zeleniy-tarif>. (accessed: 08.06.2020)
5. Green M. A. (2003) Third generation photovoltaics: advanced solar electricity generation. *Springer-Verlag*. Berlin.
6. Marti A., Luque A. (2004) (Eds) Next Generation Photovoltaics. *Bristol: Institute of Physics Publ.* Bristol.
7. Bauer T. (2011) Thermophotovoltaics: Basic Principles and Critical Aspects of System Design. *Springer-Verlag*. Berlin.
8. Patlins, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dziubenko, O., Ponikarovska S. (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. *IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical*



- University (RTUCON): E-Proceedings, (Latvia, Riga, 12-14 November, 2018). 71-76.
9. Patlins A., Hnatov A., Arhun S., Hnatova H., Migal V. (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.
  10. Abramova O. Vydy ta typy: skhemy soniachnykh elektrostantsii. [Types: schemes of solar power plants]. Retrievd from: <http://ukrenerho.com/vidi-ta-tipi-shemi-sonyachnih-elektrostantsij/>. (accessed: 08.06.2020)
  11. Hnatov A., Arhun Shch. (2017) Analiz skhem soniachnykh elektrostantsii na fo-toelektrychnykh moduliakh dlia zariadnykh stantsii elektromobiliv. [Analysis of schemes of solar power plants on photoelectric modules for charging stations of electric cars]. *Avtomobilnyi transport*. Kharkiv, 41. 163-169. [in Ukrainian].
  12. Tarasova V. V., Razzhyvyn V. P., Telnyi A.S., Hnatov A., Arhun Shch., Dziubenko O. A. (2017) Analiz perspektiv razvitiya netraditsionnykh istochnikov energii i otsenka vozmozhnostey ih ispolzovaniya. [Analysis of the prospects for the development of alternative energy sources and assessment of the possibilities of their use]. *Avtomobil i elektronika. Sovremennyye tehnologii: elektronnoe nauchnoe spetsializirovannoe izdanie*. Kharkiv, 12. 50-56. [in Russian].
  13. Mylychko V. A., Mukhyn Y. S., Kovrov A. E., Krasylun A. A., Vynohradov A. V., Belov P. A., Simovsky K.R. (2016) Solnechnaya fotovoltaika: sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya. [Solar photovoltaics: current status and development trends]. *Uspehi fizicheskikh nauk*. St. Petersburg, 186. 8. 801-852. [in Russian].
  14. Nakhodov V., Baskys A., Skeie N.-O., Pfeiffer C. F., Dmytro I. (2016) Selection methodology of energy consumption model based on Data Envelopment Analysis. *Electrical, Control and Communication Engineering*. 11. 1. 5-12.
  15. Racz E., Horompoli B., Varga A., Neuchel E. R. (2017) Experimental investigation based on analyzation of electric current-voltage characteristics on Pasan-flasher flashlight irradiated photovoltaic cells aged by various processes. *Elektroenergetika*.
  16. Hnatov A., Arhun Shch., Hnatova H. A. (2020) Proekt soniachnoi zariadnoi elektrostantsii dlia elektromobiliv yak kompleksu dlia provedennia laboratornykh ta praktychnykh zaniat. [Project of a solar charging power plant for electric cars as a complex for laboratory and practical classes.]. *Fundamentalni ta prykladni problemy suchasnykh tekhnolohii: materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii do 60 richchia z dnia*

zasnuvannia Ternopilskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Puliuia ta 175 richchia z dnia narodzhennia Ivana Puliuia. (Ternopil, 14-15 May 2020). 288. [in Ukrainian].

**Гнатів Андрій Вікторович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com),

**Аргун Щасяна Валіковна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com),

**Гнатова Ганна Андріївна**<sup>1</sup>, студент автомобільного факультету ХНАДУ, тел. +38 0990679809, [annagnatova22@gmail.com](mailto:annagnatova22@gmail.com),

**Тарасов Кирило Сергійович**<sup>1</sup>, аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. +38 0933435082, [niakros@gmail.com](mailto:niakros@gmail.com),

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

#### **Солнечная зарядная электростанция - комплекс для проведения лабораторных и практических занятий**

*Аннотация. Приведены технические характеристики разработанного комплекса, указаны основные его составляющие и представлен перечень его оборудования. Приведены основные зависимости для расчета параметров солнечных панелей в составе разработанного комплекса. Предложена схема для проведения экспериментальных исследований с солнечными панелями комплекса. Предложен перечень лабораторных и практических занятий, которые можно проводить на разработанном комплексе.*

**Ключевые слова:** солнечная зарядная электростанция, зеленая энергетика, зеленый тариф, солнечная энергетика, солнечная электростанция, электромобиль, энергоэффективные технологии, солнечные панели.

**Гнатів Андрей Вікторович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. 066-743-08-87, e-mail: [kalifus76@gmail.com](mailto:kalifus76@gmail.com),

**Аргун Щасяна Валіковна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. 099-378-04-51, e-mail: [shasyana@gmail.com](mailto:shasyana@gmail.com),

**Гнатова Анна Андреевна**<sup>1</sup>, студент автомобільного факультета ХНАДУ, тел. 099-067-98-09, e-mail: [annagnatova22@gmail.com](mailto:annagnatova22@gmail.com),

**Тарасов Кирилл Сергеевич**<sup>1</sup>, аспірант кафедри автомобільної електроніки, тел. 093-343-50-82, e-mail: [niakros@gmail.com](mailto:niakros@gmail.com),

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

### **Solar charging power plant – a complex for laboratory and practical training**

**Abstract. Problem.** The development and implementation of green technologies is not only relevant, but also a very cost-effective scientific and engineering task. Therefore, training specialists in the latest green energy-saving and energy-efficient technologies is also an urgent task for the modern educational process. **Goal.** The aim is development of a conceptual solution for the complex for laboratory and practical classes based on a solar charging station. **Methodology.** The analytical methods of research on the development and application of methods and devices for transforming the energy of the sun into electricity were used. Methods of experimental research and mathematical methods of processing and modulation of the received results are used. **Results.** A review of decisions on the main methods of converting solar energy into electricity was made and the main kinds and types of solar power plants were studied. It is proposed to develop a complex for laboratory and practical classes with students based on a hybrid design of a solar power plant. The technical characteristics of the developed complex are given, its main components are indicated and the list of its equipment is presented. Because solar panels are the main element of the complex that converts the energy of solar radiation into electricity, the main dependences for calculating their parameters are given. The scheme for carrying out

experimental research with solar panels of a complex is offered. **Originality.** A list of laboratory and practical classes that can be conducted on the developed complex for laboratory and practical classes is proposed. **Practical value.** Implementation of the proposed complex for laboratory and practical classes on the basis of a solar charging station will allow educational institutions not only to conduct a quality educational process on modern equipment, but also to generate a certain amount of green energy that can be used for their own needs.

**Key words:** solar charging power station, green energy, green tariff, solar energy, solar power station, electric car, energy-efficient technologies, solar panels.

**Hnatov Andrii**<sup>1</sup>, Professor, Dr. Sc., Prof. Vehicle Electronics Department, tel. 066-743-08-87, e-mail: kalifus76@gmail.com,

**Arhun Shchasiana**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

**Hnatova Hanna**<sup>1</sup>, student of the Automobile Faculty, tel. 099-067-98-09, e-mail: annagnatova22@gmail.com,

**Tarasov Kyrylo**<sup>1</sup>, PhD student of the department of automotive electronics, tel. 093-343-50-82, e-mail: niakros@gmail.com,

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ КАРКАСУ КУЗОВА АВТОБУСА В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

Рубан Д. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АТ «Черкаський автобус»

***Анотація.** Розроблено прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору. Прилад - недорогий, доступний, завадостійкий з високою швидкістю. В комплексі з діагностичним обладнанням автобусів на агрегатній базі Psuzi та сучасною комп'ютерною технікою відкривається можливість проведення високоточних досліджень.*

***Ключові слова:** автобус, елементи каркасу кузова, напруження, деформація, тензометр, тензорезистор.*

### Вступ

Експлуатація автобусів супроводжується деформацією елементів каркасу кузова. Враховуючи реалії експлуатації автобуси для перевезення громадського транспорту працюють із постійними перевантаженнями. В результаті таких перевантажень виникають циклічні деформації каркасу кузова, що призводять до утворення осередків накопичення втомної міцності. Важливо на стадії проектування та в експлуатаційних умовах враховувати чинники впливу на появу передчасних пошкоджень елементів каркасу кузова. Для виявлення проблемних місць, ще до руйнування елементів каркасу кузова, доцільним буде визначення величини деформацій за допомогою вимірювання деформаційного опору. Враховуючи доцільність багаторазових випробувань на різних автобусах однієї моделі (автобуси на стадії проектування, при періодичних заводських випробуваннях автобусів, випробування автобусів з на реальних маршрутах) вимірювальний прилад повинен бути доступним, простим та мати низьку собівартість.

Розвиток електроніки та мікропроцесорної техніки на сучасному етапі дозволяє впроваджувати нові засоби діагностики та досліджень дорожніх транспортних засобів. Тенденції розвитку електронних засобів спрямовані на розробку універсальних схем, що дозволяють компонувати прилади з різноманітним спектром задач. Таким чином сучасні засоби електроніки дозволяють створити прилади нової мобільної конструкції для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору.

### Аналіз публікацій

Існуючі прилади для вимірювання деформацій [1] використовують мостову схему вимірювальних тензорезисторів. Прилади описані в літературі [1] забезпечують виконання вимірювальних операцій, що відповідають вимогам своєї сучасності. Однак на сьогодні це обладнання застаріле і має ряд недоліків: громіздкість, недостатня віброзахищеність, що не підходить для дослідження транспортних засобів, порівняно низька швидкодія, висока маса, а також необхідність у ручному балансуванні вимірювального мосту.

Один із відомих сучасних приладів для вимірювання деформацій [2] позбавлений деяких недоліків приладу [1]. Прилад [2] – компактний з невеликою масою та значно вищою швидкістю. Однак цей прилад [2] має порівняно високу вартість, енергоємність (потребує додаткове джерело живлення 220, або 12 В) та складність системи. Крім того даний прилад уже на сьогоднішньому етапі має досить низьку передачу сигналу (до 20000 Гц), що може не забезпечити належну передачу інформації при дорожніх випробуваннях транспортного засобу з високими швидкостями руху та дорожнього покриття змінного профілю (бруківка, дороги низької якості).

Сучасні блочні засоби електронної техніки дозволяють [3] реалізувати максимальну швидкодію при мінімальному енергоспоживанні. На основі даних блоків реалізовано стаціонарні ваги, з виведенням інформації на монітор персонального комп'ютера (ПК), що складаються з мікроконтролера, підсилювача (коефіцієнт підсилення 32, 64 та 128), анало-

го-цифрового перетворювача (АЦП) без захисного екрану та з тензодатчиком, в якому використовуються тензорезистори номіналом 1 кОм, з'єднані за мостовою схемою. Коефіцієнти підсилення 64 або 128 вибираються підключенням до відповідних входів підсилювача. Коефіцієнт підсилення 32 вибирається шляхом внесенням зміни до програми. Дана конструкція має низьку завадостійкість та неузгодженість із тензорезисторами інших номіналів (для тензометрування елементів каркасу кузова застосовуються резистори опором 200 Ом) [1], що не забезпечить нормальну роботу при дорожніх випробуваннях транспортного засобу.

Функціональність сучасних блочних схем розширюється при програмуванні мікроконтролерів під конкретні задачі в сучасному програмному середовищі Java, C++ тощо [4, 5].

#### Мета і постановка завдання

Враховуючи різноманіття блочних універсальних схем, на базі яких можливе створення практично будь-яких електронних приладів, виникли передумови для розробки комплексу для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах. При цьому слід створити такий комплекс, в основі якого буде прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору. Прилад повинен бути доступним, мати низьку собівартість, високу швидкість передачі та обробки сигналу. Враховуючи те, що автобус є підвищеним джерелом радіоперешкод та вібрацій, створюваний прилад повинен мати високу вібро- та завадостійкість.

Таким чином **метою роботи** є розробка вимірювального комплексу, в основі якого повинен бути високоефективний прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору в експлуатаційних умовах.

#### Діагностичний комплекс для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах

Прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса було розроблено на основі плати мікроконтролера Arduino Mega 2560 та АЦП з підсилювачем на мікросхемі HX711 із захисним завадопоглинаючим металевим екраном. Коефіцієнти

підсилення даного підсилювача складають 32, 64 та 128. Ці значення встановлюються програмним шляхом та подачею сигналу з тензорезисторів на потрібний вхід. Для коректної роботи, експериментальним шляхом підібрано коефіцієнт підсилення 32.

Схема розробленого приладу для вимірювання деформації показана на рис. 1.

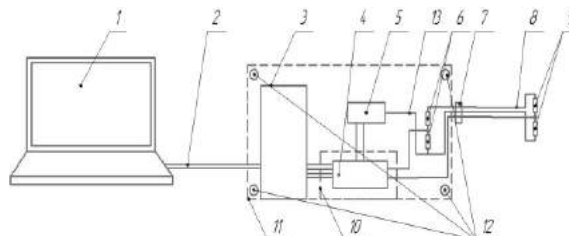


Рис. 1. Схема приладу для вимірювання деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах

Прилад для вимірювання деформації містить ПК типу Notebook 1, з'єднувальний USB кабель 2, плату мікроконтролера Arduino Mega 2560 3, АЦП з мікросхемою HX711 4, стабілізатор напруги на 3,3 В на базі мікросхеми AMS1117 5, компенсаційні резистори мостової вимірювальної схеми 6, вологовіброзахисний роз'єм 7, екрановані з'єднувальні провідники 8, вимірювальні тензорезистори мостової схеми 9, додатковий захисний екран 10 для підвищення завадостійкості АЦП з підсилювачем, екранований корпус 11, віброопори 12, з'єднувальні провідники 13. Для роботи приладу розроблено програмне забезпечення в середовищі C++ та запрограмовано плату мікроконтролера.

На рис. 2 зображено основний блок приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса без верхньої кришки.



Рис. 2. Основний блок приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору

Всі елементи розробленого пристрою поміщено в корпус із екранованого матеріалу, що виготовлений із пластику з двостороннім алюмінієвим покриттям. Всі мінусові складові блоків заземлені на корпус і з'єднані між собою та екраном з'єднувальних провідників. Перед проведенням випробувань корпус приладу обов'язково підлягає заземленню (корпус необхідно з'єднати з масою автобуса).

Робота приладу для вимірювання деформації відбувається наступним чином. При запуску системи вимірювання, в автоматизованому режимі проводиться балансування вимірювального мосту, із затримкою 2000 мс (значення встановлене перепрограмуванням мікроконтролера) для прогріву тензорезисторів. Вимірювання деформацій проводиться у одиницях відносної деформації (овд).

Перед початком випробування наклеюються тензодатчики у місцях, що підлягають дослідженню, припаюються до з'єднувальних провідників, ізолюються, герметизуються та дається витримка часу для повного висихання. Тензорезистори наклеюються клеєм з мінімальним значенням повзучості [1] (наприклад Loctite 4208). Вимірювальний прилад підключається до ПК 1 через кабель 2. Екранований провідник 8 з'єднується з роз'ємом 7. Корпус приладу з'єднується з масою автобуса. Потім включається графічний інтерфейс системи контролю деформації та проводиться встановлення «нуля» вимірювання в автоматичному режимі. Тільки після встановлення системи в «нуль» потрібно завантажити баласт в автобус (величина баласту вибирається залежно від методики дослідження). Живлення приладу здійснюється через порт USB ПК 1 та не потребує додаткового джерела.

В процесі вимірювання деформації з вимірювального мосту надходить напруга до підсилювача та АЦП 4, а далі цифровий сигнал надходить до цифрових входів плати 3. З плати мікроконтролера 3 сигнал передається через кабель 2 на порт USB ПК 1.

Після проведення вимірювання інтерфейс закривається та відключається вимірювальний прилад від ПК.

Розроблений прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса, забезпечує швидкодію передачі сигналу з частотою до 15 МГц (за рахунок застосування прогресивної мікросхеми, що використовується в платі Arduino Mega 2560), високу

завадостійкість (за рахунок використання завадостійкої плати АЦП та підсилювача, додаткового їх екранування, застосування екранованого корпусу приладу та з'єднання маси всіх елементів між собою) та вібростійкість (прилад має гумові віброопори), низьке енергоспоживання (живлення приладу здійснюється через USB-порт) та собівартість.

Тарування приладу проводиться з використанням спеціальної установки з гвинтовим пресом (рис. 3).

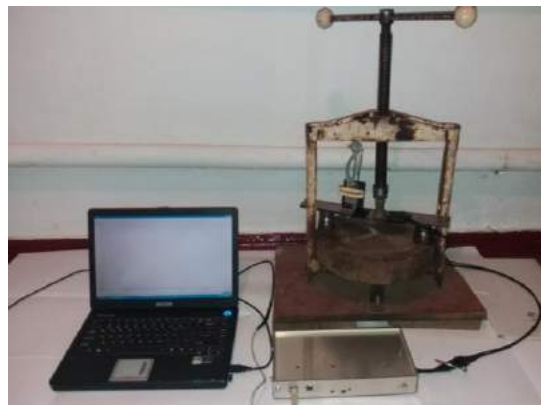


Рис. 3. Установка для тарування приладу

Тензорезистори наклеюються на спеціально виготовлену пружну балку, з розмірами 500x40x10 мм. Матеріал балки – Сталь 65Г. Виводи тензорезисторів з'єднуються за мостовою схемою у відповідності до резисторів розміщених в корпусі основного блока приладу за допомогою екранованих провідників. Тарувальна балка встановлюється на двох опорах по центру під гвинтом пресу (рис. 3). До балки, навпроти наклеєних тензорезисторів, притискається механічний тензометр Гугенбергера за допомогою спеціальної струбцини. База тензометра рівна базі наклеєних тензорезисторів і дорівнює 20 мм. Тому тензометр встановлюється таким чином, щоб база тензометра і тензорезисторів чітко співпадали. Похибка механічного тензометра складає 15 овд.

Зміна ступеню деформації здійснюється із чергуванням через кожні 50 овд, від 0 до 3000 овд. Отримані під час тарування покази тензометра Гугенбергера та покази на моніторі вносяться до таблиці. На основі табличних даних отримано тарувальні коефіцієнти та внесені до програми, що записана в мікроконтролер.

Потім для перевірки працездатності приладу для вимірювання деформацій труб каркасу кузова автобуса, взято зразки тих самих

труб, з яких виготовляється каркас кузова на АТ «Черкаський автобус» розмірами: 40x40 мм, 60x40 та 140x60 мм. На ці труби приклеєні тензорезистори відповідно до тарування та випробувань деформацій кузова – по одному тензорезистору на протилежних сторонах профілю труби навпроти один одного.

Деформація зразків труб проводилась на гідравлічному пресі 2ПГ-125 [6] (рис. 4), що знаходиться в лабораторії «Опору матеріалів» в Черкаському державному технологічному університеті. Максимально можливе навантаження даного пресу складає 125 т.



Рис. 4. Лабораторні випробування на працездатність розробленого приладу

Деформація зразків проводилась до появи текучості матеріалу, за межами якої вже не буде справедливий закон Гука. В результаті лабораторних випробувань, встановлено, що в межах дії закону Гука покази механічного тензометра відповідають значенням, що виводяться на монітор ПК. Таким чином точність вимірювання розробленого приладу лежить в межах похибки механічного тензометра та максимальне відхилення не перевищує 15 оvd.

Під час дослідження деформацій в елементах каркасу кузова автобуса важливо також вимірювати швидкість автобуса із заданою точністю, що не можна отримати при фіксації показів штатного спідометра. При цьому також важливо отримувати діаграми: розгону, сповільнення, екстреного гальмування та паралельно записувати величину деформацій. Фіксація показів спідометра за допомогою відеокамери, при неналежній точності, ще і ускладнює обробку отриманої інформації. Для вимірювання швидкості руху автобуса, запису інформації в комплексі з розробленим приладом, ефективно буде працювати спеціальний діагностичний прилад G-IDSS [7] із ліцензійним програмним забезпе-

ченням для діагностики автобусів на агрегатній базі Isuzu (рис. 5).



Рис. 5. Діагностичний прилад G-IDSS під час діагностики

Діагностичний прилад G-IDSS збирає дані з чотирьох датчиків системи ABS та показує швидкість на кожному колесі автобуса. Для контролю швидкості автобуса автоматично обчислюється середнє значення за результатами фіксації віх чотирьох датчиків. Розраховані значення у вигляді числових значень та часових діаграм виводиться на монітор ПК. Програмне забезпечення G-IDSS дозволяє записувати в реальному часі будь-які діагностичні параметри, в тому числі й швидкість руху автобуса.

Таким чином одночасний запис величини деформації досліджуваних елементів каркасу кузова автобуса за допомогою розробленого приладу та запис швидкості автобуса стандартним діагностичним приладом G-IDSS дозволяють коректно та достовірно отримувати результати дослідження.

### Висновки

Вимірювальний комплекс, що складається з розробленого приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору та діагностичного приладу G-IDSS, дозволяє проводити дослідження та виконувати синхронний запис отриманих результатів.

Основними перевагами розробленого приладу є: доступність, компактність, віб्रो-стійкість, завадостійкість, простота налаштування, автоматичне балансування вимірювального мосту, низьке енергоспоживання та відсутність потреби у додатковому джерелі живлення, що і підтверджує доцільність даної розробки.

Враховуючи ряд переваг, вимірювальний комплекс дозволяє проводити випробування автобуса на реальному маршруті при постійному русі пасажиропотоку. Отримані таким чином результати досліджень, при фіксації швидкісних режимів із одночасною фіксацією деформацій елементів каркасу кузова автобуса, можуть бути використані для отримання статистичних даних та імовірності виникнення навантажень різних величин. На основі цих досліджень можна адекватно розрахувати довговічність каркасу кузова автобуса до заданих умов експлуатації.

За необхідності, розроблений прилад дозволяє підключити декілька пар тензодатчиків, шляхом встановлення додаткових комплектів АЦП та корекцією програми управління (таку можливість вже передбачено при створенні програми в середовищі C++).

При зміні тензорезисторів на інші [8] (навіть при використанні таких самих номіналів, але з іншої партії), а також інших чинників (використання іншого клею, з'єднувальних провідників іншого перерізу тощо), що можуть вплинути на зміну параметрів вимірювання, потрібно обов'язково провести тарування приладу за представленою методикою.

Подальший розвиток конструкції приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору буде при використанні можливості підключення до мобільних приладів з системою Android (наприклад через Wi-Fi, чи Bluetooth з'єднання) та розробкою мобільних додатків.

#### Література

1. Макаров Р.А., Ренский А.Б., Боркунский Г.Х. и др. Тензометрия в машиностроении. Москва: Машиностроение, 1975. 288 с.
2. Каталог испытательного и измерительного оборудования Zetlab: Федеральный информационный фонд отечественных иностранных каталогов на промышленную продукцию, 2012. 91 с.
3. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
4. Харви Дейтел, Пол Дейтел. (2000) Как программировать на C. Москва: ЗАО «Издательство БИНОМ», 2000. 1008 с.
5. Bjarne Stroustrup. A Tour of C++ (C++ In-Depth Series) 2nd Edition, 2018. 256 p.
6. Веретільник Т.І., Дифучін Ю.М., Мисник Л.Д., Смоляр А.М. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Опір матеріалів» для студентів інженерно-

технічних спеціальностей усіх форм навчання. Черкаси: ЧДТУ, 2012. 61 с.

7. G-IDSS. Global Isuzu Diagnostic System. Tokyo: Isuzu, 2016. 47 p.
8. Karl Hofhans. An introduction to measurements Strain Gages. 2015. 357 p.

#### References

1. Makarov R.A. (1975) Tensometrija v maschinostroenii. [Measuring of deformations is in an engineer] Moskva: Maschinostroenie, [in Russian].
2. Katalog ispitatel'nogo i izmeritel'nogo oborudovanija Zetlab: Federalnij informacionnij fond otechestvennich inostrannich katalogov na promichlennuyu produkciju (2012) [Catalogue of proof-of concept and measuring equipment of Zetlab : the Federal informative fund of home foreign catalogues on industrial products]. [in Russian].
3. Arduino. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/> (Last accessed: 10.03.2020).
4. Harvi Deitel, Pol Deitel. (2000) Kak programmirovat na C. [How to program in C] Moskva: ZAO «Izdatel'stvo BINOM». 1008 p. [in Russian].
5. Bjarne Stroustrup. A Tour of C++ (C++ In-Depth Series) 2nd Edition, 2018. 256 p.
6. Veretilnik T.I., Difuchin Yu.M., Misnik L.D., Smoljar A.M. (2012) Metodichni vcasivki do viconannja laboratornich robit z discipliny «Opir materialiv» dlja studentiv ingenerno-technichnic spezialnostej usich form navchannja. [Methodical instructions for carrying out laboratory work in the discipline «Mathematical Resistance» for students of engineering and technical specialties of all forms of study] Cherkasy: CSTU. 61 p. [in Ukrainian].
7. G-IDSS. Global Isuzu Diagnostic System. Tokyo: Isuzu, 2016. 47 p.
8. Karl Hofhans. An introduction to measurements Strain Gages. 2015. 357 p.

**Рубан Дмитро Петрович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban\_dimon@ukr.net  
<sup>1</sup>АТ „Черкаський автобус”, вул. Різдва, 292, Черкаси, 18036, Україна.

#### Измерительный комплекс деформаций элементов каркаса кузова автобуса в эксплуатационных условиях

**Аннотация.** Разработан прибор для измерения деформации элементов каркаса кузова автобуса с помощью изменения деформационного сопротивления. Прибор - недорогой, доступный, помехостойкий с высоким быстродействием. В комплексе с диагностическим оборудованием автобусов на агрегатной базе Isuzu и современной компьютерной техникой открывается возможность проведения высокоточных исследований.

**Ключевые слова:** автобус, элементы каркаса кузова, напряжения, деформация, тензомер, тензорезистор.

**Рубан Дмитрий Петрович**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, +38 097-189-77-57, ruban\_dimon@ukr.net  
<sup>1</sup>АО „Черкасский автобус”, ул. Рождественская, 292, Черкассы, 18036, Украина.

### **Measuring complex of deformation of a bus body frame elements in operating conditions**

**Abstract. Problem.** The development of electronics and microprocessor technology at the present stage allows for the introduction of new means of diagnostics and research of road vehicles. Trends in the development of electronic tools are aimed at the development of universal circuits that allow you to build devices with a diverse range of tasks. Thus, modern electronic means allow to create devices of a new mobile structure for measuring deformation of elements of a frame of a bus body by means of changing deformation resistance. **Goal.** Thus, the purpose of the work is to develop a measuring complex, which must be based on an instrument for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by changing the deformation resistance in operating conditions. **Methodology.** It is necessary to create such a complex, which will be based on the device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame changing the deformation resistance.

The device must be affordable, have low cost, high speed signal transmission and processing.

**Results.** The device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by means of changing the deformation resistance was developed. The appliance is inexpensive, affordable, high-speed. In conjunction with Isuzu-based bus diagnostic equipment and state-of-the-art computer technology, high-precision research is possible. **Originality.** A new device for diagnostics and determination of deformation of bus body frame elements has been developed and manufactured. A new program has been created and the device's microcontroller has been programmed for the tasks. **Practical value.** Measuring complex consisting of the developed device for measuring the deformation of the elements of the bus body frame by changing the deformation resistance and the G-IDSS diagnostic device, allows to carry out research and to perform synchronous recording of the obtained results.

**Key words:** bus, elements of the body frame, stress, deformation, strain gauge, strain gauge resistor.

**Ruban Dmytro Petrowich**<sup>1</sup>, Cand. tech Sciences, Associate Professor, +38 097-189-77-57, ruban\_dimon@ukr.net

<sup>1</sup>JSC «Cherkasy bus», 18036, Ukraine, Cherkasy, 292, Rizdwanja.



## АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПЕКОЮ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УКРАЇНІ

Птиця Г. Г.<sup>1</sup>, Абрамова Л. С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** В статті розглянуто підходи до побудови ефективної структури системи управління безпекою дорожнього руху. Визначені вимоги до системи управління безпекою дорожнього руху з урахуванням мети, задач та функцій даної системи. Наведено результати порівняльного аналізу досвіду провідних країн світу, з краєцями за Україну показниками безпеки, щодо основних складових системи. В результаті аналізу виділено основні складові вітчизняної системи управління безпекою, удосконалення/побудова яких може суттєво підвищити ефективність функціонування системи управління та підвищити рівень безпеки дорожнього руху в Україні.

**Ключові слова:** безпека дорожнього руху; система управління безпекою дорожнього руху; елементи СУБДР; нормативні документи країн світу щодо безпеки руху.

### Вступ

Надійність автомобільних перевезень як пасажирських, так і вантажних життєво важлива для економічного зростання і соціального розвитку суспільства [1]. Україна, як держава з одним із низьких показників безпеки, повинна більш інтенсивно реагувати на заходи провідних світових країн та долучатися до світових програм із розробкою конкретних заходів.

На теперішній час в Україні діє велика кількість нормативних документів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху. Частина з

яких розроблена самостійно, а частина є імплементованими міждержавними нормами: 5 регламентів, 11 законів, 25 постанов Кабінету міністрів України, одним з яких є Положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (СУБР на АТ). Всі ці документи спрямовані на підвищення безпеки дорожнього руху (БДР) та удосконалення системи управління безпекою дорожнього руху (СУБДР) в цілому. Наочність впливу державних нормативних заходів на БДР наведено на рис. 1, який доводить необхідність подальших досліджень у даній галузі.

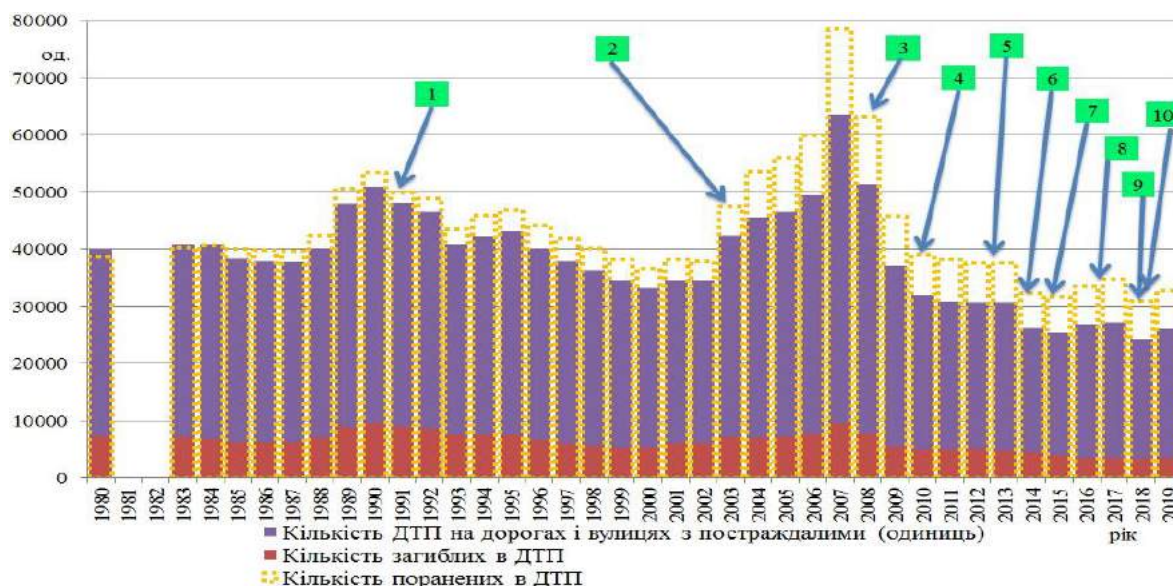


Рис. 1. Аварійність та її наслідки в Україні з урахуванням заходів удосконалення БДР: 1 – Незалежна Україна; 2 – положення СУБР на АТ; 3 – всесвітня фінансова криза; 4 – програма підвищення БДР 2010-2020рр.; 5 – зменшення підзвітної території; 6 – реформа ДАІ, Укравтодору та ін.; 7 – збільшення штрафів; 8 – ДСТУ ISO 39001:2015; 9 – обмеження швидкості руху транспортних засобів; 10 – Держ програма підвищення БДР 2018-2020 рр.

### Аналіз публікацій

Функціонування будь якої системи підпорядковується певним цілям і завданням. Загальний вектор, що задає цільові функції системи в Україні, формують загальнонаціональні програми підвищення БДР на певні періоди (до 2012р; до 2015р.; до 2020р.). Аналізу реалізації існуючих програм присвячено багато публікацій вітчизняних та закордонних експертів: Л. С. Абрамова, R. Elvik, В. П. Поліщук, В. А. Гудков, В. Д. Герамі, А. В. Вельможин, С. А. Матійко, Т. Ваа, Л. Б. Міротін, Н. М. Оніщенко, J. Barker, Дж. Х. Харрінгтон, В. В. Аулін, К. Jamroz, В. Д. Кондратєв, Д.В. Капський, G. Yannis, T. Bliss, E. Dupont, N. Muhlrad, K. Lipovac, L. Mooren, F. Wegman, A. Varhelyi та ін.

У дослідженнях вітчизняних та закордонних вчених виділяються причини низького рівня БДР в Україні [2], а саме:

- низький рівень дорожньої дисципліни;
- не забезпечення невідворотності покарання за порушення ПДР;
- низький рівень координації дій за рівнями «центр-місцеві»;
- низький рівень фінансування;
- не забезпечення підвищення кваліфікації;
- низька ефективність заходів підвищення БДР;
- не ефективність системи контролю за безпекою автомобільного транспорту;
- низький рівень комунікації з громадськістю;
- відсутність інтегрованої системи мобільності;
- недосконалість післяаварійних заходів.

Зменшити вказані недоліки пропонуємо на підставі розробки ефективної структури СУБДР. Розуміння об'єкту управління в СУБДР починається у його визначення [3]: «Безпека дорожнього руху це – стан процесу (системи) дорожнього руху, що визначає ступень (рівень) захищеності учасників дорожнього руху від ДТП та їх наслідків». Дане визначення формує вимоги до СУБДР. Саме управління БДР передбачає керування процесом для досягнення БДР і визначається як – підготовка, прийняття, реалізація управлінських рішень із здійснення організаційних технічних та інших заходів на автомобільному транспорті, спрямованих на забезпечення безпеки, збереження здоров'я людини та навколишнього середовища [4].

Згідно з Наказом міністерства транспорту України №877 від 12.11.2003 затверджено

«Типове положення про систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (на всіх рівнях міністерство-підприємство)». З 01.07.2017 року в Україні діє Держстандарт у сфері БДР [5] – ДСТУ ISO 39001:2015 «Система управління безпекою дорожнього руху», що формує вимоги та настанови застосування (ISO 39001:2012, ITD), до яких належать наступні положення, які потребують розробки та впровадження.

1. Системи менеджменту БДР на підприємстві та практичних аспектів проведення аудиту, навчання персоналу і впровадження СУБДР.

2. Формування політики на підприємстві у сфері БДР із визначенням ролі керівництва з організації менеджменту БДР.

3. Організацію функціонування системи менеджменту БДР із визначенням процедур у сфері БДР.

4. Систему сповіщень про ДТП.

5. Виявлення та аналіз факторів небезпек в дорожньому русі.

6. Методології виявлення ризиків БДР та управління факторами ризику.

7. Визначення показників ефективності БДР.

8. Удосконалення процесу розслідування ДТП.

9. Проведення аудиту з питань організації та дієвості СУБДР.

### Мета та постановка задачі

Підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на підставі удосконалення системи управління безпекою дорожнього руху за результатами порівняльного аналізу існуючих світових підходів до вирішення проблеми безпеки на автомобільному транспорті.

### Аналіз досвіду побудови структури СУБДР

Головна мета СУБДР – забезпечення безпечного перевезення пасажирів та вантажів із зниженням негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Принципи функціонування СУБДР: системність дій; випередження виникнення ДТП; інформованість учасників дорожнього руху; виявлення та усунення недоліків у сфері БДР; відповідність потенційним загрозам при зміні дорожніх умов (адекватність); відповідальність за прийняття рішень.

Означені принципи формують основні етапи управління для досягнення мети функціонування системи, які можливо розподілити

на комплекси (рис. 2) [5]. Для реалізації визначених функцій запропоновано структурно-функціональну схему управління безпекою на

автомобільному транспорті, яка відображає зв'язки між елементами системи з вказанням відповідного функціоналу [4].



Рис. 2. Функції управління в системі управління безпекою руху на автомобільному транспорті

Але, сформовані та діючі документи щодо управління БДР не забезпечують належного рівня безпеки на дорогах України. Органи управління продовжують роботу по підвищенню безпеки, в тому числі і залучаючи провідних вчених інших країн з успішним досвідом побудови та удосконалення СУБДР. Одним з таких проєктів є «Посібник. Система управління безпекою руху на автомобільному транспорті» [6]. Цей Посібник було розроблено в рамках Партнерського проєкту Європейського Союзу Твіннінг «Підтримка Міністерства інфраструктури України з питань підвищення безпеки комерційних автоперевезень» (номер UA/14/ENP/TR/43). Система управління безпекою руху відповідно до проєкту Закону «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України у сфері автомобільного транспорту з метою приведення їх у відповідність з актами Європейського Союзу» (ст. 34-36) – структурована та задокументована система взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів автоперевізника, суб'єкта господарської діяльності, який утримує транспортні засоби відповідно до управління безпекою руху на автомобільному транспорті, щоб встановити політику, завдання та відповідні процеси досягнення таких цілей.

Проведений аналіз дозволив виявити різні підходи до формування СУБДР де постій-

ними етапами є визначення «причини» та формування «дії», які повинні супроводжуватись виконанням відповідного критерію ефективності. Прикладом такої взаємодії може бути виявлена залежність кількості ДТП від реалізованих заходів у Фінляндії [7].

Підхід до реалізації «всевибачлива інфраструктура» [8], попереджає виникнення ДТП або забезпечує пом'якшення їх наслідків для всіх учасників дорожнього руху (в тому числі незахищені, малозахищені), що зафіксовано в Директиві ЄС 2008/96/ЄС [9]. Цей факт свідчить, що при управлінні БДР необхідно прагнути не до досконалого учасника руху, а до досконалих елементів управління дорожнім рухом. Тому Директива Європарламенту по управлінню БДР включає чотири основних напрямку діяльності [10]:

- оцінка впливу на БДР (RIA);
- аудит БДР (RSA);
- ранжування ділянок за БДР (RSR);
- інспекція БДР (RSI).

Саме на такому підході базуються побудова систем управління БДР більшості країн Європи. Етапи проведення аудиту БДР, показники його застосування та практичні рекомендації щодо їх застосування, розроблені авторами та наведені в роботах [11,12]. Використовуючи даний підхід вітчизняні вчені [13] запропонували своє бачення системи управ-

ління безпекою руху на автомобільних дорогах. Однак, слід відзначити, що запропонована в цій роботі структура системи не відповідає структурі СУБДР. Тому вказана схема є більш алгоритмом проведення аудиту БДР ніж управлінням безпекою руху на автомобільних дорогах.

Визначено що рівень якості СУБДР залежить від якості технічних засобів, кваліфікації фахівців, залучених в систему, якості організаційної роботи щодо управління безпекою дорожнього руху (рис. 3) та повинна виконувати наступні функції [14]:

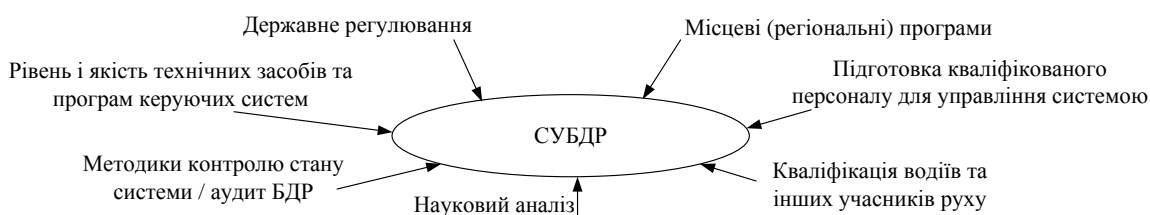


Рис. 3. Напрямки діяльності в межах СУБДР

За результатами об'ємного Європейського дослідження DaCoTA з питань безпеки дорожнього руху та побудови систем, що спрямовані на зменшення відповідних ризиків виникнення ДТП [15], сформовані вимоги до політики формування управління БДР в Європі, основними

- проводити незалежний фаховий аналіз причин ДТП, без протоколів інспекторів;
- проводити аналіз ефективності заходів зниження ризиків ДТП та аналіз втрат від ДТП;
- реалізовувати планування заходів на поточний/середньостроковий/ довгостроковий термін;
- визначати відповідальність центральних, регіональних та місцевих органів управління за стан БДР.

складовими якої є функції управління структурою, розробка елементів управління БДР, аналіз результатів [16]. Аналогічний підхід до побудови дієвої СУБДР запропоновано для реалізації у країнах БРІК [17] та у звітах щодо аналізу БДР в світі ООН [18], рис. 4.



Рис. 4. Структура успішної СУБДР

Система за даною структурою повинна послідовно функціонувати на різних рівнях ієрархії: державному, регіональному, міському, фахових організацій. А оцінка реакції системи на дії щодо зміни параметрів функціонування СУБДР повинна здійснюватися послідовно в зворотному порядку, з нижнього до найвищого. У загальному вигляді принципову схему управління безпекою дорожнього руху наведено узагальненими блоками, рис. 5 [15].

Наведені результати аналізу структури СУБДР співпадають із відомою Європейською практикою побудови СУБДР, що реалізує підхід до управління по «4 Р» [6]: Філософія (Philosophy) – усвідомлення загроз, встановлення стандартів, відповідальність кожного; Політика (Policy) – відповідальність, організаційні процеси, розвиток навичок і знань; Процедури (Procedures) – вказівки для персо-

налу, здійснення моніторингу, засоби планування, організації, контролю; Практичне втілення (Practical embodiment) – дотримання

процедур, дотримання концепції (не зважаючи на складність), вжиття дій у разі виявлення загрози.



Рис. 5. Принципова схема управління безпекою дорожнього руху

Отриманий результат функціонування СУБДР можна надати як сукупний продукт від виконання підходу «4Р» у вигляді взаємодії множин (рис. 6).

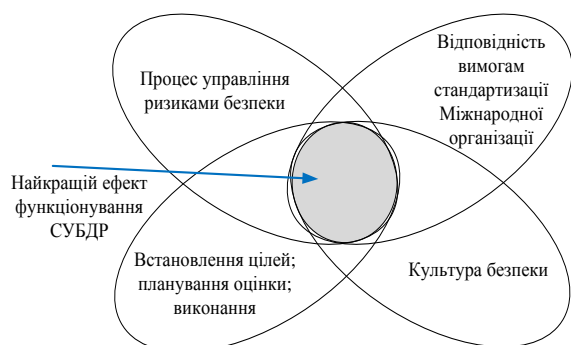


Рис. 6. Діаграма Венна функціонування СУБДР

Із отриманих результатів аналізу структур СУБДР різних країн (Польща, Португалія, Бразилія, Росія, Сербія, Франція, Ізраїль, Австралія, США) та принципів їх функціонування можна виділити головні вимоги до сталого функціонування системи.

1. Першою вимогою є повнота, оперативність та доступність даних про ДТП та їх особливостей для фахових організацій, які входять до структури СУБДР. Для збору та обробки відповідної інформації про ДТП в роботі [19] запропоновано формувати спеціальний «бюлетень», який повинен містити характеристики події, місце ДТП та стан учасників. При цьому необхідно мінімізувати перелік параметрів, що визначаються «бюлетенем», з урахуванням вимог організацій, які належать до

СУБДР для: створення надійного програмного середовища введення даних з «бюлетеней» ДТП із доступним інтерфейсом; агрегування даних; побудова ієрархії виконання етапів управління БДР, що базується на критеріях, до яких належать: співвідношення витрат на реалізацію заходів до можливих втрат від бездіяльності; рейтинг вірогідності виникнення ризику (частота ДТП); рейтинг за рівнем небезпеки (тяжкість ДТП); рейтинг за інтенсивністю користування аварійної ділянки.

Критерій співвідношення витрат може об'єднати решту, але при цьому може бути складним для розрахунку, оскільки повинна існувати єдина система визначення соціально-економічних витрат від ДТП та витрат на реалізацію заходів. На сьогодні в Україні подібна система оцінки втрат не існує, хоча і була складовою «Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року». Але в більшості країн Європи така оцінка займає своє вагомe місце в СУБДР. Наприклад в Португалії обсяги соціально-економічних втрат від ДТП складають [19]: смерть у ДТП оцінюється у 125000 євро; травмування у ДТП – 17000 євро. Для ефективного використання наведених критеріїв ієрархії заходів з підвищення БДР важливим є наповнення бази даних та бази знань оцінки ефективності їх впровадження.

2. Другою вимогою до ефективної СУБДР є «орієнтація на результат» [16]. Дана вимога сприяє встановленню ефективної системи управління безпекою дорожнього руху, оскільки на етапі розробки завдання формуються кри-

терії ефективності її функціонування та встановлюються вимоги до відповідальності залучених організацій.

В наслідок реформи ряду державних структур України (МВС, МОЗ, Міністерство раннього спорту, Укравтодор) існують зміни до структури СУБДР, по-перше, це стосується системи аналізу аварійності, порядку реєстрації, збору, зберігання та дослідження показників аварійності на автомобільному транспорті. Відсутність чіткої методики збору, обробки і аналізу відповідної інформації про ДТП, негативно впливає на функції всієї системи та дестабілізує роботу СУБДР. Дана система повинна мати апарат адаптації системи до зміни умов її функціонування.

Основою внутрішнього апарату аналізу та науково-аналітичного прогнозування параметрів ефективності функціонування СУБДР може/повинен стати науковий потенціал дер-

жави, який сконцентровано в науково-дослідних та науково-освітніх центрах. До таких установ можна віднести ХНАДУ, ДерждорНДІ, НТУ, НДЕКЦ, ВООЗ, Червоний хрест, які мають висококваліфікованих спеціалістів у відповідних галузях знань.

На теперішній час в Україні не існує кваліфікаційних вимог до претендентів на посади в структурі СУБДР (голів та співробітників відповідних відділів на всіх рівнях ієрархії у системі управління). Це наносить суттєву шкоду всій системі в питаннях планування мобільності населення, планування та організації закупівель відповідних фахових робіт чи досліджень з підвищення безпеки дорожнього руху, за контролем їх виконання. Відомий спосіб удосконалення державного механізму підвищення ефективності у сфері безпеки дорожнього руху надано [20] у вигляді схеми, рис. 7.

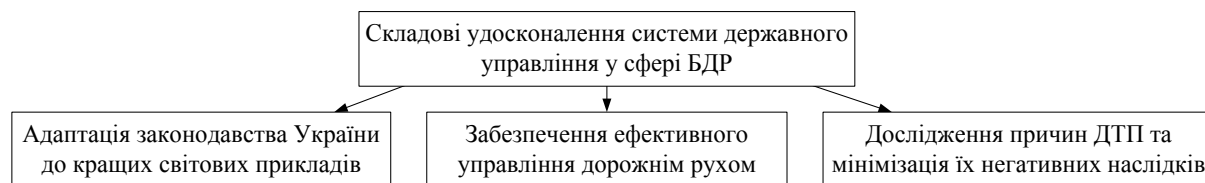


Рис. 7. Складові удосконалення системи державного управління у сфері БДР

### Висновки

Стан СУБДР України, точніше її відсутність та стан безпеки руху в країні вказують на необхідність радикальних та чітких дій щодо формування або удосконалення чіткої структури з відповідними підходами до підпорядкування, із визначенням завдань та відповідальністю за їх виконання. Цей процес можливо організувати шляхом інноваційної вітчизняної діяльності із залученням фахівців провідних установ та організацій. Погляд авторів на інноваційні рішення щодо розвитку СУБДР було наведено в роботі [21] що може урахувати, при подальших дослідженнях, сучасний досвід країн-лідерів з безпеки дорожнього руху – «Бенчмаркінг». Урахування результату порівняння показників України та країн-лідерів, є необхідним та дієвим заходом з позиції ефективності функціонування СУБДР. Слід зазначити, що «Бенчмаркінг» не є новим підходом в удосконаленні безпеки дорожнього руху який містить переліки напрямків дій по формуванню СУБДР [22], однак в Україні відповідних досліджень не опубліковано.

До основ цього процесу належать заходи: встановлення «бенчмаркінгу» проекту; вибір команди та тренінг/підготовка; визначення

процесів та показників для порівняння; проведення аналізу процесів управління; вибір партнерів/донорів «бенчмаркінгу» (підбір відповідних процесів/систем); налагодження відносин та проведення зустрічей; аналіз стану та розробка стратегій покращення стану БДР.

На підставі проведеного аналізу проблемних питань у вітчизняній системі управління безпекою дорожнього руху та завдань, принципів, функцій і підходів до побудови структури СУБДР, методів встановлення ефективної взаємодії учасників системи, способів досягнення належних показників ефективності її функціонування, вважаємо, що дієвим та прийнятним методом побудови чи удосконалення СУБДР в Україні можна обрати «бенчмаркінг» або SWOT-аналіз, за умов наявності інституційної, інтелектуальної та технічної готовності країни, регіону, міста, підприємства.

### Література

1. Аулін В. В., Голуб Д. В. Нормативно-правове забезпечення надійності функціонування транспортних систем в Україні. *Вісник ЖДТУ*. 2016. № 2 (77). С. 28–35.
2. Степанов О. В. Сучасні причини виникнення проблем безпеки дорожнього руху. *Вестник ХНАДУ*. 2015. № 68. С. 118–122.

3. Безпека дорожнього руху. Терміни та визначення понять: ДСТУ 2935:2018. Чинний від 01.06.2019р. ДП «УкрНДНЦ» № 298 від 23.08.2018р. С. 20.
4. Типове положення про Систему управління безпекою руху на автомобільному транспорті (на всіх рівнях - міністерство - підприємство). Наказ Міністерства транспорту України 12.11.2003 № 877. С. 65.
5. Системи управління безпекою дорожнього руху. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT): ДСТУ ISO 39001:2015. Чинний від 01.01.2016р. ГП "ДЕРЖАВТОТРАНСПОРТПРОЕКТ" № 101 від 29.10.2015р. С. 30.
6. Система управління безпекою руху на автомобільному транспорті. Посібник. Партнерський проект Європейського Союзу Твіннінг «Підтримка Міністерства інфраструктури України з питань підвищення безпеки комерційних автоперевезень» (номер UA/14/ENP/TR/43), 2016. С. 123.
7. Кравченко П. А., Олещенко Е. М. Системный подход в управлении безопасностью дорожного движения в Российской Федерации. «Транспорт Российской Федерации». 2018. № 2 (75). С. 14–18.
8. Global Framework Plan of Action for Road Safety. United Nations Road Safety Trust Fund. UNRSTF/AB/2018(1)/4/Rev.1-UNRSTF/SC/2018(1)/4/Rev.1. 21 November 2018, Geneva. P. 36.
9. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589356130127&uri=CELEX:32008L0096> (дата звернення: 11.03.2020).
10. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Ширін В. В., Капінус С. В., Птиця Г. Г. Аудит безпеки дорожнього руху: підручник під заг. ред. І. С. Наглюка. Харків, 2016. 260 с.
11. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Ширін В. В., Птиця Г. Г. та ін. Практикум з проведення аудиту безпеки дорожнього руху. Навч. посібник. Харків, 2019. 140 с.
12. K. Jamroz, M. Budzyński, W. Kustra, L. Michalski, S. Gaca. Tools for road infrastructure safety management – Polish experiences. *17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, EWGT2014*, 2-4 July 2014, Sevilla, Spain. *Transportation Research Procedia*. 2014. № 3. P. 730–739.
13. Бондар Т. В., Бородіна Н. А., Пина О. Г. Аудит безпеки автомобільних доріг. *Дороги і мости*. 2018. № 18. С. 171–181.
14. Редзюк А. М., Хабутдінов А. Р. Основні напрямки вдосконалення управління безпекою дорожнього руху. *Автошляховик України: науково-виробничий журнал*. 2017. №1-2 (249-250). С. 18–21.
15. E. Dupont, H. Martensen, E. Papadimitriou, G. Yannis, N. Muhlrad et al. *Deliverable 1.2 Road safety management investigation model and questionnaire*. IFSTTAR - Institut Francais des Sciences et Technologies des Transports, de l'Amenagement et des Reseaux. 2011. P. 78.
16. ERSO (2008). Road Safety Management, European Road Safety Observatory, retrieved November 28, 2008. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist\\_en](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist_en). (дата звернення: 17.03.2020).
17. J. Luoma, M. Sivak. Road-safety management in Brazil, Russia, India, and China. *The University of Michigan, Transportation Research Institute*. Report No. UMTRI-2012-1, January 2012. P. 35.
18. Bliss A., Breen J. M. Implementing the recommendations of the world report on road traffic injury prevention. Country guidelines for the conduct of road safety management capacity review and the specification of lead agency reforms, investment strategies and safe system projects. *Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*. Retrieved on November 8, 2011. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/712181469672173381/pdf/81598-PUBLIC.pdf>. (дата звернення: 17.03.2020).
19. C. G. Carvalheira, L. Picado-Santos. A road safety management system for medium-sized towns. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer*. 2008. № 161. P. 111–116.
20. Товстуха С. О. Актуальні питання щодо удосконалення державноуправлінських механізмів забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні. *Держ. упр.: удосконалення та розвиток*. 2010. № 12. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=230>. (дата звернення: 15.03.2020).
21. Птиця Г.Г., Абрамова Л.С., Ширін В.В. Формування інноваційних рішень для системи управління безпекою дорожнього руху. *Автомобільний транспорт та інфраструктура: І Міжнародна науково-практична конференція*. (Київ, 26–28 квітня 2018). Київ. 2018. С. 140–143.
22. L. Mooren, B. Searles, A. Benc, K. Creef, J. Wall. Benchmarking for effective work related road safety management. *Occupational Safety in Transport Conference, Gold Coast*. 9-10 September, 2012. P. 1–10. URL: [https://www.researchgate.net/publication/244479022\\_Benchmarking\\_for\\_effective\\_work\\_related\\_road\\_safety\\_management](https://www.researchgate.net/publication/244479022_Benchmarking_for_effective_work_related_road_safety_management). (дата звернення: 12.03.2020).

#### Reference

1. Aulin V. V., Golub D. V. (2016) Normatyvno-pravove zabezpechennya nadijnosti funkcionuvannya tra-nsportny`x sy`stem v Ukraini. [Regulatory and legal support of the reliability of transport systems in Ukraine] *Visny`k ZhDTU*. 2 (77). 28–35. [in Ukrainian].
2. Stepanov O. V. (2015) Suchasni pry`chy`ny` vy`ny`knennya problem bezpeky` dorozhn`ogo ruxu. [Modern causes of emergence of road traffic

- safety problems]. *Vestnyk XNADU*. 68. 118–122. [in Ukrainian].
3. DSTU 2935:2018. (2019) Bezpeka dorozhn`ogo ruxu. Terminy` ta vy`znachennya ponyat` [Road safety. Terms and definitions]. Ky`yiv. 20. [in Ukrainian].
  4. Ty`pove polozhennya pro Sy`stemu upravlinnya bezpekoyu ruxu na avtomobil`nomu transporti (na vsix rivnyax - ministerstvo - pidpry`yemstvo). (2003). [Typical provision on the Road Traffic Safety Management System (at all levels - ministry - enterprise)]. Ky`yiv. 65. [in Ukrainian].
  5. DSTU ISO 39001:2015. (2015) Sy`stemy` upravlinnya bezpekoyu dorozhn`ogo ruxu. Vy`mogy` ta nastanova shhodo zastosuvannya (ISO 39001:2012, IDT) [Road safety management systems. Requirements and instructions for use]. Ky`yiv. 30. [in Ukrainian].
  6. Sy`stema upravlinnya bezpekoyu ruxu na avtomobil`nomu transporti. (2016) [Road transport safety management systems] GUIDE. European Union Twinning Programme projects UA/14/ENP/TR/43. 123. [in Ukrainian].
  7. Kravchenko P. A., Oleshchenko E. M. (2018) Sistemnyj podhod v upravlenni bezopasnost'yu dorozhnogo dvizheniya v Rossijskoj Federacii [A systematic approach to road safety management in the Russian Federation]. «*Transport Rossijskoj Federacii*». 2 (75). 14–18. [in Russian].
  8. Global Framework Plan of Action for Road Safety. United Nations Road Safety Trust Fund. UNRSTF/AB/2018(1)/4/Rev.1-UNRSTF/SC/2018(1)/4/Rev.1. 21 November 2018, Geneva. 36.
  9. Directive 2008/96/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on road infrastructure safety management. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1589356130127&uri=CELEX:32008L0096> (дата звернення: 11.03.2020).
  10. Abramova L. S., Naglyuk I. S., Shy`rin V. V., Kapinus S. V., Ptytsia H. H. (2016) Audy`t bezpeky` dorozhn`ogo ruxu [Road safety audit]. *Pidruchny`k pid zag. red. I. S. Naglyuka*. 260 [in Ukrainian].
  11. Abramova L. S., Naglyuk I. S., Shy`rin V. V., Kapinus S. V., Ptytsia H. H. ta in. (2019) Prakty`kum z provedennya audy`tu bezpeky` dorozhn`ogo ruxu [Workshop on road safety audit]. *Navch. posibny`k*. [in Ukrainian].
  12. Jamroz K., Budzyński M., Kustra W., Michalski L., Gaca S. (2014) Tools for road infrastructure safety management – Polish experiences. *17th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, EWGT2014*, 2-4 July 2014, Sevilla, Spain. *Transportation Research Procedia*. 2014. 3. 730–739.
  13. T. Bondar, N. Borodina, O. Pyna. (2018) Audy`t bezpeky` avtomobil`ny`x dorig [Road safety audit]. *Dorogy` i mosty`*. 18. 171–181. [in Ukrainian].
  14. Redzyuk A. M., Xabutdinov A. R. (2017) Osnovni napryamky` vdoskonalennya upravlinnya bezpekoyu dorozhn`ogo ruxu. [The main directions of improving road safety management] *Avtoshlyaxovy`k Ukrayiny` : naukovovy`robny`chy`j zhurnal*. 1-2 (249-250). 18–21. [in Ukrainian].
  15. E. Dupont, H. Martensen, E. Papadimitriou, G. Yannis, N. Muhlrad et al. *Deliverable 1.2 Road safety management investigation model and questionnaire*. IFSTTAR – Institut Francais des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Reseaux. 2011. 78.
  16. ERSO (2008). Road Safety Management, European Road Safety Observatory, retrieved November 28, 2008. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist\\_en](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist_en). (accessed 17.03.2020).
  17. J. Luoma, M. Sivak. Road-safety management in Brazil, Russia, India, and China. *The University of Michigan, Transportation Research Institute*. Report No. UMTRI-2012-1, January 2012. 35.
  18. Bliss A., Breen J. M. Implementing the recommendations of the world report on road traffic injury prevention. Country guidelines for the conduct of road safety management capacity review and the specification of lead agency reforms, investment strategies and safe system projects. *Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*. Retrieved on November 8, 2011. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/712181469672173381/pdf/81598-PUBLIC.pdf>. (accessed 17.03.2020).
  19. C. G. Carvalheira, L. Picado-Santos. A road safety management system for medium-sized towns. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Municipal Engineer*. 2008. 161. 111–116.
  20. Tovstyha S. O. (2010) Aktual`ni py`tannya shhodo udoskonalennya derzhavnoupravlins`ky`x mexanizmiv zabezpechennya bezpeky` dorozhn`ogo ruxu v Ukrayini [Current questions on improvement of state safety management of traffic in Ukraine]. *Derzh. upr.: udoskonalennya ta rozvy`tok*. 12. URL: <http://www.dy.nayka.com.ua/?op=1&z=230> (accessed 15.03.2020).
  21. Ptytsia H. H., Abramova L. S., Shy`rin V. V. (2018) Formuvannya innovacijny`x rishen` dlya sy`stemy` upravlinnya bezpekoyu dorozhn`ogo ruxu [Formation of innovative solutions for road safety management system]. *Avtomobil`ny`j transport ta infrastruktura: I Mizhnarodna naukovy`prakty`chna konferenciya*. Ky`yiv. 140–143 [in Ukrainian].
  22. L. Mooren, B. Searles, A. Benc, K. Creef, J. Wall (2012) Benchmarking for effective work related road safety management. *Occupational Safety in Transport Conference, Gold Coast*. 9-10 September. 1–10. URL: <https://www.researchgate.net/publication/244479>



022\_Benchmarking\_for\_effective\_work\_related\_road\_safety\_management (accessed 12.03.2020).

**Птиця Геннадій Григорович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. організації та безпеки дорожнього руху, тел. +38050-633-5893, e-mail: gennadij.ptitsa@ukr.net

**Абрамова Людмила Сергіївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. проф. каф. організації та безпеки дорожнього руху, тел. +38057-707-3706, e-mail: abramova\_ls@ukr.net

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

### **Analysis of approaches to the implementation of the road safety management system in Ukraine**

**Abstract. Problem.** Ukraine is one of the countries in Europe with the worst road safety performance. In addition, according to the World Bank, the losses of the Ukrainian economy as a result of road accidents reach 4% of the country's GDP. All this indicates a low level of reliability of road transport and the entire road traffic system. In this situation, Ukraine should intensify its work to improve road safety in order to support the global trend of zero-mortality programs on the roads. A global approach should be based on the establishment and improvement of the road safety management system. **Goal.** The goal is improving road safety in Ukraine based on the improvement of the road safety management system (RSMS) as well as development of recommendations for improving RSMS based on the analysis of existing world approaches to solving the problem of road safety. **Methodology** Analytical methods are used to study approaches to building an effective RSMS structure. Based on the application of system analysis methods, the main structural elements of the RSMS, the tasks of their functioning, requirements and criteria for evaluating the effectiveness of processes in the system are identified. **Results.** The results of a comparative analysis of the experience of the world leading countries in improving the main components of a RSMS are presented. The requirements for the effective functioning of the system are highlighted and described. It has been established that effective measures of individual RSMS elements do not always lead to an increase in the efficiency of the system as a whole. **Originality.** Based on the study of the Ukrainian road safety management system, methods for its improvement are proposed subject to the availability of institutional, intellectual and technical readiness of the country, region, city, enterprise. These techniques take into account the approaches to building the RSMS structure, its tasks, principles and functions. The establishment of effective interaction between the participants of the system and the determination of performance indicators for the RSMS are highlighted as a key improvement stage. **Practical**

**value.** The results of this study can be used to formulate effective programs to improve road safety. Namely, to create a reliable DBMS structure with specific requirements for its elements. Improving the main components of a safety management system can significantly increase the effectiveness of the management system and the level of road safety in Ukraine.

**Keywords:** road safety; road safety management system; RSMS elements; regulatory documents of the world countries on road safety.

**Ptytsia Hennadii**<sup>1</sup>, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of traffic management and safety, tel. +380506335893, gennadij.ptitsa@ukr.net

**Abramova Ludmila**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of traffic management and safety, tel. +380577073706, abramova\_ls@ukr.net

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

### **Анализ подходов к реализации системы управления безопасностью дорожного движения в Украине**

**Аннотация.** В статье рассмотрены подходы к построению эффективной структуры системы управления безопасностью дорожного движения. Определены требования к системе управления безопасностью дорожного движения с учетом целей, задач и функций данной системы. Приведены результаты сравнительного анализа опыта ведущих стран мира, с лучшими чем в Украине показателям безопасности, по основным составляющим системы. В результате анализа выделены основные составляющие системы управления безопасностью, совершенствование / построение которых может существенно повысить эффективность функционирования системы управления и повысить уровень безопасности дорожного движения в Украине.

**Ключевые слова:** безопасность дорожного движения; система управления безопасностью дорожного движения; элементы СУБДР; нормативные документы стран мира по безопасности движения.

**Птиця Геннадій Григорьевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. организации и безопасности дорожного движения, тел. +38050-633-5893, e-mail: gennadij.ptitsa@ukr.net

**Абрамова Людмила Сергіївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. проф. каф. организации и безопасности дорожного движения, тел. +38057-707-3706, e-mail: abramova\_ls@ukr.net

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

## АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ СЕНСОРНИХ ДИСПЛЕЇВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Серіков Г. С.<sup>1</sup>, Серікова І. О.<sup>1</sup>, Смирнов О. П.<sup>1</sup>, Борисенко А. О.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Вирішена важлива науково-практична задача, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність транспортних засобів за рахунок розширення функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в автомобільних і тракторних інформаційних системах.

*Ключові слова:* транспортний засіб, сенсорний дисплей, інформаційна система, система керування.

### Вступ

Інформаційні контрольно-діагностичні системи автомобілів та тракторів є складовою частиною сучасного наземного транспортного засобу. При розгляданні автомобільного бортового обладнання необхідно акцентувати увагу на покращенні параметрів і характеристик існуючих систем та пристроїв. Необхідно також розробляти нові функціональні вузли, системи і блоки для задоволення потреб на сучасні транспортні засоби.

### Аналіз публікацій

Актуальним є аналіз функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в автомобільних і тракторних інформаційних системах, а також створення нетрадиційних для автомобіля бортових систем автоматичного керування (наприклад, бортового реєстратора). Досягнення в області сучасної напівпровідникової та мікроелектронної технології виготовлення електросхем роблять це можливим [1-5].

Виділимо основні причини розвитку автомобільних електронних систем. Їх можна розділити на суб'єктивні та об'єктивні. До суб'єктивних відноситься прагнення додати автомобілю індивідуальності, законодавчі заходи та розповсюдження обчислювальної техніки в сучасному суспільстві.

Експлуатаційні властивості автомобіля досягаються застосуванням електронних систем та наступними їх функціями: управління роботою двигуна та агрегатами автомобіля; відображення інформації водієві, пасажиром, пішоходам та водіям інших автомобілів; зберігання інформації; передача інформації з автомобіля та прийом від зовнішнього середовища [6-10].

Найбільш розповсюджені функції управління і відображення інформації, яким присвячена наступна стаття.

### Мета та постановка задачі

Об'єктом дослідження є процес аналізу функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в автомобільних і тракторних інформаційних системах.

Мета дослідження – підвищення конкурентоспроможності автомобілів та тракторів за рахунок розширення функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в автомобільних і тракторних інформаційних системах.

Метод дослідження заснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу інформаційних систем автомобілів та тракторів, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів.

Предмет дослідження – сенсорні дисплеї, що застосовуються в автомобільних і тракторних інформаційних системах.

Основні задачі дослідження: аналіз сучасних автомобільних і тракторних контрольно-діагностичних інформаційних систем; принципи, критерії та параметри керування двигунами автомобілів та тракторів.

### Сучасна автомобільна і тракторна інформаційна система

Автомобільна і тракторна інформаційно-діагностична система є складовою сучасного автомобіля та трактора і призначена для відображення необхідної інформації стосовно режиму рух та технічного стану автотранспортного засобу, а також обробляє, отримує та зберігає відповідну інформацію про зовнішні чинники. На даний час система «водій - транспортний засіб - дорога - середовище» повинне розглядатися як єдине ціле. На переважених автомагістралях або у складних умовах руху на бездоріжжі поліпшення руху можливо, якщо водій (або тракторист) транс-

портного засобу буде мати оперативну інформацію про транспортні потоки, стан дороги та керованого транспортного засобу.

У всьому світі державні установи сприяють розвитку проектів, які спрямовані на зменшення впливу автотранспортних засобів на екологію навколишнього середовища, також підтримують ідеї які спрямовані на збільшення безпеки транспортних засобів та збільшенню пропускної здатності автошляхів у містах та великих магістралях. є підвищення ефективності та умов праці трактористів, а також зменшення забруднення навколишнього середовища під час праці у сільськогосподарських угіддях. Для цього розробляється та впроваджується концепція інтелектуальної транспортної системи. Назва цього проекту різниться, так в Японії та Штатах Америки це - intelligent transportation system — ITS, а у Європі — Telematic.

На рис. 1 наведена схема інформаційної системи транспортного засобу, але для конкретного автомобіля або трактора втілення її може бути іншим [2, 3].

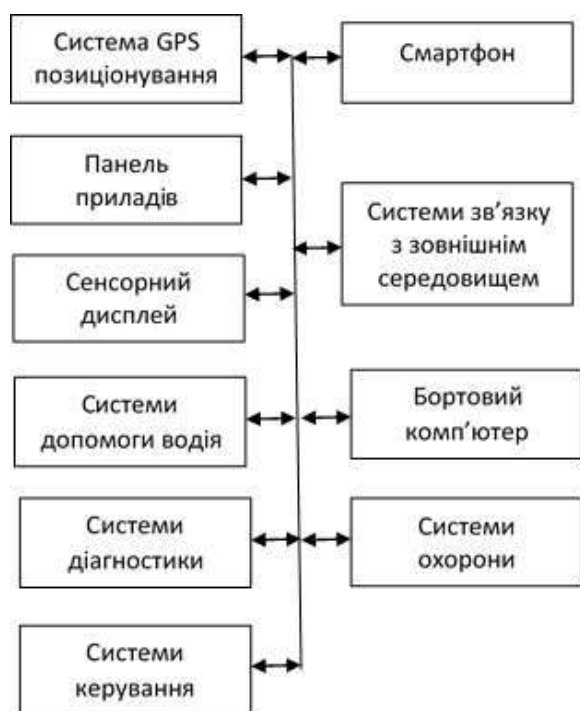


Рис. 1. Схема інформаційної системи транспортного засобу

У інформаційній системі транспортного засобу міститься декілька підсистем, наприклад: система GPS позиціонування, системи допомоги водія (асистенти водія), бортові засоби відображення та вводу інформації (панель приладів та сенсорні дисплеї), системи

діагностики та керування, зовнішні інформаційно керуючі системи (смартфон, додаткові системи охорони), тощо.

Сучасні інформаційні системи транспортних засобів, які набувають все більш нових функцій та можливостей, іноді називають телематичними (від слів телекомунікації і інформатика).

Пристрої обміну інформацією між функціональними системами транспортного засобу, водієм та навколишнім середовищем мають назву телематичних систем. Це, наприклад, навігаційна система, бортовий комп'ютер, засоби зв'язку, різноманітні датчики.

Електронні блоки управління системами автотранспортного засобу передають необхідну інформацію телематичним системам через шини даних.

Передачу повідомлень від дорожніх інформаційних служб автомобілю забезпечує система зв'язку «транспортний засіб - середовище». Вона складається з прийомо-передатчиків невеликої потужності та засобів для генерації повідомлень. Стаціонарний комп'ютер також може генерувати повідомлення та передавати їх локальним точкам. За допомогою транспондерів, встановлених на автомобілях, що пересуваються поряд, прийомо-передатчики інформаційної системи можуть автоматично отримувати повідомлення.

Транспондер встановлюється на рухомих об'єктах. У відповідь на кодове посилання він передає необхідну інформацію про об'єкт. Дистанційно можливо обмінюватися інформацією з бортовою діагностичною системою. Якщо виявляються відхилення, то водій транспортного засобу попереджається відповідним текстом на дисплеї. Інформація обробляється комп'ютером за певною програмою.

Такі системи, як цифровий аудіо-відео комплекс (радіоприймач, CD-програвач) - мають більше розважальне призначення. У системі передачі повідомлень на радіо використовується додатковий канал в УКХ-діапазоні. Для цього необхідний спеціальний приймач.

### Бортовий комп'ютер

Бортовий комп'ютер (ще має назву маршрутного чи дорожнього процесора) надає водієві інформацію про стан транспортного засобу, засоби зв'язку автомобіля та трактора з зовнішнім середовищем, з навігаційною системою, тощо.

Бортовий комп'ютер подає інформацію на сенсорний дисплей з програмованими віртуальними органами управління, та налагоджує

зв'язок з мобільними системами водія, наприклад, зі смартфоном (рис. 2). Відповідне програмне забезпечення зробило сучасні гаджети частиною автомобільної інформаційної системи [6].



Рис. 2. Сенсорний дисплей, пов'язаний зі смартфоном

На сьогодні усі послуги зв'язку стаціонарного офісу доступні також в автомобілі: автовідповідач, модем для комп'ютера, факсиміле, тощо. Бортовий комп'ютер в автомобілі або тракторі можна підключити до мережі Internet. Електронна пошта (e-mail) завжди є досяжною для водія сучасного транспортного засобу. Висока швидкість передачі даних забезпечується, завдяки підключенню через супутникову антену (direct PC). Бортовий комп'ютер визначає точний час і дату, швидкість, витрати палива, пройдено відстань.

На дисплей виводиться наступна інформація: середня швидкість на маршруті; час у дорозі; час, день тижня і дата, середня витрата палива на маршруті; витрати палива на маршруті; миттєві витрати палива; відстань, яку можна здолати на залишку палива.

Бортовий комп'ютер може повідомляти не тільки про час, який залишився до місця призначення але і про відстань, яку необхідно приїхати при умові, якщо водій спочатку свого маршруту ввів данні про місце призначення

Бортовий комп'ютер автоматично здійснює контроль за станом систем автомобіля або трактора, демонструє одержану інформацію на сенсорний дисплей. Ці данні демонструються у доступному графічному вигляді, а при необхідності звернути увагу та погляд водія звучить сигнал звуковий чи спрацює синтезатор мовлення

Бортовий комп'ютер може реалізувати наступні контролючі функції (все залежить від моделі й виробника автомобіля або трактора):

- індикація несправності освітлювальних приладів та сигналів гальмування;

- індикація температури навколишнього повітря та відкритої двері або кришки багажника;

- індикація зміни рівня охолоджувальної рідини в двигуні;

- індикація при зменшенні температури оливи в картері;

- індикація зниження рівня рідини в бачку для миття скла та в реальному часі витрати палива, тягового моменту та потужності, тощо.

Дисплей може показувати, що у транспортному засобі включені фари, відкриті двері, а також температуру забортного повітря.

Контроль за станом електричних мереж освітлювальних приладів здійснюється за допомогою вимірювання сили струму у відповідних індикаторних лампах.

Температура навколишнього повітря вимірюється термістром з негативним температурним коефіцієнтом, який розміщується в закритих місцях на відстані від джерел тепла, наприклад, за переднім бампером. Коли знижується температура, опір термістора зростає та після проходження рівня  $+4^{\circ}\text{C}$  на сенсорному дисплеї відображається попередження для водія про велику вірогідність ожеледиці на дорозі.

За необхідним рівнем експлуатаційних рідин слідкують контрольні датчики з герконом і плавучим кільцеподібним магнітом. Такі датчики розташовані у непроникному циліндрі в якому вільно переміщується поплавков з пластику, який має постійний магніт у виді кільця.

Коли рівень рідини знаходиться в нормальних межах, поплавець знаходиться у верхньому положенні стопором при цьому магніт замикає контакти геркона. А при зменшенні експлуатаційної рідини до критичного значення поплавець починає теж опускатись і при цьому контакти геркона розмикаються, і на дисплеї з'являється попередження.

Для вимірювання рівня оливи, яка використовується у двигуні потрібно декілька секунду до моменту запуску двигуна. Це пов'язано з тим що рівень оливи в картері працюючого двигуна знаходиться нижче контрольної відмітки і змінюється під час гальмування чи на поворотах, що може спричинити відображення невірних повідомлень на дисплеї. Стан електричних кіл автомобіля чи трактора постійно контролюється ЕБК. Для розпізнання відкритого і закритого стану геркона та захистом від ушкодження у колі датчика додаються додаткові резистори

Існують два типи датчиків зносу гальмівних накладок: розмикаючий і замикаючий відповідне коло. У розмикаючому датчику провід закладений на фіксовану глибину, яка являється максимально допустимою для зносу, у разі настання зносу провід виходить з ладу і розмикає контрольоване коло. А датчик, який замикає контрольне коло через барабан чи гальмівний диск починає працювати коли настає граничний показник зносу. До недоліків замикаючого датчика відносять ненадійність контакту, який створюється під час гальмування.

### Бортові засоби відображення інформації

Інформації надається із заданою точністю і в комфортному для водія виді так як це є основним завданням будь-якого індикатора. Більшість автомобільних індикаторів повинні оперативно видавати інформацію. Аналогові індикатори надають інформацію у вигляді, більш зручному для швидкого зчитування водієм.

Цифрові і графічні індикатори (дисплеї) в автомобілі та тракторі потрібні для вирішення, наступних задач: приведення картографічної інформації у навігаційних приладах; зведення основних даних до бортового комп'ютера; годинник; дисплей звукової системи та інше.

Інформація, яка приведена на цих дисплеях буває різною конфігурації. Щоб управляти окремими частинами або сегментами у дисплеях застосовується мультиплексна система передачі даних.

На рис. 3 показані аналоговий та цифровий індикатори швидкості руху автомобіля [11].

На автомобілях неелектричні параметри такі як швидкість, температура, тиск тощо змінюється відповідним датчиком та перетворюється в електричний сигнал. Потім сигнал проходить через фільтр та відповідні перетворення і подається як електричний струм чи напруга на стрілочний (аналоговий) індикатор.

Цифрова система індикації працює як аналогова. Сигнали з датчиків надходять на електронний блок керування (ЕБК) панелі приладів у аналоговій чи цифровій формі. У ЕБК здійснюється відповідне доопрацювання інформації, яку отримали, а потім вона далі переходить на індикаторні системи, для цього використовують: світлодіодні індикатори, рідкокристалічні дисплеї, сенсорні монітори, тощо.



а



б

Рис. 3. Індикатори швидкості руху автомобіля:  
а – аналоговий; б – цифровий

В якості індикатори в електронному обладнанні й в цифрових дисплеях використовуються світлодіоди. Вони споживають маленький струм та безвідмовно працюють тривалий час.

Сенсорний монітор (touch screen монітор) – це дисплей, який чутливий до дотиків, що дозволяє людям працювати з комп'ютером за допомогою дотиків до картинок і слів. Сенсорні монітори використовуються на інформаційних панелях автомобілів та тракторів.

Автомобільна і тракторна інформаційно-діагностична система є складовою сучасного транспортного засобу і необхідна для збору, компоновки, обробки та зберігання необхідної інформації про технічний стан транспортного засобу, а також аналізувати режим руху і зовнішні чинники та інші параметри.

У інформаційній системі транспортного засобу міститься декілька підсистем, наприклад:

- навігаційна система;
- дистанційне керування різними підсистемами та транспортним засобом у цілому;
- система зв'язку «транспортний засіб - сервошице»;
- цифровий аудіо- відео- комплекс;
- систему повідомлення термінової інформації;
- система безпеки (асистенти водія), тощо.

Бортовий комп'ютер отримує інформацію ще від різних датчиків таких, як датчик швидкості обертання коліс, датчик положення керма та інших.

Проведено дослідження бортових засобів відображення інформації та визначено, що найбільш перспективними для використання у автомобільній та тракторній техніці є сенсорні монітори. Лідерами серед фірм-виробників є компанії Samsung, Sony, Philips, LG.

### Висновки

За рахунок розширення функціональних можливостей сенсорних дисплеїв в автомобільних і тракторних інформаційних системах підвищується конкурентоспроможність сучасних транспортних засобів.

Інформаційно-діагностична система є складовою сучасного автомобіля та трактора і призначена для збору та аналізу, обробки та відображення, а також збереження необхідної інформації.

Бортовий комп'ютер демонструє водієві інформацію про стан транспортного засобу, засоби зв'язку автомобіля з зовнішнім середовищем, з навігаційною системою. Бортовий комп'ютер подає інформацію на сенсорний дисплей з програмованими віртуальними органами управління та налагоджує зв'язок з мобільними системами водія.

### Література

1. Ушаков М. А. Сучасні засоби відеоспостереження. *Сучасні інформаційні технології*. Кіровоград, 2014. С. 364
2. Пиндус Ю. І., Заверуха Р. Р. Електронне та мікропроцесорне обладнання автомобілів. Навч. посібник, 2016. 209 с.
3. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту. Навч. посібник, 2010. 230 с.
4. Говорущенко Н. Я., Варфоломеев В. Н. Экономическая кибернетика транспорта. Навч. посібник, 2000. 218 с.
5. Говорущенко Н. Я., Варфоломеев В. Н. Техническая кибернетика транспорта. Навч. посібник, 2001. 271 с.
6. What is Intelligent Transport System and how it works? URL: <https://www.geospatial-world.net/blogs/what-is-intelligent-transport-system-and-how-it-works/> (дата звернення 03.12.2019).
7. What Is Telematics? Technical Overview URL: <https://www.geotab.com/blog/what-is-telematics/> (дата звернення 03.12.2019).
8. What is transponder? URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com> >

definition > transponder (дата звернення 03.12.2019).

9. Wireless communication. URL: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/transponder> (дата звернення 03.12.2019).
10. Твег Р. Диагностика электронной системы управления двигателя автомобиля: руководство по техническому обслуживанию и ремонту. Навч. посібник. Москва, 2003. 144 с.
11. Head-Up-Display (HUD) HUDWAY Glass URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5a81a63c8139ba89761a55da/headupdisplay-hud-hudway-glass--biudjetnoe-reshenie-dli-liubogo-avtomobilia-5b5d9de3443e0900a95d1cd2> (дата звернення 03.12.2019).

### References

1. Ushakov M. A. (2014) Suchasni zasoby videosposterezhennya. [Modern CCTV] *Scientific Information Technology*. (Kirovograd) [in Ukrainian].
2. Pindus, Yu. I., Zaverukha R. R. (2016) Elektronne ta mikroprotsesorne obladnannya avtomobiliv [Car electronic and microprocessor equipment]. Navch. posibny`k [in Ukrainian].
3. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Grisyuk O. G. (2010) Informatsiyni komp'yuterni systemy avtomobil'noho transportu [Road computer information systems]. Navch. posibny`k [in Ukrainian].
4. Govorushchenko N. Ya., Varfolomeev V. N. (2000) Ekonomicheskaya kibernetika transporta [Economic cybernetics of transport]. Navch. posibny`k [in Ukrainian].
5. Govorushchenko N. Ya., Varfolomeev V. N. (2001) Tekhnicheskaya kibernetika transporta [Technical cybernetics of transport]. Navch. posibny`k [in Ukrainian].
6. What is Intelligent Transport System and how it works? Retrieved from: <https://www.geospatial-world.net/blogs/what-is-intelligent-transport-system-and-how-it-works/> (accessed: 03.12.2019).
7. What is Telematics? Technical Overview. Retrieved from: <https://www.geotab.com/blog/what-is-telematics/> (accessed: 03.12.2019).
8. What is a transponder? Retrieved from: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/transponder> (accessed: 03.12.2019).
9. Wireless communication. Retrieved from: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/transponder> (accessed: 03.12.2019).
10. Tweg R. (2003) Diagnostika elektronnoy sistemy upravleniya dvigatelya avtomobilya: rukovodstvo po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu [Diagnosis of Electronic Car Engine Control System: A Guide to Maintenance and Repair]. Navch. posibny`k [in Russian].
11. Head-Up-Display (HUD) HUDWAY Glass. Retrieved from: <https://zen.yandex.ru/media/id/5a81a63c8139ba89761a55da/headupdisplay-hud-hudway-glass--biudjetnoe-reshenie-dli-liubogo-avtomobilia-5b5d9de3443e0900a95d1cd2>

liubogo-avtomobilia-5b5d9de3443e0900a95d1cd2 (accessed: 03.12.2019).

**Серіков Георгій Сергійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com

**Серікова Ірина Олексіївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup> д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, +380686099458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

**Борисенко Анна Олегівна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380995257393, e-mail: anutochka2111@gmail.com

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

### Analysis of functional features of touch displays in vehicle information systems

**Abstract. Problem.** The research method is based on the use of a systematic approach to the analysis and synthesis of information systems of cars and tractors, on a rational combination of theoretical and experimental developments and generalization of scientific results. **Goal.** The object of study is the process of analyzing the functionality of touch displays in automotive and tractor information systems. The purpose of the study is to increase the competitiveness of cars and tractors by expanding the functionality of touch displays in automotive and tractor information systems. **Methodology.** The methods of theoretical foundations of electrical engineering were used in calculating electric circuits of alternating current. Also the classical methods of calculating electric cars and the theory of electric drive were used in calculating. **Results.** The research method is based on the use of a systematic approach to the analysis and synthesis of information systems of cars and tractors, on a rational combination of theoretical and experimental developments and generalization of scientific results. The subject of the study is touch displays, which are used in automotive and tractor information systems. **Originality.** The complex expert estimation of traction electric motors for electric transmission has been carried out. During this assessment, not only the electromechanical indices of electric motors, but also economic factors were taken into account. **Practical value.** The main objectives of the study: analysis of modern automobile

and tractor control and diagnostic information systems; principles, criteria and control parameters of engines of cars and tractors; development of an on-board recorder; competitiveness and evaluation of economic efficiency; formulation of conclusions.

**Key words:** vehicle, touchscreen display, information system, control system.

**Serikov Georgy**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com.

**Serikova Irina**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380671085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net.

**Smirnov Oleg**<sup>1</sup>, Ph.D., professor. Automobile electronics, +380686099458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

**Borisenko Anna**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380995257393, e-mail: anutochka2111@gmail.com.

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

### Анализ функциональных возможностей сенсорных дисплеев в информационных системах транспортных средств

**Аннотация.** Решена важная научно-практическая задача, позволяющая повысить конкурентоспособность транспортных средств за счет расширения функциональных возможностей сенсорных дисплеев в автомобильных и тракторных информационных системах.

**Ключевые слова:** транспортное средство, сенсорный дисплей, информационная система, система управления.

**Сериков Георгий Сергеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com

**Серикова Ірина Алексеевна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, +380686099458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

**Борисенко Анна Олеговна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380995257393, e-mail: anutochka2111@gmail.com

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

## СРАВНЕНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОЛОВОК ВИНТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ФОРМЫ ПАЗА

Кравченко Р. В.<sup>1</sup>, Богдан Д. И.<sup>1</sup>, Поваляев С. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Аннотация.** Для ремонта автомобиля и других работ с резьбовым крепежом часто используется удобный инструмент – торцевые головки. В настоящей статье рассмотрена нагрузочная способность двух самых распространенных форм торцевых головок, а именно головки Torx и головки Hex.

**Ключевые слова:** торцевая головка, Torx, нагрузка, расчет, МКЭ, напряжения.

### Введение

В настоящее время в автомобильной промышленности широко распространены торцевые головки. В процессе ремонта и наладки техники много времени занимает откручивание и закручивание различных крепежей, гаек и болтов. Как раз для этой работы используются торцевые головки, которые часто используются, если крепежные элементы находятся в труднодоступных местах.

### Анализ публикаций

Существует множество видов крепежных элементов в зависимости от формы торцевой лунки [1, 2]. В последние годы в зарубежном автомобилестроении всё более широкое применение находят крепежные элементы с фасонной головкой типа «TORX» [3]. Данные головки могут иметь различную форму торцевой лунки, размеры и технические характеристики [4, 5]. В связи с этим был проведен ряд исследований, посвященных изучению механических свойств таких торцевых головок как в процессе их эксплуатации, так и при их производстве.

В работе [6] описана серия экспериментов с целью оценки влияния формы и размеров торцевой лунки на прочность болтов. Установлены условия разрушения болтов по резьбовому участку без разрушения головки.

Авторами работ [7-8] рассмотрены вопросы повышения эффективности изготовления болтов с фланцем холодной штамповкой путем совершенствования технологии и конструкций инструмента. Пути усовершенствования конструкции болтов с головкой типа «TORX» были описаны в работе [9].

### Цель и постановка задачи

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа наиболее распространенной шестигранной торцевой го-

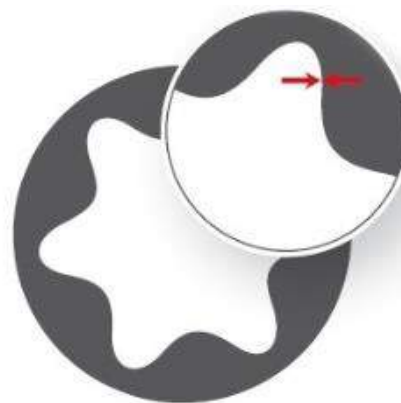
ловки и торцевой головки Torx, для оценки их эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной задачи необходимо определить напряженно-деформированное состояние как рассматриваемых торцевых головок, так и соответствующего инструмента.

### Обзор геометрии, а также виды и характеристики головок «Torx»

Торцевая головка представляет собой слесарно-монтажный инструмент который имеет насадку в виде шестиконечной звезды (рис. 1), за счет которого можно достичь оптимального приложения крутящего момента к резьбовому соединению.

Обозначается как Т или ТХ.



TORX®

Рис. 1. Форма углубления Torx

Зарегистрирован товарный знак фирмой Textron Fastening Systems (ныне Acument Global Technologies). Официальное название, зафиксированное в стандарте ISO 10664 – углубление звездообразное под ключ для болтов и винтов.

Шлиц разработан компанией Textron в 1967 году.



На данный момент изготавливаются различные крепежные изделия с углублением Torx, рис. 2 [6,7].

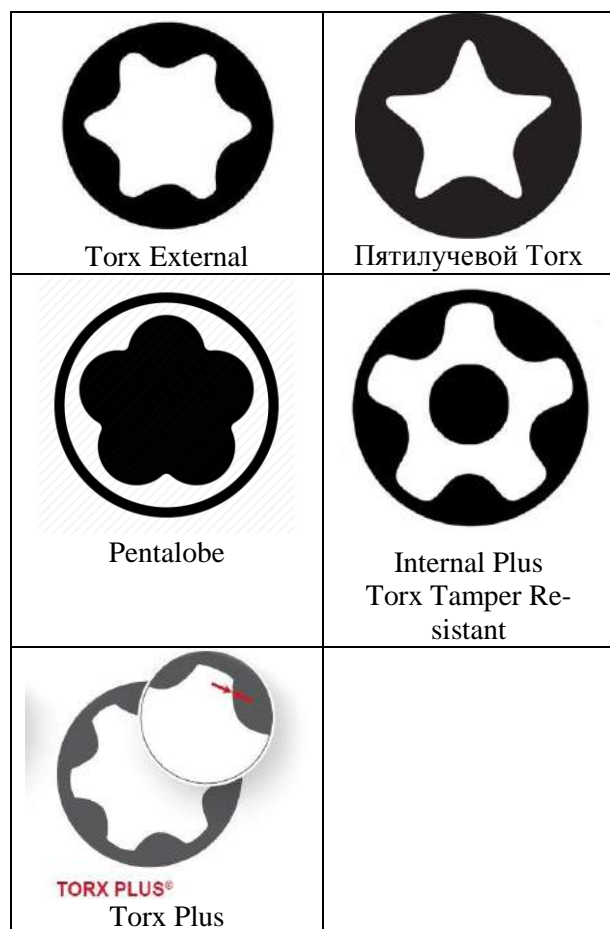


Рис. 2. Различные формы углублений Torx

Torx External обозначается как E. Представляет собой инвертированный Torx. Крепеж имеет головку в форме звезды, а инструмент имеет соответствующее углубление. Используется, как правило в автомобилях для уменьшения размера головки болта. Антивандальным не бывает.

Torx Tamper Resistant (антивандальный) обозначается как TR. В середине шлица имеется штырёк и соответствующее этому штырьку отверстие у отвёртки или ключа. Другие названия – Security Torx, pin-in Torx.

Пятилучевой Torx. Один из антивандальных вариантов. Отдельный шлиц в форме ромашки, используемый в электронике Apple.

Torx Plus. Улучшенный шлиц со срезанными концами звезды. Обозначается как IP (Internal Plus).

Torx Plus External – внешний вариант Torx Plus. Обозначается как EP (External Plus). Также имеет мини-варианты от H7EP до H2EP.

Антивандальная версия Torx Plus имеет пять лучей и штырек в центре углубления. В стандарте маркировка не указана, но может встречаться как TS или IPR.

### Маркировка и размеры

Ключи и отвёртки имеют маркировку T или TX с номером шлица – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 27, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100, таблица 1.

Таблица 1 – Приблизительные размеры и моменты затяжки [8-9]

Номер	Дюймы	мм	Момент затяжки, Н·М	E Torx
T1	0,031	0,81	0,02-0,03	
T2	0,036	0,93	0,07-0,09	
T3	0,046	1,1	0,14-0,18	
T4	0,050	1,28	0,22-0,28	
T5	0,055	1,42	0,43-0,51	
T5.5				
T6	0,066	1,7	0,75-0,90	
T7	0,078	1,99	1,4-1,7	
T8	0,090	2,31	2,2-2,6	
T9	0,098	2,5	2,8-3,4	
T10	0,107	2,74	3,7-4,5	
T15	0,128	3,27	6,4-7,7	
T20	0,151	3,86	10,5-12,7	E4
T25	0,173	4,43	15,9-19	E5
T27	0,195	4,99	22,5-26,9	
T30	0,216	5,52	31,1-37,4	E6
T35				
T40	0,260	6,65	54,1-65,1	E8
T45	0,306	7,82	89-103,2	
T47	GM-Style			
T50	0,346	8,83	132-158	E10
T55	0,440	11,22	218-256	E12
T60	0,519	13,25	379-445	E16
T70	0,610	15,51	630-700	E18
T80	0,690	17,54	943-1048	E20
T90	0,784	19,92	1334-1483	
T100	0,871	22,13	1843-2048	E24

Ключи и отвёртки со шлицем Torx Tamper Resistant после основной маркировки дополнительно обозначаются TR.

У ключей и отвёрток со шлицем Torx Plus сначала указывается номер шлица, а после – вместо T или TX обозначается буквами IP.

Ключи и отвёртки со шлицем Torx Plus Tamper Resistant после основной маркировки дополнительно обозначаются TS.

Размер определяется по окружности описанной по вершинам звездочки инструмента (для версии E – болта).

### Обзор геометрии, а также виды и характеристики шестигранных головок

В отличие от головок Torx головка крепёжного изделия имеет цилиндрическую форму с шестигранным углублением, рис. 3.



Рис. 3. Форма головки с шестигранным профилем

Таблица 2 – Основные недостатки торцевых головок

Вид шлица	Оставшиеся недостатки
1. Шестигранный	Шестигранный шлиц способен передавать высокий момент вращения на крепёжный элемент только на протяжении недолгого времени, затем в нем появляются небольшие вмятины и увеличивается угол холостого хода инструмента.
2. Звездообразный (Torx)	Все еще не обеспечивает полного контакта рабочего наконечника инструмента с головкой крепёжного элемента, но позволяет выполнять монтаж под небольшим углом к оси крепёжного элемента без потери момента вращения.

Для корректного сравнения принимаем близкие размеры шлица Torx и Hex. Для расчета на прочность примем размер шлица Torx равен T40 (рис. 4), а размер шестигранника HEX равным 6 мм.

Для обеспечения совместимости предусмотрен зазор в соединениях равный 0,1 мм.

Для сравнительного анализа модели соединений нагружались одинаковым небольшим тестовым крутящим моментом. Такая постановка задачи позволяет гарантировано находится в зоне упругих

Профиль обеспечивает наилучший охват крепежа (имеет большую площадь пятна контакта), полную и равномерную передачу усилия на него.

Для работы со шлицами данного вида используется шестигранный или же бита с соответствующим наконечником.

Номинальным размером шлица и ключа является расстояние между противоположными параллельными гранями шестигранника, которое выражается в миллиметрах (при этом, для ключа методику измерения и допуски см. ГОСТ 8560-78) или долях дюйма.

Однако позиционирование и использование такой головки затруднено в стесненных условиях — для перестановки воротка или иного приспособления нужно провернуть инструмент хотя бы на 60 градусов. Проблему решает инструмент с трещоткой, либо применение 12-гранных головок.

Проведем сравнительную характеристику шестигранной головки и головки Torx, таблица 2.

деформаций и адекватно сравнивать различную геометрию шлицев. Анализ нагрузочной способности шлица выполнен методом конечных элементов. Головка винта была зафиксирована, а к вставленной с зазором 0,1 мм бите прикладывался крутящий момент 1 Нм.

Распределение эквивалентного напряжения по телу головки болта и биты представлено на рис 5.

Такой же расчет был выполнен и для шлица с формой шестигранника.

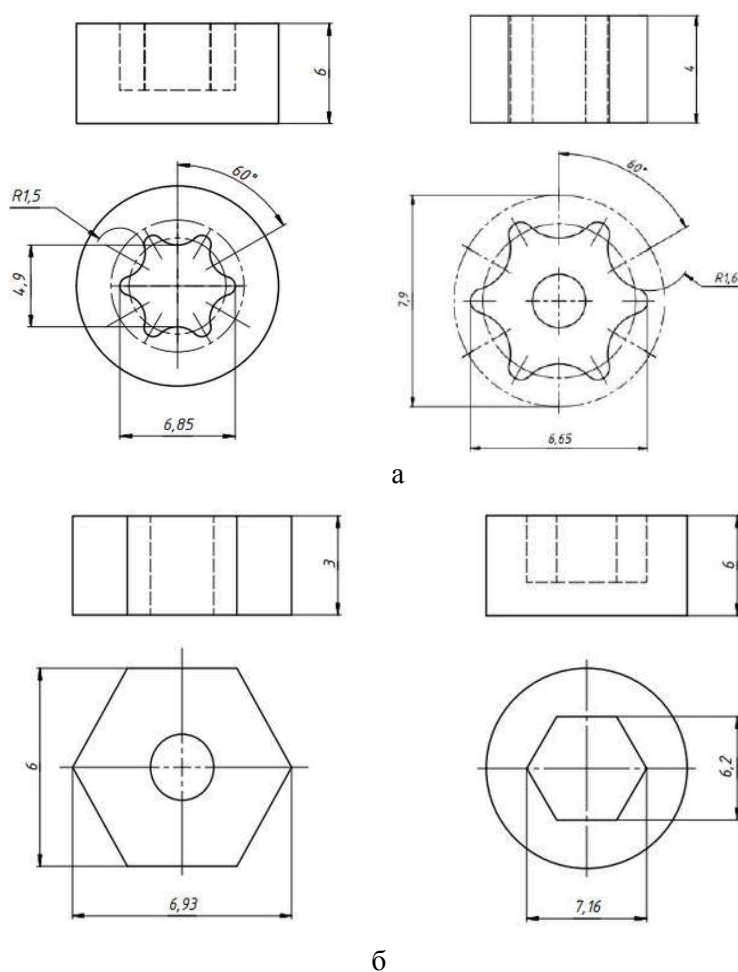


Рис. 4. Размеры головок и пазов: а – головка и паз типа Torx; б – шестигранная головка и паз

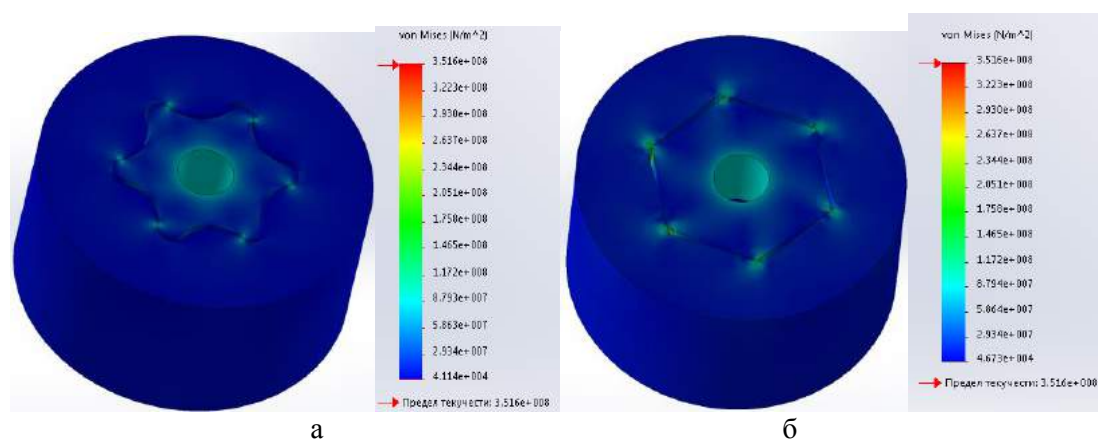


Рис. 5. Эквивалентные напряжения торцевых головок:  
а – головка типа Torx; б – шестигранная головка

Как видно из рисунка 5а, 5б, в головке типа Hex зона с эквивалентными напряжениями превышающими 20 МПа имеет большую площадь. При этом также для шестигранной головки присутствуют зоны концентрации напряжений на вершинах со значениями до 35 МПа. Такая ситуация обусловлена геометрией контакта биты и шлица. В случае с головкой Torx имеет место контакт выпуклой

и вогнутой поверхностей, а в случае с головкой Hex в следствии наличия зазора имеет место контакт близкий к точечному, что обуславливает повышенную концентрацию напряжений.

Помимо повышенной нагрузочной способности головки типа Torx, обладают следующими эксплуатационными функциональными преимуществами, таблица 3.

Таблица 3 – Перечень функциональных преимуществ Тогх

Преимущества	Шести- гранный	Тогх
Минимизация риска выскальзывания инструмента	+	+
Пригодность для использования в автоматизированных процессах сборки	+	+
Угол приложения силы	60	15
Полнота контакта наконечника инструмента с головкой крепежного элемента	-	+
Отсутствие необходимости ограничения вращательного усилия инструмента на завершающем этапе	+	+
Высокая степень передачи момента вращения от инструмента на крепежный элемент	-	+
Наличие соответствующих рабочих наконечников для инструмента на рынке	+	+

### Выводы

Смоделировав зацепление двух типов бит была проанализирована нагрузочная способность соединений типа Нех и Тогх. Выявлены зоны локализации напряжений для готовок типа Нех и Тогх. Определены причины концентрации повышенных напряжений для соединения типа Нех. Учитывая большую нагрузочную способность соединений Тогх и прочие их эксплуатационные преимущества следует отметить хорошую перспективу использования этих соединений для крепежных изделий в автомобильной промышленности.

### Литература

1. Шлиц крепежного изделия. URL: <https://trusty-tools.ru/article/shlic-krepezhnogo-izdeliya/> (дата звернення 14.11.2019).
2. Шлиц и его виды часть 2. URL: <https://gnngroup.ru/article/shlic-i-ego-vidy-chast-2/> (дата звернення 14.11.2019).
3. Железков О. С., Титов А. В., Артюхин В. И., Закиров Д. М., Сабадаш А. В. Тенденции и проблемы производства крепежных изделий прогрессивной конструкции. *Труды пятого конгресса прокатчиков*. М.: Черметинформация, 2004. С. 414-417.
4. Торх. URL: <https://www.turkaramamotoru.com/ru/Torx-131438.html> (дата звернення 14.11.2019).
5. Торх. URL: <https://wiki2.org/ru/Torx> (дата звернення 14.11.2019).
6. Железков О. С., Ширяев О. П., Малаканов С. А., Морозов Н. П., Колесников В. Д.

Влияние торцевой лунки на прочность соединения головки со стержнем болта. *Качество в обработке материалов*. Магнитогорск, 2015. №2 (4). С. 48-50.

7. Кадошников В. И., Решетникова Е. С., Решетников Л. В., Кочуков С. В. Совершенствование инструментов и математическое моделирование процесса формирования головок фланцевых болтов. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2008. № 2. С. 52-56.
8. Железков О. С., Галиахметов Т. Ш., Стеблянко В. Л. Определение энергосиловых параметров процесса штамповки головок болтов с торцевой лункой. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2017. № 15. С. 35-38.
9. Закиров Д. М., Сабадаш А. В. Усовершенствование конструкции болтов с головкой типа «TORX». *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*, 2003. №. 5. С. 34-37.

### References

1. Шлиц крепежного изделия. [Slot of threaded part]. Retrived from: <https://trusty-tools.ru/article/shlic-krepezhnogo-izdeliya/> (accessed: 14.11.2019).
2. Шлиц и его виды часть 2. [Slot and its kinds part 2]. Retrived from: <https://gnngroup.ru/article/shlic-i-ego-vidy-chast-2/> (accessed: 14.11.2019).
3. Zhelezkov O. S., Titov A. V., Artjuhina V. I., Zakirov D. M., Sabadash A. V. (2004) Tendencii i problemy proizvodstva krepezhnyh izdelij progressivnoj konstrukcii [Trends and problems of threaded parts of progressive design production]. *Trudy pjatogo kongressa prokatchikov*. M.: Chermetinformacija, 414-417 [in Russian].
4. Torx. Retrived from: <https://www.turkaramamotoru.com/ru/Torx-131438.html> (accessed: 14.11.2019).
5. Torx. Retrived from: <https://wiki2.org/ru/Torx> (accessed: 14.11.2019).
6. Zhelezkov O. S., Shirjaev O. P., Malakanov S. A., Morozov N. P., Kolesnikov V. D. (2015) Vlijanie torcevoj lunki na prochnost' soedinenija golovki so sterzhnem bolta [The effect of the end hole on the strength of the connection of the head with the bolt shaft]. *Kachestvo v obrabotke materialov*. Magnitogorsk, 2 (4), 48-50 [in Russian].
7. Kadoshnikov V. I., Reshetnikova E. S., Reshetnikov L. V., Kochukov S. V. (2008) Sovershenstvovanie instrumentov i matematicheskoe modelirovanie processa formirovaniya golovok flancevyh boltov [Improving tools and mathematical modeling of the process of forming the heads of flange bolts]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2, 52-56 [in Russian].
8. Zhelezkov O. S., Galiaxmetov T. Sh., Stebljanko V. L. (2017) Opredelenie jenergosilovyh parametrov processa shtampovki golovok boltov s torcevoj lunkoj [Determination of energy-power parameters in the process of stamping the heads of bolts with an end hole]. *Vestnik MGTU im. G.I.*

Nosova, 15, 35-38 [in Russian].

9. Zakirov D. M., Sabadash A. V. (2003) Uovershenstvovanie konstrukcii boltov s golovkoj tipa «TORX» [Improvement of the «TORX» head bolt design]. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 5, 34-37 [in Russian].

**Кравченко Роман Владимирович**<sup>1</sup>, студент, тел. 380501541902, [romankravchenko1996@gmail.com](mailto:romankravchenko1996@gmail.com)

**Богдан Дмитрий Иванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 0963103000, [Phd.bogdan@gmail.com](mailto:Phd.bogdan@gmail.com)

**Поваляев Сергей Иванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 380971992331, [Povalyaevsi@ukr.net](mailto:Povalyaevsi@ukr.net)

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

### Порівняння здатності до навантаження голівок гвинтів в залежності від форми пазу

**Анотація. Вступ.** Для ремонту автомобілів та інших робіт з різьбовими кріпленнями часто використовується зручний інструмент - торцеві головки. Широкого поширення набули різні форми шліців, торцевих головок та гвинтів. У статті описані основні геометричні розміри, номенклатура та застосування шліців Hex і Torx. Перелічено переваги та недоліки кожного. Наведено історію формування діючого стандарту для класифікації шліців. **Мета.** Метою даної роботи є проведення порівняльного аналізу найбільш використовуваної головки з шестиграним пазом та головки з пазом Torx для оцінки їх експлуатаційних характеристик. **Методика.** Розглядається контакт інструменту з торцевою головкою з точки зору контакту сполучених поверхонь, аналізується картина розподілу еквівалентних напружень в головці гвинта, що виникають під дією крутного моменту, прикладеного до інструменту. Наведено тривимірні діаграми еквівалентних напружень. Розглянуто декілька варіантів сполучень Torx. 1) Torx External - зовнішній Torx. Використовується для зменшення розміру головки болта. 2) Torx Tamper Resistant – антивандальна версія, позначається як TR. 3) П'ятипроміневий Torx - це один із антивандальних варіантів. 4) Pentalobe - окремий ромашкоподібний шліц, який використовується в електроніці Apple. 5) Torx Plus - покращений шліц у вигляді зірки. Позначається як IP (Internal Plus). Інструмент Torx не може працювати з обладнанням Torx Plus. 6) Torx Plus External - зовнішня версія Torx Plus. Позначається як EP (Зовнішній плюс). Антивандальна версія Torx Plus має п'ять промінів і штифт у центрі виїмки. Також розглянуто шестиграний профіль. Це стандартні головки, які можуть бути використані лише для роботи із кріпленням, що має шестикутні головки. **Результати.** Кріплення головкою Torx більш надійне і довговічне і дозволяє досягти вражаючого крутного моменту.

**Ключові слова:** торцева головка, Torx, навантаження, розрахунок, МКЕ, напруження.

**Кравченко Роман Владимирович**<sup>1</sup>, студент, т. 0501541902, [romankravchenko1996@gmail.com](mailto:romankravchenko1996@gmail.com)

**Богдан Дмитро Іванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 380963103000, [Phd.bogdan@gmail.com](mailto:Phd.bogdan@gmail.com)

**Поваляев Сергей Иванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри деталей машин і теорії механізмів та машин, тел. 380971992331, [Povalyaevsi@ukr.net](mailto:Povalyaevsi@ukr.net)

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

### Comparison of the screw head loading capacity depending on the slot form

**Abstract. Problem.** For car repairs and other works with threaded fasteners, a convenient tool is often used – it is called end heads. Various types of splines, end heads, and screws have become widespread. The article describes the main geometrical dimensions, the nomenclature and applicability of the Hex and Torx slots and lists the advantages and disadvantages of each. The history of the formation of the current standard for specifying the slots is given. **Goal.** The aim of this work is to carry out a comparative analysis of the most used hexagonal socket head and Torx socket head, to assess their operational characteristics. **Methodology.** The connection of the bit with the screw head is considered in terms of the contact of the mating surfaces, the picture of the distribution of equivalent stresses in the screw head arising under the action of the torque applied to the tool is analyzed. Three-dimensional equivalent stress diagrams are given. The following variations of Torx spline options are considered: 1) Torx External - inverted Torx. It is used to reduce the size of the bolt head. 2) Torx Tamper Resistant is anti-vandal, denoted as TR. 3) Five-way Torx is one of the anti-vandal options. 4) Pentalobe is a separate chamomile-shaped slot, used in Apple electronics. 5) Torx Plus is an improved spline with star cut ends. It is denoted as IP (Internal Plus). Torx tool cannot work with Torx Plus hardware. 6) Torx Plus External is an external version of Torx Plus, denoted as EP (External Plus). The anti-vandal version of Torx Plus has five beams and a pin in the center of the recess. Also the hex profile is considered. These are standard heads, which can be used only for work with fasteners having hexagonal heads. **Results.** The fastener with this head is very reliable and durable and allows you to achieve impressive torque.

**Key words:** end head, Torx, load, calculation, FEM, stress.

**Kravchenko Roman**<sup>1</sup>, student, tel. 0501541902, [romankravchenko1996@gmail.com](mailto:romankravchenko1996@gmail.com)

**Bogdan Dmitry**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine Parts and Theory of Mechanisms and Machines Department, tel. 0963103000, [Phd.bogdan@gmail.com](mailto:Phd.bogdan@gmail.com)

**PovalyaevSergey**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. of Machine Parts and Theory of Mechanisms and Machines Department, tel. 0971992331, [Povalyaevsi@ukr.net](mailto:Povalyaevsi@ukr.net)

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

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ПРИМУСОВОГО ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Симбірський Г. Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Пропонується спосіб зниження аварійності та смертності на автодорогах в частині, що залежить від швидкості транспортних засобів, заснований на дистанційному примусовому обмеженні їх швидкості. На автомобілі приймається сигнал, що несе граничне значення допустимої швидкості руху, який передається або станціями мобільного зв'язку, або спеціальними передавачами, встановленими на автодорогах. У разі перевищення швидкості бортовий комп'ютер обробляє цей сигнал та знижує подачу палива.

**Ключові слова:** безпека дорожнього руху, перевищення швидкості, обмеження швидкості автомобіля, дистанційне примусове обмеження швидкості автомобіля, мікропроцесор, контролер.

### Вступ

На дорогах світу через автомобільні аварії щороку гине близько мільйона осіб і ще близько 50 мільйонів людей одержують травми. Таку статистику в [1] дає Організація економічного співробітництва і розвитку (скор. ОЕСР, англ. *Organisation for Economic Cooperation and Development, OECD*). Причому, такий рівень дорожнього травматизму дуже дорого обходиться економіці будь-якої країни, поглинаючи від 1 до 3% ВВП.

В Україні ситуація з аварійністю автотранспортних засобів теж важка. У 2017 році прем'єр-міністр В. Гройсман оголосив: "За даними Світового банку, збитки економіки через ДТП на дорогах України складають 1,5-2,5% ВВП. Ми втрачаємо 4,5 млрд доларів від транспортних пригод в рік. Питання безпеки дорожнього руху в Україні ніколи раніше, на жаль, не вирішувалися системно" [2].

Дорожньо-транспортний травматизм є основною причиною смертності та інвалідності і особливо вражає людей молодого та працездатного віку. Лікування жертв дорожньо-транспортних пригод накладає великий тягар на службу охорони здоров'я та соціального захисту України.

Але найголовніше – це людські життя і горе безлічі сімей, що оцінити в гривнях або доларах неможливо.

Стрімке збільшення кількості транспортних засобів і підвищення інтенсивності дорожнього руху призводить до зростання кількості ДТП та їх негативних наслідків і в нашій країні.

"На жаль, в Україні рівень смертності і тра-

матизму в результаті ДТП є одним з найвищих в європейському регіоні. За останні шість років було зареєстровано близько 170 000 ДТП з потерпілими, в яких загинули 26 500 і травмовано 209 000 чоловік", – зазначив А. Гаврилюк, заступник директора медичного департаменту, начальник Управління медичної допомоги дорослим МОЗ України [3].

"З початку цього року зареєстровані 54 500 ДТП. Це на 12,1% більше, в порівнянні з минулим роком. Кожна восьма автопригода – з постраждалими: 723 людини загинули, понад 8000 травмовані. Удвічі збільшилася кількість ДТП за участю водіїв громадського транспорту", – повідомив І. Прохоренко [3], заступник начальника Департаменту превентивної діяльності, начальник Управління безпеки дорожнього руху.

Все вищесказане дозволяє оцінити важливість і глобальність проблеми зниження аварійності на автомобільному транспорті.

### Аналіз публікацій

Глобальність зазначеної вище проблеми обумовлює і глобальний рівень зусиль щодо її вирішення. Цим займаються і громадські організації, і національні уряди, і найбільші міжнародні структури.

У систему ОЕСР входить Міжнародний транспортний форум, який є глобальною платформою для розробників політики в транспортній сфері.

Україна входить до складу держав-членів цього органу. У 2004 році ОЕСР і Транспортний форум створили Центр транспортних досліджень, фахівці якого разом з фахівцями

Світового банку, Всесвітньої організації охорони здоров'я і *FIA* (Міжнародної автомобільної федерації) в 2008 році за підсумками трирічної спільної роботи випустили доповідь "Прагнення до нуля: високі задачі і системний підхід до безпеки руху" [1].

Дана 300-сторінкова робота є квінтесенцією найцікавіших досліджень, аналізу, рекомендацій і прогнозів для транспортної політики, які варто вивчати окремо, особливо в транспортному вузі. Ми зупинимося на одному найважливішому аспекті цього дослідження.

Зібравши і вивчивши дані про рівні дорожньої безпеки, сучасні стратегії останньої, про витрати, пов'язані з дорожньою аварійністю і витрати на підвищення дорожньої безпеки, експерти зробили висновок [1], що рівень безпеки дорожнього руху можна підвищити в короткостроковій перспективі за рахунок впровадження арсеналу наступних заходів.

1. Примусове дотримання існуючих обмежень швидкості.
2. Скорочення водіння в нетверезому вигляді.
3. Використання ременів безпеки.
4. Більш безпечні дороги і узбіччя;
5. Підвищення безпеки транспортних засобів.
6. Зниження ризиків для водіїв-початківців.

У доповіді ці питання розглянуті дуже докладно, чого не дозволяє обсяг даної роботи.

Ключовою проблемою експерти Форуму вважають дотримання швидкісного режиму на автодорогах: "Швидкість є центральним фактором проблем з дорожньою безпекою. Вона впливає і на ризик попасти в ДТП, і на наслідки аварії".

Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів (рис. 1) досліджена в [1].

Судячи з цієї моделі, зниження середньої швидкості на 10% веде до зменшення числа ДТП зі смертельними наслідками майже на 40%, що підтверджується дослідженнями багатьох незалежних експертів, посилання на роботи яких наведені в [1].

Згідно з висновками доповіді ОЕСР з питань управління швидкісним режимом, ефективна програма управління швидкістю дорожнього руху повинна, серед іншого, включати удосконалення конструкції автомобілів, в тому числі застосування інформаційних технологій.

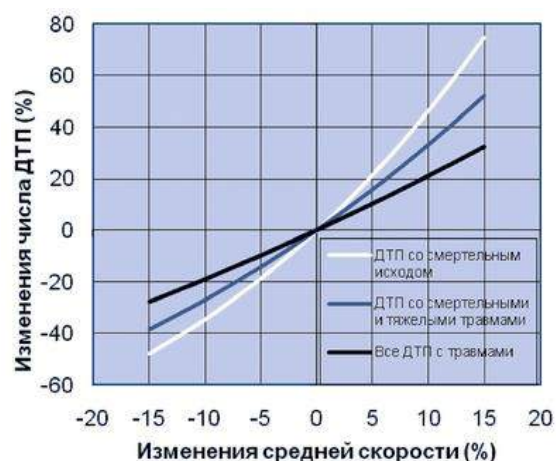


Рис. 1. Кореляція аварійності і швидкості транспортних засобів

"З огляду на величезний позитивний потенціал нових технологій, всіляко рекомендується їх широке впровадження", такий цікавий для нас висновок роблять експерти [1]. У цій області вони радять наступне.

1. Всі нові автомобілі повинні бути обладнані обмежувачами швидкості з ручним регулюванням, а також, коли це стане можливим, добровільно встановленими інтелектуальними системами адаптації швидкості (*ISA*).

2. Для забезпечення отримання результатів від застосування технологій *ISA* державі необхідно з приватними партнерами створити цифрові бази даних про обмеження швидкості, які зможуть генерувати електронні карти, і поширювати їх для попередження водіїв про перевищення допустимої швидкості.

3. Необхідно зробити установку систем *ISA* обов'язковою за законом.

Система інтелектуальної адаптації швидкості *ISA* повинна бути встановлена в транспортному засобі (ТЗ) для дотримання ТЗ встановленого ліміту швидкості за рахунок зчитування обмежень швидкості по маршруту.

Таким чином, експерти Міжнародного транспортного форуму вважають основним шляхом зниження аварійності та смертності на автодорогах зниження швидкості транспортних засобів, в тому числі і примусове.

Розвиваючи і реалізуючи рекомендації Доповіді [1] Європейська комісія з безпеки на транспорті (*ETSC*) планує з 2020 року зобов'язати автовиробників оснащувати всі автомобілі пристроєм [4], що автоматично примусово обмежує швидкість (ТЗ) відповідно до дорожніх знаків та до інформації про обмеження, розміщеної в геоінформаційних системах.

Цей пристрій використовує відеокамеру, яка розпізнає знаки обмеження швидкості, а також навігаційні дані, в яких прописаний швидкісний режим на різних дорогах. Про місце розташування автомобіля пристрій обмеження швидкості (ПОШ) дізнається за допомогою глобальної системи позиціонування (GPS). Пристрій буде зіставляти ці дані і не дозволить автомобілю рухатися швидше, ніж значення дозволеної швидкості.

Представляючи майбутні плани Єврокомісії перед Європарламентом у Страсбурзі, Комісар з питань транспорту Віолетта Бульк назвала інтелектуальну допомогу в дотриманні швидкості (*Intelligent Speed Assistance – ISA*) революційною технологією. Вона також сказала, що коли запропоновані заходи безпеки будуть введені в дію, то «ЄС стане лідером з безпеки на дорогах» [5].

Очевидно, що ЄС виконує рекомендації Міжнародного транспортного форуму щодо зниження аварійності на автодорогах за рахунок, в тому числі, введення примусового зниження швидкості автомобілів відповідно до наявних обмежень. Однак, до конкретної реалізації даного плану фахівці дорожньої і автомобільної промисловості ще не приступили (за деяким винятком). Крім того, наскільки нам відомо, автодороги нашої країни поки не планується оцифрувати з точки зору обмежень швидкості, а це є необхідною умовою введення в дію системи ISA.

Прямою реалізацією рекомендацій Доповіді [1] є Європейська угода про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ), до якого приєдналася і Україна. У відповідності зі строгими технічними вимогами цих Правил [6] автотранспортний засіб, який здійснює транспортування небезпечних і вибухопожежонебезпечних вантажів, в обов'язковому порядку оснащується спеціальною системою – "Пристроєм Обмеження Швидкості". У правилах ЄЕК ООН №89 пункт 2.6 підпункт 1 говорить: "Пристрій Обмеження Швидкості мається на увазі механізм, який тим чи іншим способом зменшує (обмежує) кількість подаваного у двигун палива. Це призводить до обмеження швидкості руху транспортного засобу до заданої регламентованої величини."

Автомобілі, що перевозять небезпечні вантажі і на які поширюються ці вимоги щодо присутності пристрою обмеження швидкості автомобіля, – це вантажні автомобілі (транспортні засоби на жорсткій рамі, а також тягачі

для напівпричепів) мають максимальну масу понад три з половиною тони.

Згідно з позицією 9.2.5 ДОПНВ пристрій ПОШ має бути налагоджений так, щоб швидкість автомобіля не перевищувала 90 км/год з урахуванням регламентних допусків на пристрій, в межах 5 км/год у бік збільшення або зменшення.

Слід врахувати ще один момент. Сучасні автомобілі (легкові і вантажівки) найчастіше оснащуються заводським пристроєм, вбудованим в систему управління роботою двигуна, яке обмежує максимально можливу швидкість. Але це не те, що вимагають правила з перевезення небезпечних вантажів. ПОШ це повинна бути окрема незалежна механіко-електрична система, яка механічним способом перекриває подачу палива до необхідної межі.

Принцип дії ПОШ заснований [7] на спрацьовуванні електромагнітного клапана на магістралі подачі палива, що обмежує подальший набір швидкості транспортним засобом. МБУ (мікропроцесорний блок управління) отримує відповідні сигнали від спідометра або, в залежності від автомобіля, від датчика швидкості на коробці передач. При досягненні гранично заданій швидкості МБУ передає сигнал на електромагнітний клапан управління подачею палива. При отриманні сигналу клапан закривається, подача палива тим самим обмежується. Клапан налаштований саме на той обсяг подачі пального, який необхідний для досягнення заданої швидкості конкретним транспортним засобом.

Застосування пристрою обмеження швидкості на вантажному автотранспорті, що перевозить небезпечні вантажі також є прямою реалізацією рекомендацій, що містяться в Доповіді [1], але для досить вузької категорії автомобілів. До цієї категорії автотранспорту відносяться і автобуси, що перевозять організовані групи дітей. Звичайно, можна такими пристроями обладнати всі автомобілі, в тому числі, і легкові. Без сумніву, це дало б значне зниження аварійності та смертності на автодорогах. Так що можна рекомендувати державі рухатися і в цьому напрямку. Але у ПОШ є серйозний недолік: виставляти граничне значення швидкості в пристрої необхідно або самому власнику, або водієві автомобіля, або якійсь уповноваженій особі. А це завжди залишає можливість або для помилки, або для свідомого порушення. Крім цього, виникає складність при зміні значень допустимої шви-



дкості, наприклад, при в'їзді автомобіля з автотраси в міську межу.

Виробники та ділери звичайного автомобільного транспорту навряд чи дадуть дозвіл на втручання в автомобіль без того, щоб припинила діяти гарантія, що робить практично неможливим використання такої технології в звичайних автомобілях.

У сучасних автомобілях вже досить тривалий час застосовують системи управління безперервним впорскуванням бензину або системи розподіленого типу, коли паливо подається через окрему для кожного циліндра

форсунку (інжектор). З розвитком і мініатюризацією мікропроцесорної техніки стало можливим управляти процесом подачі палива на форсунки по досить складним алгоритмам відповідно до сигналів численних датчиків (витрати повітря, положення колінвала, температури відхідних газів та інших). Ці алгоритми враховують всі можливі вимоги і обмеження на роботу двигуна автомобіля в різних режимах і реалізуються блоками управління двигуном або бортовими комп'ютерами. На рис. 2 наведено варіант такої системи, розроблений фірмою "Bosch" [8].

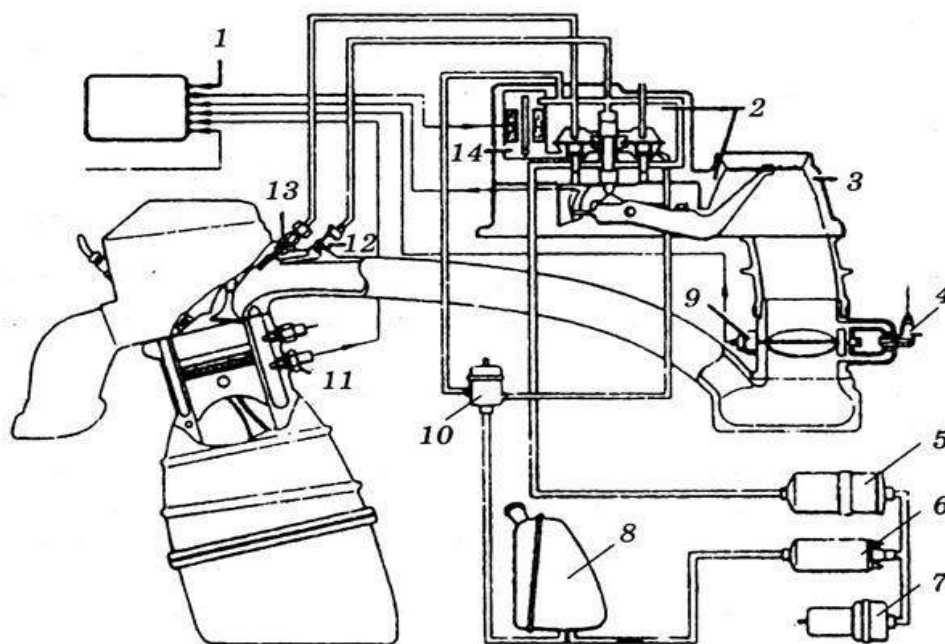


Рис. 2. Функціональна схема системи управління подачею палива в двигун автомобіля фірми "Bosch": 1 – електронний блок управління; 2 – дозатор-розподільник палива; 3 – витратомір повітря; 4 – клапан додаткової подачі повітря; 5 – паливний фільтр; 6 – паливний насос; 7 – накопичувач палива; 8 – паливний бак; 9 – вимикач положення дросельної заслінки; 10 – регулятор тиску палива в системі; 11 – датчик температури охолоджуючої рідини; 12 – пускова форсунка; 13 – робоча форсунка; 14 – електрогідравлічний регулятор керованого тиску

Система функціонує в такий спосіб: датчик витрати повітря вимірює миттєву витрату повітря і своїм важелем керує плунжером дозатора-розподільника палива, який, в свою чергу, направляє до форсунок таку кількість палива, яке відповідає вимірюваній витраті повітря. При постійному тиску у верхній частині дозатора-розподільника тиск в нижній його частині регулюється електрогідравлічним регулятором тиску, який управляється контролером.

При постійному тиску у верхній частині дозатора-розподільника тиск в нижній його

частині регулюється електрогідравлічним регулятором тиску 14, який управляється контролером 1.

До контролера також надходять сигнали від датчика температури охолоджуючої рідини 11, потенціометра і вимикача дросельної заслінки і від котушки запалювання про частоту обертання колінчастого валу.

За цими сигналами контролер ідентифікує роботу двигуна і змінює силу і напрямок струму, який проходить через обмотку електромагніту електрогідравлічного регулятора, і, переміщаючи золотник, змінює перетин прохідного отвору, який з'єднує верхню і нижню

камери дозатора-розподільника палива. Якщо золотник повністю відкриє отвір, тиск у верхній і нижній камерах стане однаковим, мембрана притулиться до сидла розподільного клапана і подача палива припиниться.

Датчик температури охолоджуючої рідини надає контролеру інформацію про тепловий стан двигуна, по якій коригується кількість і якість горючої суміші під час пуску холодного двигуна, в ході його прогрівання, в режимі прискорення і т. п. При цьому подається додаткова порція повітря через регулятор 4 і додаткова кількість палива через пускову форсунку 12.

Дана система (як і інші подібні системи управління двигунами) дозволяє при роботі за певним алгоритмом або в разі необхідності зменшити або припинити подачу палива на форсунки і таким чином зменшити швидкість або повністю зупинити автомобіль. Але вона не розрахована на автоматичний вплив на величину швидкості автомобіля, а тим більше на постійне обмеження швидкості відповідно до правил дорожнього руху.

Таким чином, проведений аналіз показав, що в даний час не вирішена задача обмеження швидкості транспортного засобу з тим, щоб вона не перевищувала значення швидкості, допустимого на даній ділянці даної автодороги. А саме це, на думку експертів Транспортного форуму [1], багато в чому є запорукою зниження аварійності на автодорогах. Хоча передумови для виконання такого завдання, як показав проведений аналіз, є. Це і системи управління роботою автомобільного двигуна з мікропроцесорної регулюванням подачі палива на форсунки двигуна, і стрімкий розвиток мікропроцесорних та інформаційних технологій, і інші досягнення науки і техніки.

### Мета та постановка задачі

Виходячи з проведеного аналізу, нами була сформульована мета дослідження, яка полягає в створенні способу і пристрою для дистанційного примусового обмеження швидкості автомобілів на дорогах в межах міста і поза нею відповідно до прийнятого в даному місці обмеження швидкості.

Для того, щоб реалізувати запропонований спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля (ДПОШ), необхідно вирішити ряд завдань.

1. Розробити функціональну схему пристрою для ДПОШ.
2. Розробити принципову схему пристрою.
3. Зібрати і випробувати натурний зразок

пристрою в лабораторних умовах для експериментального підтвердження справедливості запропонованого способу ДПОШ.

4. Випробувати пристрій на автомобілі на еталонному сигналі.

5. Вирішити питання про можливість використання для передачі обмежує сигналу на несучих частотах мобільних операторів.

6. Дослідити можливість застосування існуючого або створення спеціального GSM-передавача для передачі обмежувального сигналу.

7. У разі використання спеціального GSM-передавача або передавача іншого типу розробити схему покриття цими передавачами всіх автодоріг України.

Кожне з цих завдань само по собі є окремою серйозною дослідницькою роботою. Постановлені завдання автор бачить досить широкими, особливо, в частині реалізації в реальних транспортних системах (на вулицях і автодорогах оточуючих нас місцевостей). Це і частота випромінюючих контрольний сигнал передавачів, і алгоритми управління подачею палива в двигун, неушкодження автомобіля і безпека водія, пасажирів і вантажу транспортного засобу, і передача обмежувального сигналу, і багато іншого.

Тому завданням цієї статті є формулювання концепції з підвищення безпеки на автошляхах України в частині приведення швидкостей транспортних засобів до гранично допустимих для даних автодоріг значень (концепція викладена і обґрунтована вище), а також розробка функціональної схеми пристрою ДПОШ.

### Розробка способу дистанційного обмеження швидкості ТЗ

Спосіб підвищення безпеки дорожнього руху за допомогою дистанційного примусового обмеження швидкості автомобілів на дорогах в межах міста і поза ними відповідно до прийнятого в даному місці обмеження швидкості полягає в постійній передачі по мережах мобільного або будь-якого іншого зв'язку сигналу, що несе інформацію про обмеження швидкості в конкретному місці на конкретній автодорозі. Цей сигнал після прийому обробляється в мікропроцесорній системі управління подачею палива в двигун автомобіля за певним алгоритмом з метою підтримки швидкості руху автомобіля, що не перевищує значення обмеження.

Причому водій транспортного засобу не міг би навіть при бажанні обійти таке обмеження. Наприклад, в межах міста 50 км / год, а на авто-трасах 90 км / год.

Формальні і технічні передумови для реалізації запропонованого способу підвищення безпеки на автошляхах України наступні.

1. Величезний моральний і матеріальний збиток від аварійності на автошляхах і прагнення до його мінімізації у влади, експертного співтовариства і громадянського суспільства.

2. Розвиток мікропроцесорної техніки і мехатроніки на транспорті.

3. Тотальне покриття мережею GSM-телефонії автодоріг України.

4. Розвиток мобільної телефонії, в тому числі 4G і 5G технологій.

Функціональні схеми пристрою ДПОШ

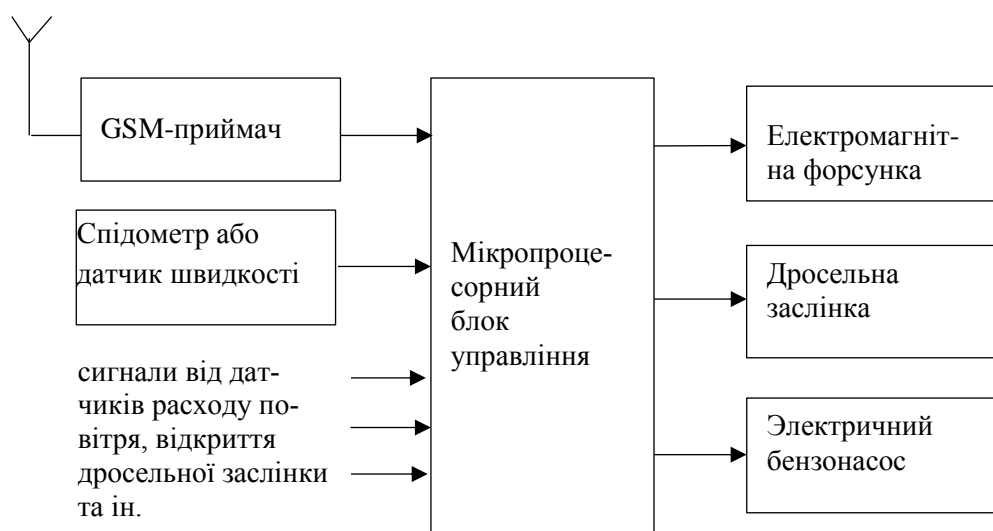


Рис. 3. Функціональна схема пристрою для дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля

### Принцип роботи пристрою для дистанційного обмеження швидкості ТЗ

Спосіб дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля працює наступним чином. GSM-приймач (можливо, інший радіоприймальний пристрій) постійно отримує сигнал, який несе значення швидкості, допустиме на даній автодорозі. В мікропроцесорному блоці управління (МБУ), це значення порівнюється з сигналом від цифрового спідометра або датчика швидкості, що є поточним значенням швидкості автомобіля. Незгодженість цих двох сигналів або перевищення швидкості автомобіля над допустимим значенням швидкості на даній дорозі служить підставою для перерахунку (зниження) по запрограмованому алгоритму блоком МБУ кількості палива, необхідного для подачі на форсунку, а також для зменшення тривалості відкриття форсунок. Зниження подачі палива в циліндри двигуна призводить до зниження швидкості автомобіля до прийнятних значень.

розроблені для основних типів систем управління двигуном в сучасних автомобілях (з мікропроцесорним управлінням), що відрізняються деякими деталями. Це відмінності в способі регулювання подачі палива на магнітоелектричні форсунки, в типах пристроїв, що управляють, що розрізняються по швидкодії і обсягом оперативної і постійної пам'яті, що тягне різний підхід до алгоритмізації процесів керування автомобілем, і т. п.

На рис. 3 приведена узагальнена функціональна схема пристрою ДПОШ, що є, на нашу думку, універсальною для всіх типів сучасних автомобілів.

Описаний процес примусового обмеження швидкості автомобіля є досить складним, адже необхідно не просто знизити швидкість транспортного засобу, але зробити це без шкоди для безпеки руху, для економічності ізового циклу та інших показників. Буде потрібен облік мікропроцесорним блоком управління всієї інформації, що надходить від різних датчиків і формування з урахуванням цієї інформації керуючого впливу на електромагнітні форсунки. А це, в свою чергу, спричинить деякі зміни алгоритмів і програм, закладених в МБУ.

Таким чином, запропоновано та розроблено

спосіб зниження аварійності на автодорогах в частині, що залежить від швидкісного режиму руху транспортних засобів. Спосіб та пристрій, що його реалізує, дистанційно та примусово обмежують швидкість транспортних засобів в залежності від значення допустимої швидкості на даній ділянці шляху.

### Висновки

При створенні способу дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля проведено аналіз існуючих засобів та пристроїв для примусового обмеження швидкості, який показав відсутність на даний момент дистанційних рішень цієї проблеми.

Дистанційність здійснюється за рахунок прийому на кожному автомобілі сигналу, що несе значення допустимої швидкості руху на даній ділянці. Такий сигнал передається або станціями мобільних операторів. Штатні мікропроцесорні блоки управління на кожному автомобілі порівнюють величину обмежувального сигналу з поточним значенням швидкості, і, якщо остання перевищує граничне значення, знижують подачу палива в циліндри двигуна.

Нами розроблені функціональні схеми пристроїв для реалізації запропонованого способу на основних типах систем управління двигуном в сучасних автомобілях. Як приклад наведена узагальнена універсальна функціональна схема пристрою для дистанційного примусового обмеження швидкості автомобіля.

Продовженням цього дослідження повинно стати виготовлення експериментального пристрою ДПОШ і його натурні випробування з імітацією обмежувального сигналу від базових станцій мобільного зв'язку. В подальшому потрібно буде провести випробування функціонування пристрою при взаємодії з сигналом, що буде випромінюватися справжніми станціями. Для цього потрібна буде взаємодія з керівництвом оператора мобільного зв'язку щодо виділення невеликого ресурсу мережі для проведення випробувань пристрою. В подальшому виділення частоти для передавання обмежувального сигналу потрібно буде вирішувати на обласному чи державному рівні, тому що це дозволить запропонувати нашому суспільству і державі спосіб радикального підвищення безпеки дорожнього руху (звичайно, разом з іншими заходами в цьому напрямку), що дозволить уникнути величезних людських жертв і матеріальних збитків.

### Література

1. Organisation for Economic Cooperation and Development. Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach (Russian version). Paris, 2010. 298 с.
2. Дубровик-Рохова А. Дорогие дороги. *День*. Київ, 2018. № 60. С. 3.
3. Краснодемський В. Безпека на дорозі – проблема національна. *Голос України*. Київ, 11.05.2011. С. 5.
4. EU Rules Intelligent Speed Assistance In All New Cars By 2022. 2019. URL: <https://industryeurope.com/eu-rules-intelligent-speed-assistance-in-all-new-cars-by-2022/> (дата звернення: 20.05.2020).
5. Intelligent Speed Adaptation. 2020. URL: [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/speed/new\\_technologies\\_new\\_opportunities/intelligent\\_speed\\_adaptation\\_isa\\_en](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/new_technologies_new_opportunities/intelligent_speed_adaptation_isa_en) (дата звернення: 20.05.2020).
6. ДОПОГ 2019. Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов с приложениями А и В. Москва, 2018. 1467 с.
7. Пат. 2466882 РФ. Система автоматического ограничения скорости автотранспортных средств. Опубл. 20.11.2012.
8. Бойко М. Ф. Трактори та автомобілі. Електрообладнання. Київ, 2001. 453 с.

### References

1. Organisation for Economic Cooperation and Development (2010). Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach. Paris.
2. Dubrovik-Rohova, A. (2018). Dorogie dorogi [Expensive roads] Den – Day, Ky`yiv, 60, 3 [in Ukrainian].
3. Krasnodemskii, V. (2011). Bezpeka na dorozі – problema nacionalnaya [Road safety is a national problem]. Golos Ukrainy – The voice of Ukraine, Ky`yiv [in Ukrainian].
4. EU Rules Intelligent Speed Assistance In All New Cars By 2022 (2019). Retrieved from <https://industryeurope.com/eu-rules-intelligent-speed-assistance-in-all-new-cars-by-2022/> (accessed: 20.05.2020).
5. Intelligent Speed Adaptation (2020). Retrieved from [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/speed/new\\_technologies\\_new\\_opportunities/intelligent\\_speed\\_adaptation\\_isa\\_en](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/speed/new_technologies_new_opportunities/intelligent_speed_adaptation_isa_en) (accessed: 20.05.2020).
6. DOPOG 2019. Evropeyskoe soglashenie o mezhdunarodnoyi dorozhnoyi perevozke opasnih грузов s prilozheniyami A i B [DOPOG 2019. European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road with Annexes A and B]. (2018). Moscow [in Russian].
7. Pat. 2466882 RF. (20.11.2012) Sistema avto-

macheskogo ogranicheniya skorosti avtotransportnih sredstv [System of automatic speed limitation of vehicles] [in Russian].

8. Boiko, M. F. (2001). Traktory ta avtomobili. El-ektroobladnannya [Tractors and cars. Electrical equipment]. Ky`yiv [in Ukrainian].

**Симбірський Геннадій Дмитрович<sup>1</sup>**, к. т. н., доцент кафедри інформатики та прикладної математики, simbir.gd@gmail.com, тел. 066-129-04-75

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

#### **Информационная технология дистанционного принудительного ограничения скорости транспортных средств для повышения безопасности дорожного движения**

**Аннотация.** Предлагается способ снижения аварийности и смертности на автодорогах в части, зависящей от скорости транспортных средств, основанный на дистанционном принудительном ограничении их скорости. На автомобиле принимается сигнал, несущий значение допустимой скорости движения, передаваемый станциями мобильной связи. В случае превышения скорости бортовой компьютер снижает подачу топлива.

**Ключевые слова:** безопасность движения, превышение скорости, дистанционное принудительное ограничение скорости автомобиля, микропроцессор, контроллер.

**Симбирский Геннадий Дмитриевич<sup>1</sup>**, к. т. н., доцент, кафедра информатики и прикладной математики, тел. 066-129-04-75, [simbir.gd@gmail.com](mailto:simbir.gd@gmail.com)

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

#### **Information technology for remote forced vehicle speed limits to improve road safety**

**Abstract. Problems.** Overcoming the consequences of traffic accidents places a heavy burden on the country's health and social services. The International Transport Forum has developed the report "Striving for Zero: High Tasks and a Systematic Approach to Traffic Safety". Forum experts consider non-compliance with the high-speed regime on roads to be a key problem in the growth of road accidents, and the use of information technologies is one of the ways to reduce accidents. **Goal.** Based on the analysis, we formulated the goal of the study, which consists in creating a method and device for remote forced speed limits (RFSL)

of vehicles on roads in the city and outside it in accordance with the speed limit adopted at this place. The task of this article is to formulate a concept for improving road safety in Ukraine in terms of bringing vehicle speeds to the maximum allowable values for these roads (the concept is outlined and justified), as well as developing a functional diagram of a device for remote forced vehicle speed limitation. **Methodology.** The analytical method is research of existing systems that can remote forced speed to limit. The method of synthesis is creation the structural scheme of a new system, based on the advantages and disadvantages of analyzed systems. **Results.** A method of improving road safety by remote forced speed limits of cars on roads within the city and outside them in accordance with the accepted speed limit in this place is the constant transmission over mobile networks or any other communication signal carrying information about the restrictions speed in a specific place on a specific highway. This signal after reception is processed in the microprocessor control system of fuel supply to the car engine according to a certain algorithm for the purpose of maintenance of a car speed, which does not exceed the value of restriction. Moreover, the driver of the vehicle could not, even if he wanted to, compromise such a restriction. **Originality.** The method of remote forced speed limitation of the car works as follows. The GSM receiver (possibly another radio receiver) constantly receives a signal that carries the value of the speed allowed on this road. In a microprocessor control unit (MCU), this value is compared to a signal from a digital speedometer or speed sensor, which is the current value of the vehicle speed. The inconsistency of these two signals or exceeding the speed of the car over the allowable speed on this road is the basis for recalculation (reduction) according to the programmed algorithm by the MCU unit of the amount of fuel required to feed the injector, as well as to reduce the duration of injectors. Reducing the fuel supply to the engine cylinders lowers the speed of the car to the acceptable values. **Practical value.** Functional schemes of devices for realization of the offered way on the basic types of control systems of the engine in modern cars are developed. As an example, a generalized universal functional diagram of a device for remote forced limitation of vehicle speed is given.

**Key words.** traffic safety, speeding, remote forced vehicle speed limit, microprocessor, controller.

**Simbirsky Gennady<sup>1</sup>**, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Informatics and Applied Mathematics, tel. +38 066-129-04-75, [simbir.gd@gmail.com](mailto:simbir.gd@gmail.com)

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkov, 61002, Ukraine.

## ІНФОРМАЦІЙНІ КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНІ СИСТЕМИ СУЧАСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Серіков Г. С.<sup>1</sup>, Серікова І. О.<sup>1</sup>, Смирнов О. П.<sup>1</sup>, Борисенко А. О.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

**Анотація.** Розглянуті інформаційні контрольно-діагностичні системи сучасних транспортних засобів. Особлива увага приділена контрольно-вимірювальним приладам та засобам бортової діагностики, інформаційним системам гібридних транспортних засобів. Показані інформаційні системи Honda CR-Z та Chevrolet Volt.

**Ключові слова:** транспортний засіб, інформаційна система, контрольно-діагностичні системи, вимірювальні прилади, бортова діагностика.

### Вступ

Крім сенсорного дисплея та елементів керування в сучасних транспортних засобах застосовуються інші засоби забезпечення зв'язком, інформацією та комфортом руху. Навігація, автопілот, системи зв'язку, розширені функції смартфона, самодіагностика поступово стають стандартним оснащенням транспортних засобів.

### Аналіз публікацій

Схема структурна інформаційної системи сучасного транспортного засобу наведена на рис. 1. Усі ці засоби потребують наявності дисплея та спеціальних схем для їх роботи. Для задоволення вимог відносно забезпечення комфорту і безпеки руху, інформаційна система

автомобіля або трактора повинна мати стандартизований інтерфейс користувача [1, 2].

Застосування робочих елементів обмежується рамками одного дисплея та одного робочого пристрою.

Дисплей і робочий блок підтримують взаємний зв'язок з усіма під'єднаними компонентами через шинну систему, наприклад, через бортовий контролер зв'язку, для керування і відображення інформації на дисплеї.

Введення інформації, що здійснюється за допомогою елементів введення, розташованих в межах миттєвого доступу, використання елементів керування на рульовому колесі є важливою функцією керування. Інші задачі програмування можуть виконуватись за допомогою дистанційного керування [4].



Рис. 1. Схема структурна інформаційної системи транспортного засобу

Центральний дисплей також служить для відображення інформації, що змінюються найчастіше, такої як параметри руху (швидкість, момент, потужність, тощо) та інформацію про зовнішнє середовище (обмеження, положення, знаки, тощо), а також тексти та відеосигнали.

Важлива для водія інформація під час керування транспортним засобом відображується на дисплеї комбінації приладів. Допоміжним забезпеченням оптичного дисплея є засоби голосового виведення [5, 6].

### Мета та постановка задачі

Об'єктом дослідження є процес аналізу функціональних можливостей інформаційних контрольно-діагностичних систем.

Мета дослідження – підвищення конкурентоспроможності транспортних засобів за рахунок розширення функціональних можливостей інформаційних систем.

Метод дослідження заснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу інформаційних транспортних засобів, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів.

Предмет дослідження – інформаційні контрольно-діагностичні системи, що використовуються в сучасних транспортних засобах.

Основні задачі дослідження: аналіз сучасних інформаційних контрольно-діагностичних систем; принципи, критерії та параметри керування інформаційними системами транспортних засобів.

### Контрольно-вимірювальні прилади та засоби бортової діагностики

Постійно зростаючий потік інформації, що поступає від власного та іншого транспортного засобу, дороги та зовнішнього середовища, необхідно обробляти. Інформація повинна передаватися водієві через наявні в автомобілі зони інформації і зв'язку зручним відображенням та індикаторним оснащенням.

Виділимо в автомобілі зони інформації та зв'язку: вітрове скло, щиток приладів, центральна консоль панелі приладів, заднє відділення салону автомобіля. Характер відображення інформації в цих зонах визначається областю значень корисної і бажаної інформації для користувача.

Інформація про динаміку руху автомобіля, на яку водій повинен реагувати, відображається на щитку приладів. Проекційний борто-

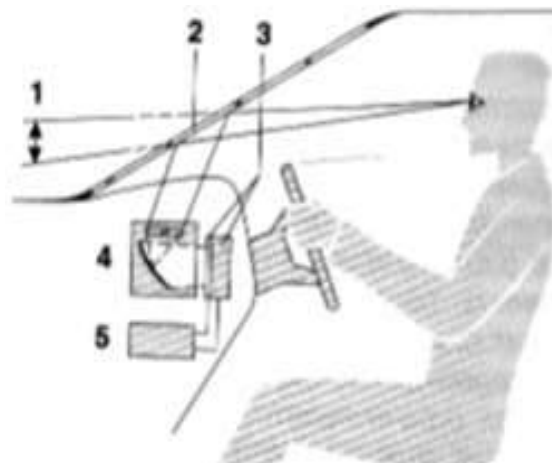
вий індикатор ефективний для передачі інформації, якщо необхідно зберегти основну увагу водія на дорожній ситуації [13]. За допомогою бортового індикатора інформація відображається на вітровому склі (рис. 2).



Рис. 2. Автомобільний HUD-проектор Xiaomi з підтримкою Bluetooth

На центральній консолі панелі приладів відображається інформація про стан агрегатів та систем або запрошення до діалогу. В задній частині транспортного засобу відображається інформація розважального характеру.

Технології відображення інформації в салоні транспортного засобу пройшли наступні стадії розробки: персональні та комбіновані контрольно-вимірювальні прилади; цифрові дисплеї; графічні та персональні модулі з комп'ютерним монітором, проекційні бортові індикатори. Схема роботи проекційного бортового індикатора наведена на рис. 3 [4].



1 – віртуальне зображення; 2 – відображення на вітровому склі; 3 – рідкокристалічний дисплей з додатковим освітленням або дисплей з електронно-променевою трубкою (CRT), або вакуумно-флуорисцентний дисплей (VFD); 4 – оптична система; 5 – система керування

Рис. 3. Схема роботи проекційного бортового індикатора

Зображення від проекційного бортового індикатора не повинне перевантажуватися інформацією, щоб не відволікати увагу водія транспортного засобу від головного напрямку зору. Проекційний бортовий індикатор використовується для передачі інформації, що пов'язана з безпекою руху, такої як: дотримання безпечної дистанції, попередження про небезпеку на дорозі, вказування маршруту

руху. Основні функції основної комбінації приладів транспортних засобів є схожими, що зображене на рис. 4. Функціональні блоки, що включають в себе мікроконтролери, інтегральні схеми запам'ятовуючих пристроїв з програмами, стандартні зовнішні пристрої за характеристиками та типом дисплеїв значно відрізняються [4].



Рис. 4. Блок - схема функціонування комбінації приладів з використанням бортового контролера зв'язку CAN

Електронні комбінації приладів сучасних транспортних засобів показують параметри, що вимірюються, з високою точністю завдяки застосовуваним «інтелектуальним» функціям на сенсорному дисплеї, індикації відмов, необхідності технічного обслуговування, ремонту.

Діагностичні функції є стандартними. Вони займають велику частину запам'ятовуючого пристрою програми. Як інтерфейси між різними системами автомобіля використовуються системи шин (каналів передачі інформації).

Контроль за технічним станом агрегатів, систем, вузлів та автомобіля в цілому є найголовнішим завданням мікропроцесорних вбудованих засобів. В результаті формуються необхідні рекомендації із продовження роботи транспортного засобу на лінії або поставлення його на технічне обслуговування (ТО) або поточний ремонт (ПР), виконання дрібного ремонту щоденного обслуговування.

Вбудовані засоби підрозділяються на наступні системи:

- автономні або функціонуючі комплексно зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами;
- бортові системи контролю параметрів функціонування та технічного стану транспортного засобу з виведенням результатів на дисплеї;
- системи датчиків та контрольних точок, що забезпечують виведення сигналів на зовнішні засоби діагностування.

Незадовільний технічний стан автотранспортних засобів є причиною дорожньо-транспортних пригод (ДТП) і дорожніх відмов.

Класифікація вбудованих засобів діагностування за функціональними і структурними ознаками наведена на рис. 5 [4].

Під вбудованими системами діагностування маємо на увазі автономні або функціонуючі в комплексі зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами мікропроцесорні системи для контролю, збирання та переробки результатів.





Рис. 5. Класифікація вбудованих засобів діагностування

### Особливості інформаційних систем гібридних транспортних засобів

На паливну економічність екологічно чистих транспортних засобів (електромобілів та гібридних транспортних засобів) в більшому ступені впливає майстерність водія, стиль та характер водіння, висока швидкість руху. Некономне управління автомобілем з електроприводом може на 50 % зменшити пробіг на електричній тязі. Це пов'язано з тим, що низький ККД ДВЗ декілька нівелює марнотратні дії водія, що пов'язані з необґрунтованими динамічними прискореннями та гальмуваннями, а високий ККД електродвигуна більш чутливий до непрофесійних дій водія щодо економічного руху. Саме тому у транспортних засобах з електричними двигунами застосовуються спеціальні системи, які навчають водіїв економному водінню [7].

Інформаційна система Honda CR-Z. У автомобіля Honda CR-Z поряд з економічним режимом роботи Econ, реалізована функція помічника з рекомендаціями водієві щодо заощадження палива. Це відбувається наступним чином. За кермом водій може орієнтуватися на два основні індикатори: індикатор на багатофункціональному інформаційному дисплеї (MID) і кольорове підсвічування навколо спідометра (рис. 6).



Рис. 6. Багатофункціональний інформаційний дисплей

Вони надають інформацію про споживання палива в реальному часі і допомагають водієві обрати оптимальний режим руху. Індикатор Eco guide bar - це шкала зі стрілкою посередині, що може рухатися в боки від центру. Водій повинний утримувати її посередині. При плавному економічному русі стрілка знаходиться в межах центру, при поступовому прискоренні зміщується вправо, при плавному гальмуванні – вліво.

Підсвічування спідометра має зелений колір, що свідчить про економічний рух. Якщо прискорення або пригальмування зростає, то смужка впаде вправо або вліво у тінюву зону. Це сигналізує про підвищення витрати пального та, як слідство, збільшення викидів в атмосферу. При цьому підсвічування спідометра світиться зеленим і синім. Різка зміна швидкості відхиляє смужку максимально від центру, спідометр фарбується у сине.

Для додаткового мотивування водіїв частіше їздити в екологічному режимі, на дисплеї, що розташований над індикатором, вималюється дерево. Чим більше утримується екологічний режим, тим вищим стає дерево. Спочатку з'являються листочки, потім їх стає більше, насамкінець, якщо водієві вдалося побити попередній рекорд, – розпускається квітка. Натиснувши на кнопку інформації на кермовому колесі і прокрутивши дані на MID, водій може не лише побачити середнє споживання палива за поїздку, а й порівнювати поточні показники з останніми трьома поїздками. Листочки нагорі відображають результати останньої поїздки. Праворуч зображується дерево, що розквітле, це відповідає поточному рекорду. Якщо водієві за останню поїздку вдалося покращити свої результати, на дисплеї з'являється вінок переможця. Якщо поїздка не вдалася – рослина в'яне.

Автомобілі марки Honda CR-Z [7, 8] оснащені індикатором Shift Light (SIL), котрий попереджає водія про оптимальний момент для зміни передач. Якщо дотримуватися рекомендацій Eco Assist, реально зменшити витрату пального на 10 %.

Джерела щодо інформаційної системи Chevrolet Volt наведені в [9-11]. Багатофункціональний дисплей автомобіля Chevrolet Volt показаний на рис. 7.



Рис. 7. Багатофункціональний дисплей автомобіля Chevrolet Volt

Фахівці американської автомобільної корпорації General Motors своєю чергою також прагнуть заощадження палива водіями, тому на екрані гібридного автомобіля Chevrolet Volt передбачили відображення ефективності керування автомобілем. На екрані переміщується обертова куля, яка рухається вгору або вниз і змінює свій колір залежно від швидкості автомобіля, режимів прискорення або гальмування. Утримання кулі по центру дисплея визначає режим оптимального використання енергії.

## Висновки

Найважливішою функцією керування є введення інформації на сенсорному дисплеї, яке здійснюється за допомогою спеціальних елементів введення, а також використання елементів керування на рульовому колесі.

Основні функції більшості комбінацій приладів транспортних засобів є однаковими, хоча деякі функціональні блоки, що включають мікроконтролери, інтегральні схеми запам'ятовуючих пристроїв з програмами і стандартні зовнішні пристрої інколи значно відрізняються (за характеристиками, типом дисплеїв, специфікою роботи автомобілів та тракторів, тощо).

Провідні компанії, що призводять сучасну автомобільну та тракторну техніку, в теперішній час застосовують розгалужені мікропроцесорні бортові системи контролю, що забезпечують контроль стану акумуляторної батареї, зчеплення, амортизаторів, компресії в циліндрах системи запалювання та ін. [12-15]. Особливості інформаційних систем гібридних транспортних засобів є те, що в них реалізована функція помічника з рекомендаціями водієві щодо заощадження палива.

## Література

1. Сосин Д. А. Яковлев В. Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. Навч. посібник, 2005. 240 с.
2. Сига Х. Мидзутани С. Введение в автомобильную электронику. Навч. посібник, 1989. 232 с.
3. Федосов В. П. Сытенский В. Д. Автомобильная электроника. Навч. посібник, 1998. 73 с.
4. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Информационные компьютерные системы автомобильного транспорта. Навч. посібник, 2010. 230 с.
5. Комаров В. М. Технические системы обеспечения безопасности дорожного движения. Навч. посібник, 1990. 351 с.
6. Controller Area Network (CAN) Overview. URL: <https://www.ni.com/de-de/innovations/white-papers/06/controller-area-network--can--overview.html> (дата звернення 03.12.2019).
7. Honda CR-Z. URL: [http://www.jcnews.ru/news/honda\\_cr\\_z\\_2013\\_goda\\_nedostatochno\\_sportivnaya\\_nedostatochno\\_ekologichnaya/2](http://www.jcnews.ru/news/honda_cr_z_2013_goda_nedostatochno_sportivnaya_nedostatochno_ekologichnaya/2) (дата звернення 03.12.2019).
8. Обзор тест-драйва: Honda CR-Z 2016. URL: <https://automoto.ua/overview/Honda-CR-Z-2016-142.html> (дата звернення 03.12.2019).
9. Chevrolet VOLT. URL: <https://elmob.ua/elektromobili/chevrolet/chevrolet-volt/> (дата звернення 03.12.2019).
10. Olmaks Group/Модели/Chevrolet Volt CHEVROLET VOLT. URL:

- <https://olmaks.ua/ru/chevrolet-volt/> (дата звернення 03.12.2019).
11. Chevrolet Volt › Бортжурнал › GM Volt — Інформаційна підборка. URL: <https://www.drive2.ru/l/501231892926825804> (дата звернення 03.12.2019).
  12. Application-specific integrated circuits (ASICs) are commercially available that contain main elements of voltage- or current-mode control schemes. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/application-specific-integrated-circuits> (дата звернення 03.12.2019).
  13. The Sequential Shift Light from CARTEK indicates. URL: <https://www.cartekmotorsport.com/sequential-shift-light/> (дата звернення 03.12.2019).
  14. Твег Р. Диагностика электронной системы управления двигателя автомобиля: руководство по техническому обслуживанию и ремонту. Навч. посібник. Москва, 2003. 144 с.
  15. Head-Up-Display (HUD) HUDWAY Glass URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5a81a63c8139ba89761a55da/headupdisplay-hud-hudway-glass--biudjetnoe-reshenie-dlia-liubogo-avtomobilia-5b5d9de3443e0900a95d1cd2> (дата звернення 03.12.2019).
  10. Olmaks Group / Models / Chevrolet Volt CHEVROLET VOLT. Retrieved from: <https://olmaks.ua/en/chevrolet-volt/> (accessed: 03.12.2019).
  11. Chevrolet Volt › Logbook › GM Volt - Information selection. Retrieved from: <https://www.drive2.ru/l/501231892926825804> (accessed: 03.12.2019).
  12. Application-specific integrated circuits (ASICs) are commercially available that contain main elements of voltage- or current-mode control schemes. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/application-specific-integrated-circuits> (accessed: 03.12.2019).
  13. The Sequential Shift Light from CARTEK indicates. Retrieved from: <https://www.cartekmotorsport.com/sequential-shift-light/> (accessed: 03.12.2019).
  14. Tweg R. (2003) Diagnostika elektronnoy sistemy upravleniya dvigatelya avtomobilya: rukovodstvo po tekhnicheskomu obslu-zhivaniyu i remontu [Diagnosis of Electronic Car Engine Control System: A Guide to Maintenance and Repair]. Navch. posibny`k [in Russia].
  15. Head-Up-Display (HUD) HUDWAY Glass. Retrieved from: <https://zen.yandex.ru/media/id/5a81a63c8139ba89761a55da/headupdisplay-hud-hudway-glass--biudjetnoe-reshenie-dlia-liubogo-avtomobilia-5b5d9de3443e0900a95d1cd2> (accessed: 03.12.2019).

### References

1. Sosin D. A. Yakovlev V. F. (2005) Noveyshiye avtomobil'nyye elektronnyye sistemy [The latest automotive electronic systems]. Navch. posibny`k [in Russia].
2. Shiga H. Mizutani S. (1989) Vvedeniye v avtomobil'nyuyu elektroniku [Introduction to automotive electronics]. Navch. posibny`k [in Russia].
3. Fedosov V. P. Sytenky V. D. (1998) Avtomobil'naya elektronika [Automotive electronics] Navch. posibny`k [in Russia].
4. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Grisyuk O. G. (2010) Informatsiyni komp'yuterni systemy avtomobil'noho transportu [Road computer information systems]. Navch. posibny`k [in Ukrainian].
5. Komarov V. M. (1990) Tekhnicheskkiye sistemy obespecheniya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya [Technical systems for ensuring road safety]. Navch. posibny`k [in Russia].
6. Controller Area Network (CAN) Overview. Retrieved from: <https://www.ni.com/de-de/innovations/white-papers/06/controller-area-network--can--overview.html> (accessed: 03.12.2019).
7. Honda CR-Z. Retrieved from: [http://www.jcnews.ru/news/honda\\_cr\\_z\\_2013\\_goda\\_nedostatochno\\_sportivnaya\\_nedostatochno\\_ekologichnaya/2](http://www.jcnews.ru/news/honda_cr_z_2013_goda_nedostatochno_sportivnaya_nedostatochno_ekologichnaya/2) (accessed: 03.12.2019).
8. Test Drive Review: Honda CR-Z 2016. Retrieved from: <https://automoto.ua/overview/Honda-CR-Z-2016-142.html> (accessed: 03.12.2019).
9. Chevrolet VOLT. Retrieved from: <https://elmob.ua/elektromobili/chevrolet/chevrolet-volt/> (accessed: 03.12.2019).

**Серіков Георгій Сергійович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380679478687, e-mail: [georgy301212@gmail.com](mailto:georgy301212@gmail.com)

**Серікова Ірина Олексіївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380671085237, e-mail: [irinaserikova\\_ae\\_khadi@ukr.net](mailto:irinaserikova_ae_khadi@ukr.net)

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup> д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, +380686099458, e-mail: [smirnov1oleg@gmail.com](mailto:smirnov1oleg@gmail.com)

**Борисенко Анна Олегівна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, +380995257393, e-mail: [anutochka2111@gmail.com](mailto:anutochka2111@gmail.com)

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

### Information control and diagnostic systems of modern vehicles

**Abstract. Problem.** The article analyzes displays and work units that communicate with all connected components through the on-board communication controller to control and display information on the display. Particular attention is paid to control and measuring devices and on-board diagnostics, information systems of hybrid vehicles. **Goal.** The object of research is the process of analyzing the functionality of information control and diagnostic systems. The purpose of the study is to increase the competitiveness of vehicles by expanding the functionality of information systems. **Methodology.** The research method is based

on the use of a systematic approach to the analysis and synthesis of information vehicles, on the rational combination of theoretical and experimental developments and the generalization of scientific results. **Results.** The basic functions of most vehicle combinations are the same, although some functional units, including microcontrollers, program-based storage integrated circuits, and standard external devices, sometimes differ significantly. Leading companies that produce modern automotive and tractor equipment, currently use extensive microprocessor on-board control systems that monitor the condition of the battery, clutch, shock absorbers, compression in the cylinders of the ignition system, etc. Features of information systems of hybrid vehicles are that in them the function of the assistant with recommendations to the driver concerning fuel saving is realized. **Practical value.** The information control and diagnostic systems of modern vehicles are considered. Particular attention is paid to instrumentation and onboard diagnostics, information systems of hybrid vehicles. The information systems Honda CR-Z and Chevrolet Volt are shown.

**Key words:** vehicle, information system, control and diagnostic systems, measuring instruments, on-board diagnostics

**Serikov Georgy**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com.

**Serikova Irina**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +3806 71085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net.

**Smirnov Oleg**<sup>1</sup>, Ph.D., professor. Automobile electronics, +380686099458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

**Borisenko Anna**<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor. Automobile electronics, +380995257393, e-mail: anutochka2111@gmail.com.

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

### **Информационные контрольно-диагностические системы современных транспортных средств**

**Аннотация.** Рассмотрены информационные контрольно-диагностические системы современных транспортных средств. Особое внимание уделено контрольно-измерительным приборам и средствам бортовой диагностики, информационным системам гибридных транспортных средств. Показаны информационные системы Honda CR-Z и Chevrolet Volt.

**Ключевые слова:** транспортное средство, информационная система, контрольно-диагностические системы, измерительные приборы, бортовая диагностика.

**Сериков Георгий Сергеевич**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, +380679478687, e-mail: georgy301212@gmail.com

**Серикова Ирина Алексеевна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, +380671085237, e-mail: irinaserikova\_ae\_khadi@ukr.net

**Смирнов Олег Петрович**<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. автомобильной электроники, +380686099458, e-mail: smirnov1oleg@gmail.com

**Борисенко Анна Олеговна**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, +380995257393, e-mail: anutochka2111@gmail.com

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

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ

Александров Е. Е.<sup>1</sup>, Александрова Т. Е.<sup>2</sup>, Костяник И. В.<sup>2</sup>, Моргун Я. Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

<sup>2</sup>Национальный технический университет «Харьковский  
политехнический институт»

**Аннотация.** Рассматривается задача выбора варьируемых параметров алгоритма управления, реализуемого цифровым электронным блоком системы курсовой устойчивости автомобиля и обеспечивающего максимальный запас устойчивости и максимальное быстроедействие стабилизируемого процесса при торможении автомобиля.

**Ключевые слова:** система курсовой устойчивости автомобиля, параметры Родрига-Гамильтона, решетчатая функция, низкочастотные цифровые фильтры, варьируемые параметры системы.

### Введение

Автоматическое управление тормозной системой автомобиля обычно осуществляется тремя параллельно работающими системами: антиблокировочной системой ABS, предупреждающей блокировку колес при резком нажатии на педаль тормозов, противобуксовочной системы TRC, предупреждающей пробуксовывание колес при резком нажатии на педаль управления подачей топлива, и системы курсовой устойчивости VSC, поддерживающей управляемость автомобиля в случае утраты сцепления с дорогой передних или задних колес обеих бортов.

В боевых действиях на Донбассе широкое использование получили колесный бронетранспортер БТР-4 с автоматической 30-мм пушкой и колесная разведывательно-дозорная машина «Дозор-Б» с 12,7-мм танковым зенитным пулеметом «Утес». В условиях разрушенных дорог, а точнее, полного бездорожья вести прицельный огонь с ходу из таких машин практически не возможно, поэтому задача оснащения их современной системой курсовой устойчивости является неотложной технической задачей.

### Анализ публикаций

В работе [1] рассмотрена задача выбора варьируемых параметров системы автоматического управления курсовой устойчивостью автомобиля VSC. Система содержит ставший традиционным на зарубежных автомобилях представительского класса комплекс командных приборов, состоящий из трех гироскопических датчиков угловых скоростей, оси чувствительности которых совпадают по

направлению с главными центральными осями инерции корпуса автомобиля, а выходные сигналы поданы на бортовой вычислитель с периодом дискретности  $T$ , реализующий алгоритмы бесплатформенной инерциальной системы (БИНС), с помощью которых с высокой точностью может быть оценен угол рассогласования  $\psi[nT]$  собственной продольной оси корпуса автомобиля от заданного направления движения [2]. Преобразованный в непрерывную функцию времени  $\psi(t)$  сигнал с выхода бортового вычислителя поступает в аналоговый стабилизатор, формирующий функцию управления:

$$u(t) = k_{\psi}\psi(t) + k_{\dot{\psi}}\dot{\psi}(t), \quad (1)$$

а с выхода стабилизатора сигнал (1) поступает на вход электрогидравлического усилителя, устанавливающего давление тормозной жидкости в тормозных магистралях правого и левого бортов автомобиля. Таким образом, в системе VSC, рассмотренной в статье [1], функция бортового вычислителя заключается в вычислении угла  $\psi(t)$ . Собственно, стабилизатор положения корпуса является аналоговым.

В работах [3, 4] изложены теоретические основы построения БИНС, с высокой точностью оценивающих значение угла рассогласования  $\psi[nT]$ . Вместе с тем, практически отсутствуют работы в области параметрического синтеза систем курсовой устойчивости автомобиля, в которых рассматривается проблема выбора варьируемых констант алгоритма управления, реализуемого цифровой

системой курсовой устойчивости автомобиля.

### Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы является решение задачи параметрического синтеза цифровой системы автоматического управления курсовой устойчивостью автомобиля, в которой бортовой вычислитель не только оценивает угол рассогласования  $\psi[nT]$ , но также формирует решетчатую функцию управления в виде:

$$u[nT] = k_{\psi}\psi[nT] + k_{\dot{\psi}}\dot{\psi}[nT], \quad (2)$$

где  $k_{\psi}$  и  $k_{\dot{\psi}}$  – варьируемые константы алгоритма (2), подлежащие выбору, значения ко-

торых должны обеспечивать максимальный запас устойчивости и максимальное быстроедействие замкнутой цифровой системы управления курсовой устойчивостью автомобиля.

### Характеристическое уравнение замкнутой системы

Структурная схема замкнутой цифровой САУ курсовой устойчивостью автомобиля приведена на рис. 1.

Непрерывная часть системы содержит объект управления (автомобиль А с гидравлической тормозной системой ТС), комплекс командных приборов ККП и исполнительный орган (электрогидравлический усилитель ЭГУ).

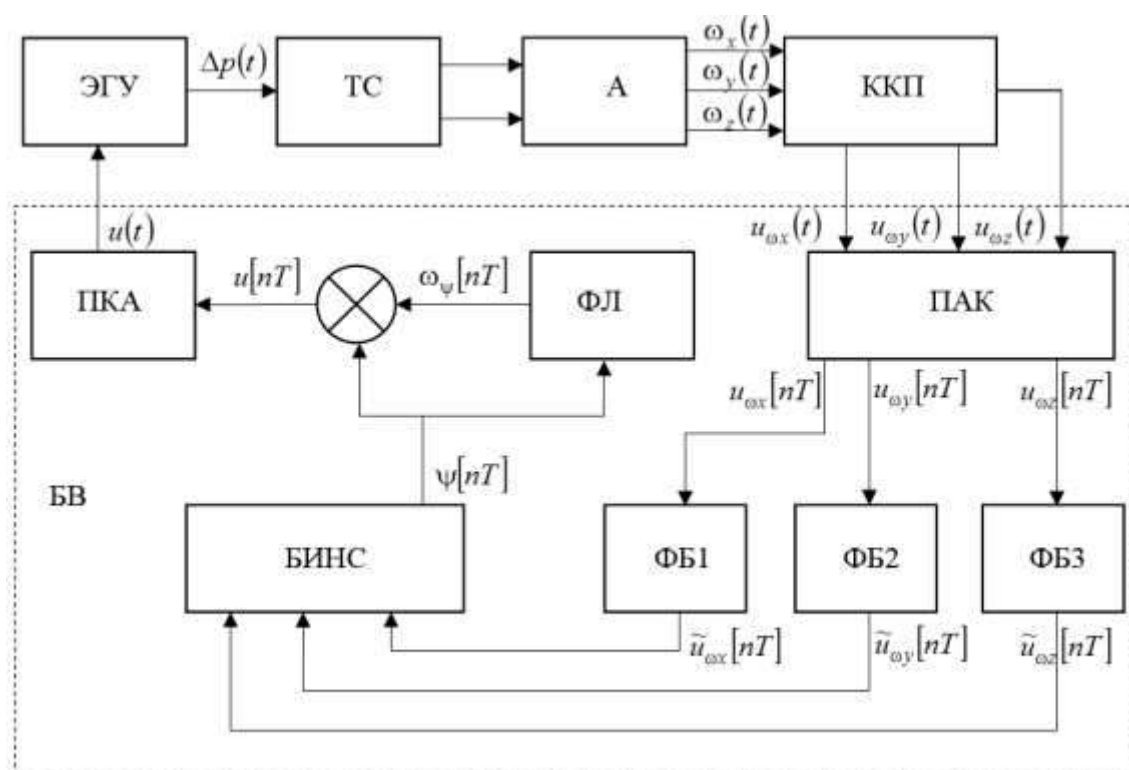


Рис. 1. Структурная схема замкнутой цифровой САУ курсовой устойчивостью автомобиля

Дискретная часть системы представляет собой бортовой вычислитель БВ, содержащий преобразователи «аналог-код» ПАК и «код-аналог» ПКА, цифровые низкочастотные фильтры Баттеруорта [3] ФБ1, ФБ2 и ФБ3, фильтрующие высокочастотные помехи дискретных сигналов  $u_{ox}[nT]$ ,  $u_{oy}[nT]$  и  $u_{oz}[nT]$ , представляющих собою решетчатые функции, соответствующие выходным сигналам гироскопических датчиков угловых скоростей  $u_{ox}(t)$ ,  $u_{oy}(t)$  и  $u_{oz}(t)$ , блок алго-

ритмов БИНС, с помощью которого осуществляется вычисление угла рассогласования  $\psi[nT]$ , цифровой низкочастотный фильтр Ланцоша ФЛ, с помощью которого вычисляется угловая скорость поворота корпуса автомобиля  $\dot{\psi}[nT]$ , а также суммирующее устройство, формирующее дискретный сигнал управления в виде решетчатой функции (2).

В соответствии с работой [1] математическая модель возмущенного движения непре-

ривной части системы записывается в виде системы линейных дифференциальных уравнений:

$$L_0 \frac{di(t)}{dt} + r_0 i(t) = u(t); \quad (3)$$

$$I_k \frac{d^2\gamma(t)}{dt^2} + f_k \frac{d\gamma(t)}{dt} + c_k \gamma(t) = k_e i(t); \quad (4)$$

$$I_a \frac{d^2\psi(t)}{dt^2} = k_a \Delta p(t), \quad (5)$$

где  $i(t)$  – электрический ток в обмотке электромагнита ЭГУ;

$\gamma(t)$  – угол поворота коромысла электромагнита;

$\psi(t)$  – текущий угол поворота корпуса автомобиля;

$\Delta p(t)$  – разность давлений рабочей жидкости в тормозных магистралях правого и левого бортов автомобиля, определяемая соотношением:

$$\Delta p(t) = k_\Gamma \gamma(t), \quad (6)$$

где  $L_0$  – индуктивность обмотки электромагнита ЭГУ;

$r_0$  – сопротивление обмотки;

$I_k$  – момент инерции коромысла электромагнита относительно оси поворота;

$f_k$  – коэффициент гидравлического трения в оси вращения коромысла;

$c_k$  – коэффициент жесткости фиксирующей пружины коромысла;

$k_e, k_a$  – коэффициенты пропорциональности;

$I_a$  – момент инерции корпуса автомобиля относительно собственной вертикальной оси.

Подставим соотношение (6) в правую часть уравнения (5) и запишем математическую модель возмущенного движения непрерывной части системы в нормальной форме Коши, вводя вектор состояния непрерывной части системы:

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \\ x_5(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i(t) \\ \gamma(t) \\ \dot{\gamma}(t) \\ \psi(t) \\ \dot{\psi}(t) \end{bmatrix}.$$

В результате имеем:

$$\dot{X}(t) = A \cdot X(t) + B \cdot u(t), \quad (7)$$

где собственная матрица  $A$  и матрица управления  $B$  записываются:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{r_0}{L_0} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{k_e}{I_k} & -\frac{c_k}{I_k} & -\frac{f_k}{I_k} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & \frac{k_a k_\Gamma}{I_a} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Запишем разностное уравнение, связывающее начальное состояние непрерывной части системы (7)  $X[kT]$  с ее конечным состоянием  $X[(k+1)T]$  на каждом периоде дискретности:

$$X[(k+1)T] = \Phi \cdot X[kT] + H \cdot u[kT], \quad (8)$$

где  $\Phi$  и  $H$  – матрицы, которые определяются формулами [4]:

$$\Phi = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{i!} A^i T^i; \quad H = \sum_{i=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(i+1)!} A^i T^{i+1} \right] B. \quad (9)$$

Количество учитываемых членов матричных рядов (9) зависит от величины периода квантования  $T$ . Обычно в современных бортовых вычислителях с малым периодом квантования с достаточной степенью точности полагают:

$$\Phi = E + A \cdot T; \quad H = B \cdot T. \quad (10)$$

Алгоритм (2) в векторно-матричной форме записывается:

$$u[kT] = K \cdot X[kT], \quad (11)$$

где  $K$  – матрица, имеет следующий вид:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & k_\psi & k_{\dot{\psi}} \end{bmatrix}.$$

Подставим соотношение (11) в разностное уравнение (8). В результате получаем разностное уравнение замкнутой дискретной системы:

$$X[(k+1)T] = [\Phi + H \cdot K] \cdot X[kT], \quad (12)$$

а характеристическое уравнение замкнутой дискретной системы запишем в виде:

$$\det[\Phi + H \cdot K - E \cdot z] = 0, \quad (13)$$

где  $E$  – единичная матрица;

$z$  – комплексная переменная

$Z$  – преобразования.

Подставляя в уравнение (13) соответствующие матрицы, получаем:

$$\begin{aligned} (1-z)^5 - (1-z)^4 a_4 + (1-z)^3 a_3 - \\ - (1-z)^2 a_2 + (1-z) a_1 k_\psi - a_0 k_\psi = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где соответствующие коэффициенты равны:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{k_e k_a k_\Gamma}{I_a I_k L_0} T^5; \\ a_1 &= \frac{k_e k_a k_\Gamma}{I_a I_k L_0} T^4; \\ a_2 &= \frac{r_0}{L_0} \cdot \frac{c_k}{I_k} T^3; \\ a_3 &= \left( \frac{c_k}{I_k} + \frac{r_0}{L_0} \cdot \frac{f_k}{I_k} \right) T^2; \\ a_4 &= \left( \frac{f_k}{I_k} + \frac{r_0}{L_0} \right) T. \end{aligned}$$

В характеристическом уравнении (14) произведем замену [5]:

$$z = \frac{1+w}{1-w}. \quad (15)$$

В результате получаем новое характеристическое уравнение относительно комплексной переменной  $w$ :

$$\begin{aligned} (A_0 - 2a_1 k_\psi + a_0 k_\psi) w^5 + \\ + (A_1 + 8a_1 k_\psi - 5a_0 k_\psi) w^4 + \\ + (A_2 - 12a_1 k_\psi + 10a_0 k_\psi) w^3 + \\ + (-4a_2 + 8a_1 k_\psi - 10a_0 k_\psi) w^2 + \\ + (-2a_1 k_\psi + 5a_0 k_\psi) w - a_0 k_\psi = 0, \end{aligned} \quad (16)$$

где  $A_0 = -32 + 16a_4 - 8a_3 + 4a_2$ ;

$A_1 = -16a_4 + 16a_3 - 12a_2$ ;

$A_2 = -8a_3 + 12a_2$ .

### Решение задачи параметрического синтеза

В характеристическом уравнении (16) произведем замену [6]:

$$w = \alpha + j\omega,$$

выделим в полученном соотношении действительную и мнимую часть и приравняем их нулю. В результате получаем систему двух алгебраических уравнений с двумя неизвестными варьируемыми параметрами системы  $k_\psi(\alpha, \omega)$  и  $k_{\dot{\psi}}(\alpha, \omega)$ :

$$\begin{aligned} k_\psi(\alpha, \omega) a_0 \{ \alpha(\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + 5\omega^4) - \\ - 5(\alpha^4 - 6\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) + 10\alpha(\alpha^2 - 3\omega^2) - \\ - 10(\alpha^2 - \omega^2) + 5\alpha - 1 \} + \\ + k_{\dot{\psi}}(\alpha, \omega) a_1 \{ -2\alpha(\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + 5\omega^4) + \\ + 8(\alpha^4 - 6\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) - \\ - 12\alpha(\alpha^2 - 3\omega^2) + \\ + 8(\alpha^2 - \omega^2) - 2\alpha \} = \\ = -A_0 \alpha(\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + 5\omega^4) - \\ - A_1 (\alpha^4 - 6\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) - A_2 \alpha(\alpha^2 - \\ - 3\omega^2) + 4a_2 (\alpha^2 - \omega^2); \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \kappa_\psi(\alpha, \omega) a_0 \{ 5\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + \omega^4 - \\ - 20\alpha(\alpha^2 - \omega^2) + 10(3\alpha^2 - \omega^2) - \\ - 20\alpha + 5 \} + \\ + \kappa_{\dot{\psi}}(\alpha, \omega) a_1 \{ -2(5\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) + \\ + 32\alpha(\alpha^2 - \omega^2) - 12(3\alpha^2 - \omega^2) + \\ + 16\alpha - 2 \} = -A_0 (5\alpha^4 - 10\alpha^2 \omega^2 + \omega^4) - \\ - 4A_1 \alpha(\alpha^2 - \omega^2) - A_2 (3\alpha^2 - \omega^2) + 8a_2 \alpha; \end{aligned} \quad (18)$$



Если в уравнениях (17) и (18) положить  $\alpha = 0$ , то они вырождаются в уравнения для построения области устойчивости замкнутой дискретной системы в плоскости варьируемых констант алгоритма (2):

$$k_{\psi}(\omega)a_0\{-5\omega^4 + 10\omega^2 - 1\} + k_{\dot{\psi}}(\omega)a_1\{8\omega^4 - 8\omega^2\} = -A_1\omega^4 - 4a_2\omega^2; \quad (19)$$

$$k_{\psi}(\omega)a_0\{\omega^4 - 10\omega^2 + 5\} + k_{\dot{\psi}}(\omega)a_1\{-2\omega^4 + 12\omega^2 - 2\} = -A_0\omega^4 + A_2\omega^2. \quad (20)$$

На рис. 2 приведены границы областей устойчивости замкнутых цифровых систем автоматического управления курсовой устойчивостью автомобиля при различных значениях периода квантования  $T$ , построенные в плоскости варьируемых констант алгоритма (2) с помощью соотношений (19) и (20). Анализ построенных областей устойчивости позволяет сделать вывод о том, что уменьшение значения периода квантования бортового вычислителя приводит к расширению области устойчивости замкнутой системы, которая при  $T \rightarrow 0$  неограниченно приближается к области устойчивости непрерывной системы с функцией управления (1).

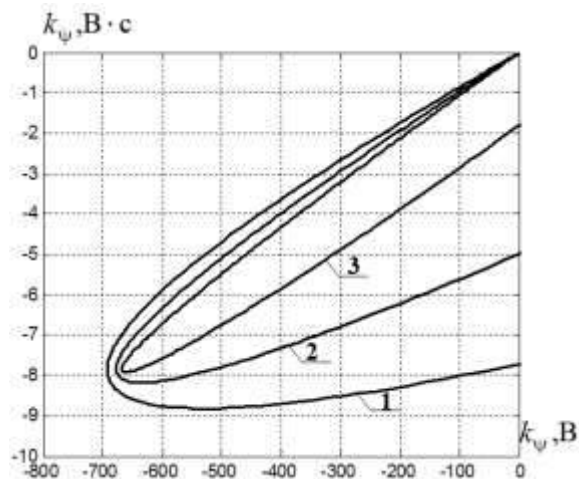


Рис. 2. Границы областей устойчивости замкнутых цифровых САУ: 1 –  $T = 0,003$  с; 2 –  $T = 0,004$  с; 3 –  $T = 0,005$  с

Значения параметров математической модели возмущённого движения автомобиля при этом принимались равными:

$$L_0 = 10^{-3} \text{ ГГ};$$

$$r_0 = 30 \text{ Ом};$$

$$I_k = 0,98 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2;$$

$$f_k = 0,55 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с};$$

$$c_k = 1,01 \cdot 10^2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$k_e = 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{А}^{-1};$$

$$k_a = -0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{Па}^{-1};$$

$$k_{\Gamma} = 3,5 \cdot 10^8 \text{ ПП};$$

$$I_a = 1750 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2.$$

На рис. 3 приведены линии равной степени устойчивости, построенные с помощью соотношений (17) и (18) при различных значениях величины  $\alpha < 0$ , и представляющие собой комфортные отображения линий, параллельных оси ординат комплексной плоскости корней характеристического уравнения (16) и сдвинутых относительно неё влево на величину  $\alpha < 0$ .

Каждая из линий равной степени устойчивости при  $\alpha < 0$  ограничивает область возможных значений варьируемых констант алгоритма (2), которые обеспечивают запас устойчивости цифровой замкнутой САУ не менее  $|\alpha|$ .

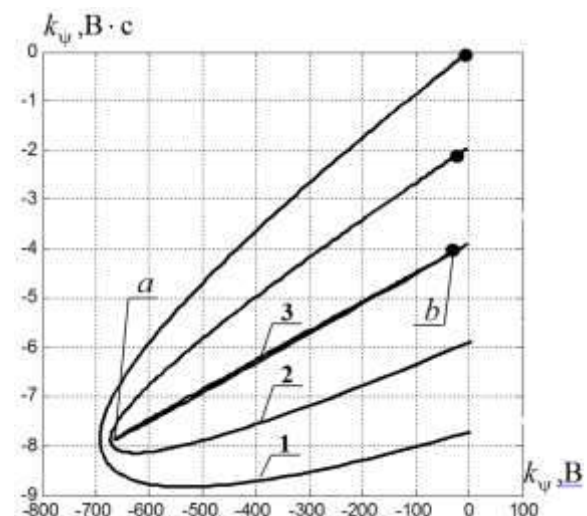


Рис. 3. Линии равной степени устойчивости цифровой САУ: 1 –  $\alpha = 0$ ; 2 –  $\alpha < 0$

При некотором значении  $\alpha = -\alpha^*$  такая область вырождается в отрезок  $ab$ . Значения варьируемых констант  $k_{\psi}$  и  $k_{\dot{\psi}}$ , выбранные на отрезке  $ab$ , обеспечивают максимальный запас устойчивости замкнутой цифровой САУ, равный  $|\alpha^*|$ . Если значения варьируемых констант алгоритма (2) соответствуют точке  $b$  отрезка  $ab$ , то они обеспечивают не

только максимальный запас устойчивости замкнутой цифровой системы, но и апериодический характер процессов стабилизации корпуса автомобиля в процессе торможения.

Из анализа рис. 3 следует вывод, что оптимальные значения варьируемых констант алгоритма (2) составляют  $k_{\psi} = -13,485 \text{ В}$ ;  $k_{\dot{\psi}} = -3,976 \text{ В}\cdot\text{с}$ .

### Выводы

Предложена методика выбора значений варьируемых констант алгоритма управления, реализуемого цифровой системой автоматического управления курсовой устойчивостью автомобиля, обеспечивающих максимальный запас устойчивости и максимальное быстродействие замкнутой системы, а также апериодический характер процессов стабилизации корпуса автомобиля относительно заданного направления.

Выбор требуемых значений констант алгоритма управления осуществляется путём отыскания характеристического уравнения замкнутой цифровой системы управления с последующим использованием процедуры  $W$ -преобразования, позволяющей привести характеристическое уравнение к виду, удобному для использования критериев устойчивости и качества для непрерывных систем автоматического управления.

Анализ построенных областей устойчивости замкнутой цифровой системы курсовой устойчивости автомобиля позволил выбрать допустимое значение периода квантования системы, которое составляет  $T=(0,001\dots 0,004) \text{ с}$ , а анализ построенных линий равной степени устойчивости позволил выбрать оптимальные значения варьируемых констант алгоритма управления  $k_{\psi} = -13,48 \text{ В}$  и  $k_{\dot{\psi}} = -3,976 \text{ В}\cdot\text{с}$ , обеспечивающих максимальный запас устойчивости и максимальное быстродействие замкнутой цифровой системы.

### Литература

1. Aleksandrov Ye., Aleksandrova T., Morhun Ya. Parametric synthesis of the electronic control unit of the course stability system of the car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 6(102). P. 39–45.
2. Александров Е. Е., Волков В. П., Волонцевич Д. О., Подригало М. А. Повышение устойчивости и управляемости колёсных машин в тормозных режимах. НТУ "ХПИ", Харьков, 2007. 320 с.

3. Бранец В. Н., Шмыглевский И. П. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных систем. М: Наука, 1992. 280 с.
4. Панов А.П. Математические основы теории инерциальной ориентации. К: Наукова думка, 1995. 279 с.
5. Александрова Т. Е., Александрова И. Е., Лазаренко А. А. Цифровые фильтры в системах автомобильной автоматизации. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2014. №1 (37). С. 25–28.
6. Васильев С. К., Захаров В. Н., Прохоров Ю. Ф. Кибернетика в системах военного назначения. Воениздат, Москва, 1979. 293 с.
7. Алесандров Є. Є. Основы автомобильной автоматизации. ХНАДУ, Харьков, 2010. 172 с.
8. Орурк И. А. Новые методы синтеза линейных и некоторых нелинейных динамических систем. Наука, Москва–Ленинград, 1965. 207 с.

### References

1. Aleksandrov Ye., Aleksandrova T., Morhun Ya. (2019). Parametric synthesis of the electronic control unit of the course stability system of the car. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6 (102). 39–45.
2. Aleksandrov Ye. Ye., Volkov V. P., Volontsevich D. O., Podrigalo M. A. (2007). Povyshenie ustoychivosti i upravlyaemosti kolyosnyih mashin v tormoznyih rezhimakh [Improving the stability and controllability of wheeled vehicles in braking conditions] NTU «KhPI», Kharkiv.
3. Branets V. N., Shmyglevskiy I. P. (1992) Vvedeniye v teoriyu besplatformennykh inertsiyal'nykh sistem [Introduction to the theory of strapdown inertial systems] Nauka, Moskva.
4. Panov A. P. (1995) Matematicheskiye osnovy teorii inertsiyal'noy oriyentatsii [Mathematical foundations of the theory of inertial orientation], Naukova dumka, Kyiv.
5. Aleksandrova T. Ye., Aleksandrova I. Ye., Lazarenko A. A. (2014), "Tsifrovyye filtry v sistemah avtomobilnoy avtomatiki" [Digital filters in automotive automation systems], *Vestnik Moskovskogo avtomobilno-dorozhnogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta*. 1(37). 25–28 [in Russian].
6. Vasilev S. K., Zaharov V. N., Prohorov Yu. F. (1979). Kibernetika v sistemah voennogo naznacheniya [Cybernetics in military systems]. Voenizdat, Moskov.
7. Alesandrov Ye. Ye. (2010). Osnovy avtomobilnoy avtomatiki [Automotive Fundamentals]. KhNADU, Kharkiv.
8. Orurk I. A. (1965). Novyye metodyi sinteza lineynyih i nekotoryih nelineynyih dinamicheskikh sistem [New methods for the synthesis of linear and some nonlinear dynamical systems]. Nauka, Moskov–Leningrad.

**Александров Евгений Евгеньевич<sup>1</sup>**, д.т.н., проф. каф. автомобилей, тел. +38 050-625-68-40, alexandrov.ye.ye@gmail.com,

**Александрова Татьяна Евгеньевна<sup>2</sup>**, д.т.н., проф. каф. системного анализа и информационно-аналитических технологий, тел. +38 099-089-90-50, alexandrova.t.ye@gmail.com,

**Костяник Ирина Витальевна<sup>2</sup>**, к.т.н., доц. каф. информационных технологий и систем колесных и гусеничных машин им. А.А. Морозова, тел. +38 066-988-66-60, kostyanik-irina@ukr.net,

**Моргун Ярослав Юрьевич<sup>2</sup>**, аспирант каф. системного анализа и информационно-аналитических технологий, тел. 066-960-66-36, yarki95@gmail.com,

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

<sup>2</sup>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 61002, Украина, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.

### Параметричний синтез цифрової системи курсової стійкості автомобіля

**Анотація.** Розглядається задача вибору варіюваних параметрів алгоритму керування, що реалізується цифровим електронним блоком системи курсової стійкості автомобіля і забезпечує максимальний запас стійкості і максимальну швидкодію процесу стабілізації при гальмуванні автомобіля. Вважається, що в якості чутливих елементів системи застосовуються датчики кутових швидкостей корпусу автомобіля, осі чутливості яких співпадають за напрямком з головними центральними осями інерції корпусу, а кутове відхилення подовжньої осі корпусу від заданого напрямку обчислюється цифровим електронним блоком за допомогою алгоритмів безплатформених інерціальних систем (БІНС) у вигляді решітчастої функції. Інформація про кутову швидкість повороту корпусу являє собою решітчасту функцію на виході цифрового низькочастотного фільтру Ланцоша, на вхід якого подана решітчаста функція кутового відхилення корпусу від заданого напрямку руху автомобіля, а решітчаста функція керування представляє собою зважену суму цих функцій, вагові коефіцієнти яких є варіюваними параметрами цифрової системи курсової стійкості автомобіля, що підлягають вибору. Збурений рух безперервної частини замкненої системи описується звичайними диференціальними рівняннями, робота дискретної частини описується співвідношеннями у кінцевих різницях. Шляхом спеціальних перетворень математична модель збуреного руху замкненої системи керування подається у вигляді системи різницевих рівнянь, із застосуванням якої побудовано характеристичне рівняння замкненої дискретної системи курсової стійкості автомобіля. За допомогою білінійного  $W$ -перетворення характеристичне рівняння приводиться до вигляду,

зручного для побудови ліній рівного ступеня стійкості в площині варіюваних параметрів цифрового електронного блоку керування, з подальшим визначенням оптимальних значень його варіюваних параметрів, а також оцінкою впливу обраного значення періоду квантування цифрового електронного блоку на область стійкості замкненої цифрової системи курсової стійкості автомобіля.

**Ключові слова:** система курсової стійкості автомобіля, параметри Родріга-Гамільтона, решітчаста функція, низькочастотні цифрові фільтри, варіювані параметри системи.

**Александров Євген Євгенович<sup>1</sup>**, д.т.н., проф. каф. автомобілів, тел. +38 050-625-68-40, alexandrov.ye.ye@gmail.com,

**Александрова Тетяна Євгенівна<sup>2</sup>**, д.т.н., проф. каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, тел. +38 099-089-90-50, alexandrova.t.ye@gmail.com,

**Костяник Ірина Віталіївна<sup>2</sup>**, к.т.н., доц. каф. інформаційних технологій і систем колісних та гусеничних машин імені О. О. Морозова, тел. +38 066-988-66-60, kostyanik-irina@ukr.net,

**Моргун Ярослав Юрійович<sup>2</sup>**, аспірант каф. системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій, тел. +38 066-960-66-36, yarki95@gmail.com,

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

<sup>2</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, Україна, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

### Parametric synthesis of the digital system of the course stability of a car

**Abstract.** The problem of choosing the variable parameters of a control algorithm, implemented by a digital electronic unit of the system of the course stability of a car and providing the maximum stability margin and the maximum speed of the stabilized process during car braking is considered. It is believed that the angular velocity sensors of the car body are used as the sensitive elements of the system, whose sensitivity axes coincide in direction with the main central axes of the body inertia, and the angular deviation of the longitudinal axis of the body from a given direction is calculated by a digital electronic unit using algorithms of platformless inertial systems (PINS) in the form of a lattice function. Information about the angular velocity of a body rotation is a lattice function at the output of the Lanczos digital low-pass filter, whose input is supplied with the lattice function of the angular deviation of the body from a given direction of the car movement. The lattice control function is a weighted sum of these functions, the weight coefficients of which are variable digital parameters of the Vehicle Stability Controls that are to be selected. The perturbed motion of the

*continuous part of the closed system is described by ordinary differential equations, the work of the discrete part is described by relations in finite differences. By means of special transformations, the mathematical model of the perturbed motion of the closed-loop control system is represented in the form of a system of difference equations, using which the characteristic equation of the closed discrete system of the course stability of the car is constructed. Using the bilinear W-transformation, the characteristic equation is reduced to a form convenient for constructing the lines of equal degree of stability in the plane of the variable parameters of the digital electronic control unit, followed by determining the optimal values of its variable parameters, as well as assessing the effect of the selected value of the quantization period of the digital electronic unit on the area of stability of the closed digital system of the course stability of a car.*

**Key words:** *system of the course stability of a car, Rodrigue Hamilton parameters, lattice function, low-frequency digital filters, variable system parameters.*

**Aleksandrov Eugen**<sup>1</sup>, professor, Doct. of Science, Department of automobiles, tel. +38 050-625-68-40, [aleksandrov.ye.ye@gmail.com](mailto:aleksandrov.ye.ye@gmail.com),

**Aleksandrova Tetiana**<sup>2</sup>, professor, Doct. of Science, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, tel. +38 099-089-90-50, [aleksandrova.t.ye@gmail.com](mailto:aleksandrova.t.ye@gmail.com),

**Kostianyk Iryna**<sup>2</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Information Technologies and Systems of Wheel and Track Machines named after Morozov, tel. +38 066-988-66-60, [kostyanik-irina@ukr.net](mailto:kostyanik-irina@ukr.net),

**Morgun Yaroslav**<sup>2</sup>, graduate student, Department of Systems Analysis and Information-Analytical Technologies, tel. +38 066-960-66-36, [yar-ki95@gmail.com](mailto:yar-ki95@gmail.com),

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>2</sup>National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», 2, Kirpicheva str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

## РАСХОДОМЕР ТОПЛИВА НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА AVR MICROCHIP (ATMEL)

Кривошапов С. И.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

**Аннотация.** В процессе эксплуатации автомобиля необходимо периодически контролировать расход топлива. Предложено измерять количество топлива за единицу времени в топливной магистрали автомобиля. Разработан программно-аппаратный комплекс для измерения расхода топлива, состоящий из системы управления электроклапанами расходомера, регистрации и обработки информации в микропроцессоре, передачи данных на компьютер, организации интерфейса взаимодействия с пользователем. Использование расходомера топлива позволяет контролировать эффективность топливоподачи, своевременно обнаруживать скрытые неисправности автомобиля, оценивать качество условий эксплуатации.

**Ключевые слова:** топливо, расходомер, транспортное средство, измерительная система, микропроцессор, программное обеспечение, информационные технологии.

### Введение

Расход топлива выступает одним из показателей, характеризующих качество автотранспортного средства и его эксплуатационных свойств. В процессе эксплуатации надежность машин снижается, а расход топлива увеличивается. Контроль расхода топлива позволяет оценить сложность условий его эксплуатации и общее техническое состояние автомобиля.

### Анализ публикаций

Контроль реального расхода топлива в Украине закреплено на законодательном уровне [1]. Расход топлива можно определить расчетными или экспериментальными методами. Для численного моделирования расхода топлива наиболее удачно подходит математическая модель проф. Говорущенко Н.Я. [2]. Однако, с помощью математического моделирования можно рассчитать средние значения расхода, которое от фактического может отличаться на 5-10 %.

Реальный расход топлива может быть получен в процессе движения автомобиля на дороге или при испытании на диагностическом оборудовании [3]. Распространены три способа получения информации о расходе топлива: из ЭБУ через диагностический разъем [4], по уровню топлива в баке [5] или путем измерения интенсивности потока в топливной магистрали [6].

Блок управления подает на форсунку импульс на открытие, который соответствует расчетному значению, но из-за неисправностей в двигателе желаемый расход топлива может отличаться от реального значения.

Измерение уровня топлива в баке имеет высокую погрешность до 15 %, поэтому используется только как контрольный показатель. Наиболее точным методом является установка расходомера до подачи топлива в цилиндр двигателя, точность измерения которого составляет 1-3 %, в зависимости от метода.

Расходомер состоит из датчика, системы управления и системы измерения, конструктивно выполнен в едином блоке.

### Цель и постановка задачи

Цель работы – совершенствовать метод измерения расхода топлива в топливной магистрали автомобиля, путем построения системы управления и измерения на основе применения микропроцессора AVR.

Для достижения поставленной цели необходимо разработать аппаратно-программный комплекс, состоящий из датчиков и микропроцессорной системы управления, предназначенной для обработки, хранения, изображения и передачи на компьютер данных о расходе топлива.

### Анализ датчиков расхода топлива

На автомобильном транспорте используется жидкое (бензин, дизель) и газообразное топливо (СПГ, СНГ). Наибольшее количество автомобилей сейчас эксплуатируется на бензине.

За физическим принципом расходомеры измеряют: объем, перепад давления, силу потока, скорость вращения ротора, перепад температуры, скорость распространения ультразвука, интенсивность вихреобразования,

изменение электромагнитного поля и др. [7].

Различают массовые и объемные расходомеры. На транспорте принято измерять расход топлива в л/100 км т.е в объемных величинах. Для перевода массовых величин в объемные необходимо дополнительно контролировать свойства жидкости: температуру и давление.

Датчики расхода топлива имеют следующее исполнение: однокамерные, измеряющие расход в одном направлении, и дифференциальные, измеряющие разницу между двумя потоками.

Исследуемый прототип датчика расхода топлива имеет следующие особенности реализации: применяется метод измерения объема, конструктивно выполнен с двумя камерами, является полнопроточным и однонаправленным, имеет постоянный объем камер, управление потоками электромеханическое, измерение электрическое дискретное.

### Принцип работы расходомера топлива

За основу взят расходомер топлива, разработанный на кафедре ТЭСА, который создавался на аналоговой элементной базе.

Расход топлива зависит от скорости перемещения поршня, расположенного в цилиндре между двумя полостями. Схема расходомера изображена на рис. 1.

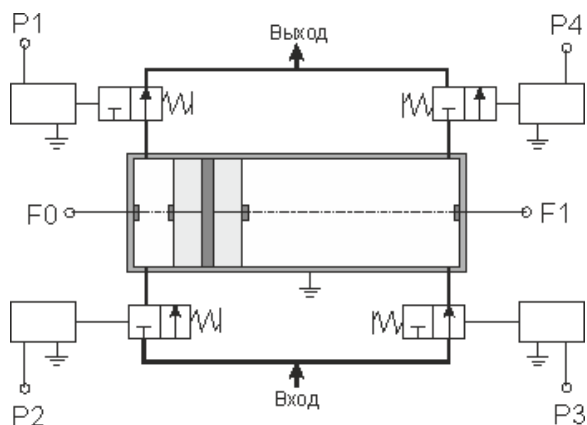


Рис. 1. Гидравлическая схема расходомера топлива и схема выводов

Топливо поступает попеременно в правую или в левую полость. Когда одна часть цилиндра заполняется, то из другой топливо освобождается на выход. Из-за разности давлений поршень перемещается от зоны нагнетания в зону выпуска. Переключение подачи топлива в цилиндре (обмен зонами) осуществляется электромагнитными клапанами. На рис. 1 изображено состояние ключей, когда нагнетание топлива происходит в пра-

вую зону, а выпуск - из левой. Поршень перемещается влево до срабатывания контактов, после чего система управления должна переключить состояния ключей на противоположный. При этом нагнетание будет происходить в левую полость, а выпуск - из правой, тогда поршень будет перемещаться влево.

Расход топлива будет пропорционален времени перемещения поршня между двумя крайними положениями, которое необходимо зафиксировать в измерительной системе.

### Управление расходомером топлива

Включение клапана происходит напряжением бортовой сети автомобиля, которое для автомобилей составляет 12-14 В, а для грузовых с дизельным двигателем до 24 В. Таким напряжением управлять микропроцессор не может. Поэтому в схему включены два реле, выполнены в двух [10] или одном [11] корпусе исполнении. Упрощенная схема реле приведена на рис. 2.

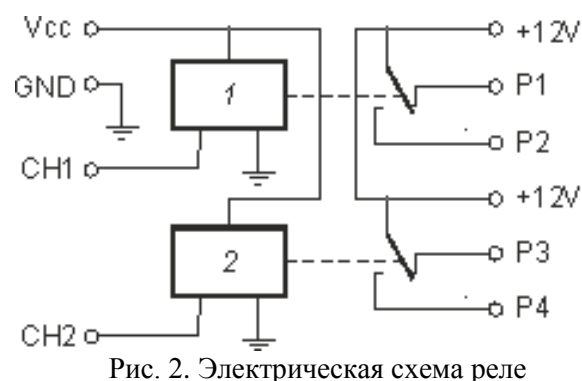


Рис. 2. Электрическая схема реле

Реле позволяет коммутировать цепи переменного напряжения до 250 В или постоянного напряжения до 30 В с максимальной нагрузкой до 10А. В зависимости от установки переключки питание реле может происходить от управляющего напряжения или внешнего источника. Имеет гальваническую развязку управляющего канала до 1000 В. Управляющий сигнал - 5 В, но может работать при 3.3 В, потребление тока 15-20 мА.

На вход реле Vcc подается опорное напряжение с контролера (5 В), земля GND и два управляющих сигнала CH1 и CH2. На выходе подается напряжение (12 В или 24 В), которое переправляется на контакты P1 или P2 первого реле и P3 или P4 второго реле. При подаче управляющего сигнала (5 В) на вход CH1 или CH2 замыкают контакты P1 или P3 с +12 В и одновременно размыкаются контакты P2 или P4, соответственно. Логиче-

ский «0» на контактах CH1 или CH2, приводит к выводу +12 В на контакты P2 или P4 и «0» на контакты P1 или P3.

Скорость переключения состояния реле происходит за 10 мкс, что значительно быстрее, чем скорость срабатывания электромагнитных клапанов расходомера.

Контакты CH1 и CH2 подключаются к разъемам (pin) D9 и D8 макетной платы Arduino Nano v 3.0 [12], которая построена на базе микроконтроллера ATmega 328p.

Контакты F0 и F1 датчика расхода топлива подключаются к цифровым разъемам (pin) D2 и D3, на которых организовано управление аппаратными прерываниями (INT1 и INT2) микроконтроллера ATmega 328p.

Контакты D10, D11 и D12 реализует в микропроцессоре протокол SPI, для которого необходим также канал управления SCK, который на схеме реализован через контакт (pin) D13.

Контакты (pin) A0–A7 и D4–D8 задействованы для вывода изображения на экран. Контакт RESET связан с LCD\_RS экрана, используется для сброса состояния микропроцессора механической кнопкой, расположенной на экране.

Управление экраном осуществляется через выводы A0–A3. Передача данных на экран для стандартного подключения использовались 8 цифровых каналов (D2–D9). Однако выводы D2 и D3 задействованы под прерывания (INT1 и INT2).

Для передачи данных на экран были реально задействованы 4 цифровых вывода (D4–D7), а также дополнительно использованы 4 аналоговых вывода (A4–A7), которые запрограммированы на цифровой ввод и вывод через управление подтягивающими резисторами. В программе предусмотрено обращение к портам PORTB и PORTC через маску.

На плате реализован USB-порт, который используется для прошивки памяти и организации обмена данными с компьютером. На плате интегрирован преобразователь USB  $\leftrightarrow$  COM, построенный на микросхеме FT232RL производства FTDI или CH340G производства WCH.

USB-UART преобразователь общается с микроконтроллером по интерфейсу UART через пины 0 (Rx) и 1 (Tx) [16]. Поскольку в процессе работы контроллера организован обмен данными с компьютером по последовательному порту, то линии D0 и D1 не использовались.

Питание микросхемы осуществляется от внешнего источника +12 В, подаваемого на контакт VIN на плате. Массы GND всех компонентов объединены.

Общий вид монтажной платы на базе микроконтроллера ATmega 328p приведено на рис. 3. На этом рисунке указано наименование всех присоединенных контактов (pin).

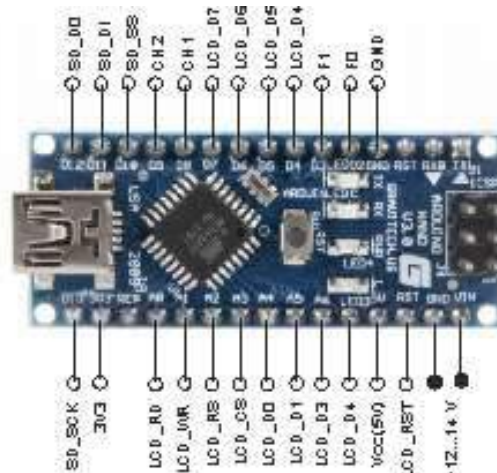


Рис. 3. Схема подключения к выводам (pin) макетной платы

### Программное обеспечение в контроллере

Программирование микропроцессора выполнялось в среде Arduino IDE [13].

Программа состоит из блока инициализации (setup) и основного цикла (loop).

В первом блоке производится: настройка портов; инициализация последовательного порта (Serial); включение объектов для работы с экраном (tft) и каналом SPI; объявление функции для работы с прерываниями; задание начальных значений глобальным переменным; обрисовка статических элементов на экране; открытия файла на запись на SD.

Функция прерывания (INT1 и INT2) ожидает изменение уровня сигнала на портах микропроцессора D2 и D3. При возникновении события: проверяется очередность срабатывания; записывается время; устанавливается флаг измерения; возвращает управление основной программе.

В основном цикле программы происходит проверка наличия нового измерения. Если флаг указывает, что такое измерение было произведено, то он сбрасывается, по разнице времени между двумя срабатываниями прерывания рассчитывается расход топлива, значение которого передается для изображения на экране, передачи на компьютер и запись в файл на SD карту (в зависимости от настроек). В программе контролируется со-

стояние тачпада от экрана и команды от компьютера, изменяя каналы вывода информации.

Общая схема работы программы микропроцессора представлена на рис. 4.

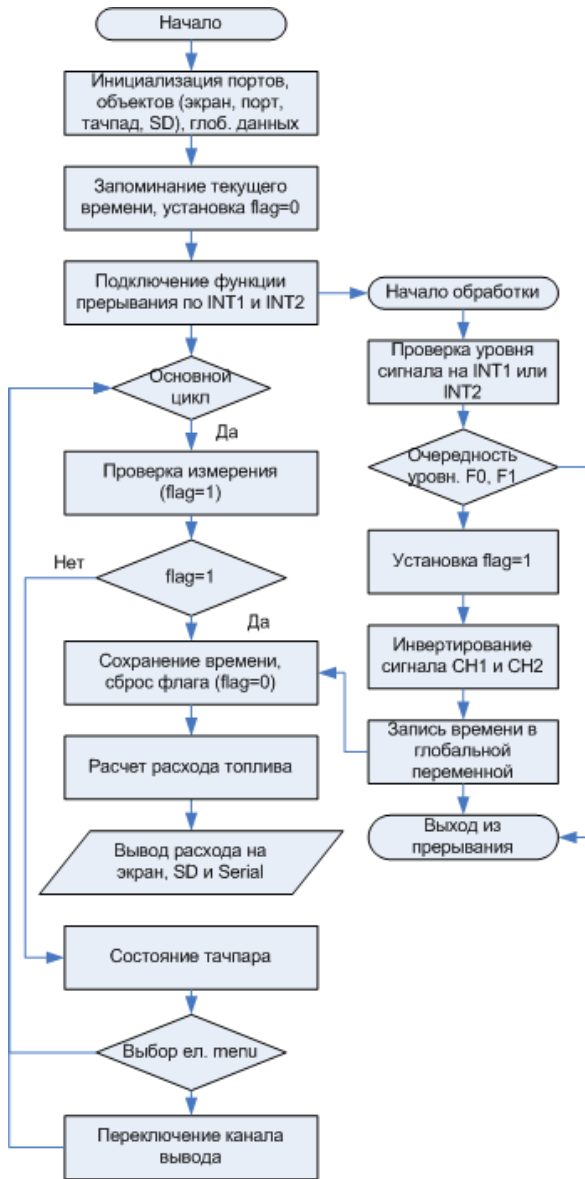


Рис. 4. Блок-схема работы контроллера

Вывод результатов измерения расхода топлива осуществляется на экран TFT LCD Touch screen 2.4". Экран имеет разрешение 320x240 пикселей, снабжен сенсорной панелью и имеет устройство для записи на SD карту [14]. Управление экраном и тачпадом осуществляется 4 каналам (LCD\_CS, LCD\_RS, LCD\_WR, LCD\_RD), а данные передаются по 8 каналам (LCD\_D0...LCD\_D7). Канал LCD\_RST используется для сброса настроек. Доступ к SD организован по протоколу SPI через каналы SD\_SS, SD\_DI, SD\_DO, SD\_SCK. Схема обозначение и рас-

положения выводов представлена на рис. 5.

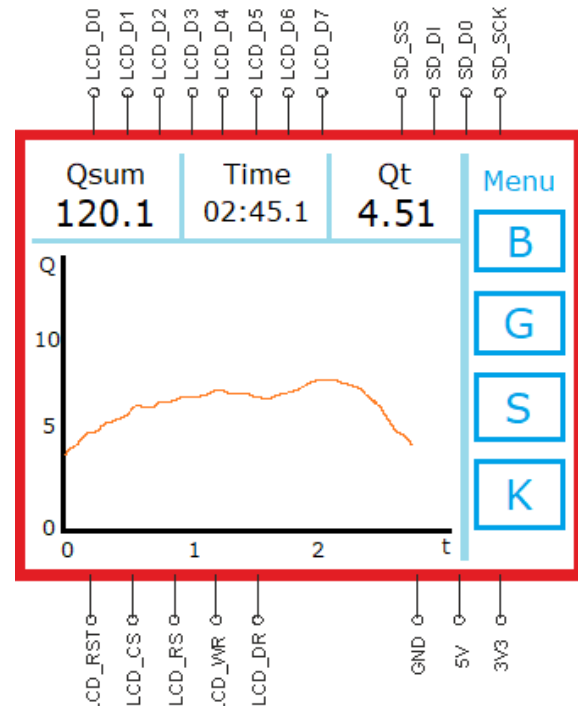


Рис. 5. Представление данных на экране расходомера и обозначение выводов

Для вывода информации на экран использовалась библиотека GFX\_Library, а для работы с сенсорной панелью – TouchScreen. Эти библиотеки можно скачать с сервера GitHub (<https://github.com/adafruit>). Для записи данных на SD карту производилось функциями стандартной библиотеки SPI, входящую в поставку среды программирования Arduino IDE (<https://www.arduino.cc/>).

Визуально экран поделен на три части. В верхней части отображаются текущие данные расхода топлива ( $Q_t$ ), время измерения (Time) и общий расход топлива (Qsum). В средней части строится график расхода топлива в л/ч от времени. С правой части экрана выведены кнопки для управления: В – начало измерения; G – вывод графика; S – запись данных на SD карту; K – передача данных на компьютер. Нажатие соответствующей кнопки изменяет в программе ветвь вывода данных.

В библиотеку для работы с экраном были внесены изменения, связанные с переназначением портов: вместо 2-х регистров PORTA, использовались 4-е регистра PORTC, а в PORTB из шести регистров использовано только четыре. Порт PORTC переведен в цифровой режим.



### Программное обеспечение на компьютере

Для получения информации о расходе топлива на компьютере разработана специальная программа в среде Embarcadero® RAD Studio 10.3 Rio. Программа написана на языке программирования Delphi [17]. Для получения данных через USB по COM использовалась библиотека nrComm Lib (DeepSoftware LLC), а для представления данных в графическом виде – TeeChart (Steema Software).

Блок-схема работы программы представлена на рис. 6.

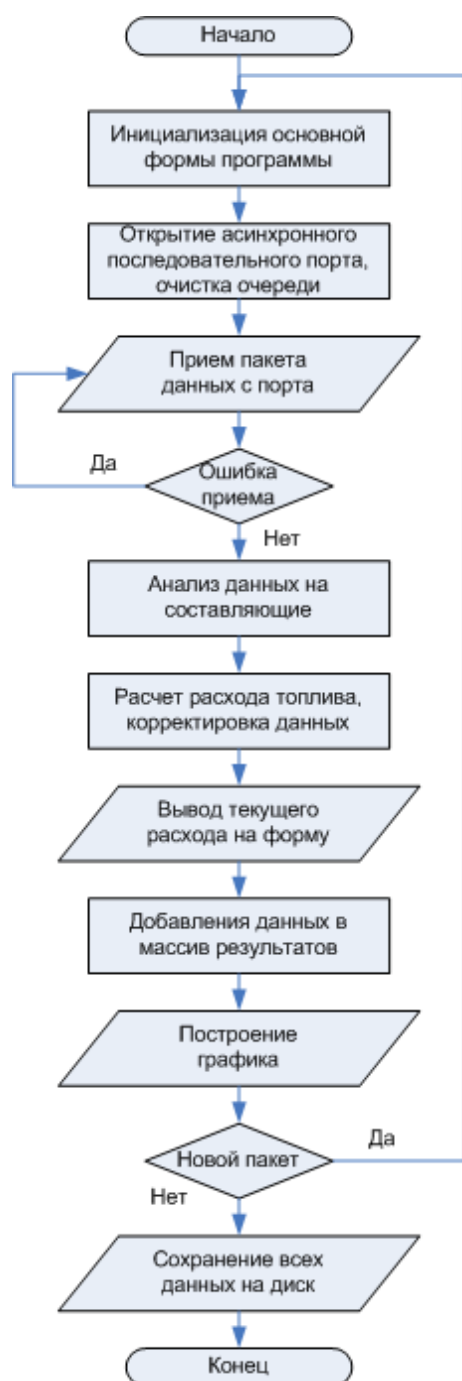


Рис. 6. Блок-схема работы программы на компьютере

Программа на компьютере открывает асинхронный канал приема данных по виртуальному COM порту, принимает очередной пакет, расшифровывает данные, сохраняет информацию в массиве, для их отображения на экране.

Общий вид основной формы программы для отображения данных о расходе топлива на компьютере отображено на рис. 7.

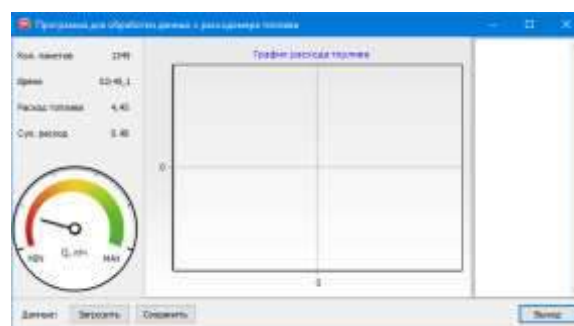


Рис. 7. Вид данных на экране компьютера

В левой части окна (Form) выводятся текущие показания расхода топлива и времени, количество принятых пакетов с данными и суммарный расход топлива за период наблюдения. В центральной части окна строится график расхода топлива от времени. В правом окне (Мемо) выводятся все полученные значения расхода топлива. Через кнопки (Button) в нижней части можно записать и загрузить данные в файл на диск, очистить данные и остановить программу.

### Перспективы исполнения

Для определения крайнего положения поршня, вместо контактов можно использовать щелевой оптический датчик (2 шт.) на основе фотодиода и фоторезистора [18]. В этом случае исключается протекание тока через цилиндр-поршень, а также залипание и ложное срабатывание контактов. Тогда можно уменьшить размер и вес поршня, а это приведет к увеличению скорости срабатывания, что позволяет сократить объем камеры в цилиндре, следовательно, повысить частоту переключения.

В расходомер топлива можно подключить дополнительные датчики: температуры и давления, что позволит учесть изменения свойств топлива. Контроль по давлению позволит предусмотреть аварийное отключение расходомера.

В микроконтроллере ATmega 328p были использованы все активные выходы (pin). Для расширения функциональности расхо-

домера необходимо использовать контроллеры с большим числом выводов (pin), например, на базе ATmega 2560, имеющих 54 цифровых входов/выходов и 16 аналоговых. К такому микроконтроллеру можно подключить более высокопроизводительный экран на 16 каналов передачи данных [15].

Повысить скорость обработки и передачи данных можно за счет применения микроконтроллеров более высокой частоты и разрядности. Например, 32-битные микроконтроллеры AVR32 AP или AVR32 UC3.

Можно также применять контроллеры других линий и производителей. Интерес представляют микроконтроллеры семейства STM32 от STMicroelectronics.

### Выводы

Предложенная схема расходомера топлива, построенная на современной элементной базе, позволяет оценивать топливную экономичность автомобиля в условиях эксплуатации и диагностирования. Применение микропроцессоров в измерительных системах позволяет повысить производительность, функциональность, точность и информативность оборудования. Для оценки адекватности технических решений и проверки точности измерений требуется провести дополнительные исследования.

### Литература

1. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті : Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. Київ, 2012. 120 с.
2. Говорущенко Н.Я. Системотехніка автомобільного транспорту (расчетные методы исследований) : монографія. Харьков, 2011. 292 с.
3. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. URL: <http://www.vashdom.ru/gost/20306-90/>. (дата звернення: 15.04.2020).
4. Islam R., Alam M.M., Ahmed I., Azad K. Automatic prevention model for vehicle fuel theft. *6th BSME International Conference on Thermal Engineering*. 2014. 7 p.
5. Точный датчик уровня топлива ДУТ-Е. Измерение уровня топлива в баке. Система мониторинга и контроля транспорта. URL: [https://ukrevro.com/datchik\\_urovnja\\_dut.html](https://ukrevro.com/datchik_urovnja_dut.html) (дата звернення 15.04.2020).
6. Расходомеры топлива DFM. ООО «Технотон Трейд». URL: <http://tehnoton.by/расходомеры-топлива--dfm/-dfm/> (дата звернення: 15.04.2020).
7. Брднер В.А. Измерительные приборы (теория, расчет, проектирование) : учебник для вузов. Т. 2. Методы измерений, устройств и проектирования приборов. Москва, 1986. 224 с.
8. Atmel AVR Microcontrollers for Automotive. URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4073-AVR-Microcontrollers-for-Automotive\\_Brochure.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4073-AVR-Microcontrollers-for-Automotive_Brochure.pdf) (дата звернення 28.04.2020).
9. Monisha L. Shubhra S., Kanna N., Ramya A. Smart fuel meter design and implementation. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. 2018. Vol. 119, N 15. p. 871-877
10. 2 Channel 5V Optical Isolated Relay Module. - URL: <http://www.handsontec.com/dataspecs/2Ch-relay.pdf>. (дата звернення: 15.04.2020).
11. 5V low level trigger One 1 Channel Relay Module interface Board Shield For PIC AVR DSP ARM MCU Arduino. - URL: <http://magicduino.com/Images/ItemsMedia/File/7214.pdf> (дата звернення: 15.04.2020).
12. Arduino Nano 3.1. ARMB-0022. URL: <https://www.es.co.th/Schemetic/PDF/ARMB-0022.PDF>. (дата звернення: 15.04.2020).
13. Anderson R., Cervo D. Pro Arduino. Apress Media LLC. 2013. 305 p.
14. 2.4 inch TFT LCD with Touch Panel. Model: LMCP2024BQ N3-4RA1. Specification. Date: 2013/03/21. URL: <http://www.inteltronicinc.com/files/DRIVER/201411040007381.pdf> (дата звернення: 15.04.2020).
15. MAR3513-User Manual. 3.5inch LCD Module For Mega2560. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/STM-TFTLCD3.5.pdf> (дата звернення 15.04.2020).
16. Mikeln J., Mitrović V. BASCOM AVR Programming with practical projects. AX elektronika d.o.o., 2012. 214 p.
17. Gabrijelcic P. Mastering Delphi Programming: A Complete Reference Guide: Learn all about building fast, scalable, and high performing applications with Delphi. Packt Publishing, 2019. 674 p.
18. Characteristics and use of infrared detector - URL: <https://mmrc.caltech.edu/FTIR/Literature/General/Hamamatus%20IR%20detectors.pdf> (дата звернення: 15.04.2020)

### References

1. Normy vytrat palyva i mastyl'nyh materi-aliv na avtomobil'nomu transporti [Consumption rates of fuel and lubricants in road transport]. Normative document approved by the Ministry of Infrastructure of Ukraine. 2012. Kiev [in Ukrainian].
2. Govorushchenko N. Ya. (2011) Automotive system engineering (design research methods) [Automotive system engineering (design research methods)]. Kharkov. [in Russian]
3. GOST 20306-90. (1990) Avtotransportnye sredstva. Toplivnaja jekonomichnost'. Metody ispytanij [Motor vehicles. Fuel efficiency. Test methods]. Retrired from: <http://www.vashdom.ru/gost/20306-90/>. (accessed: 15.04.2020). [in Russian].

4. Rubayat I, Muntasir A., Irfan A., Azadb A. (2014) Automatic prevention model for vehicle fuel theft. *6th BSME International Conference on Thermal Engineering*. 7 p.
5. Tochnyj datchik urovnja topliva DUT-E. Izmenenie urovnja topliva v bake [Accurate fuel level sensor DUT-E. [Fuel level measurement in the tank]. *Vehicle Monitoring and Control System*. URL: [https://ukrevro.com/datchik\\_urovnja\\_dut.html](https://ukrevro.com/datchik_urovnja_dut.html) (accessed 15.04.2020) [in Russian].
6. Rashodomery topliva DFM [DFM fuel flow meters]. Retrived from: <http://tehnoton.by/расходомеры-топлива--dfm/-dfm/> (accessed: 15.04.2020) [in Russian].
7. Brdner V.A. (1986) Izmeritel'nye pribory (teoriya, raschet, proektirovanie) [Measuring instruments (theory, calculation, design)]. Uchebnik dlya vuzov. T. 2. Metody izmereniy, ustroystv i proektirovaniya priborov. Moskva. [in Russian]
8. Atmel AVR Microcontrollers for Automotive. Retrived from: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4073-AVR-Microcontrollers-for-Automotive\\_Brochure.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-4073-AVR-Microcontrollers-for-Automotive_Brochure.pdf) (accessed: 28.04.2020).
9. Monisha L, Shubhra S., Kanna N., Ramya A. (2018) Smart fuel meter design and implementation. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*. Vol. 119, N. 15. 871-877.
10. 2 Channel 5V Optical Isolated Relay Module. - Retrived from: <http://www.handsontec.com/dataspecs/2Ch-relay.pdf> (accessed: 15.04.2020).
11. 5V low level trigger One 1 Channel Relay Module interface Board Shield For PIC AVR DSP ARM MCU Arduino. Retrived from: <http://magicduino.com/Images/ItemsMedia/File/7214.pdf> (accessed: 15.04.2020).
12. Arduino Nano 3.1. ARMB-0022. Retrived from: <https://www.es.co.th/Schematic/PDF/ARMB-0022.PDF>. (accessed: 15.04.2020).
13. Anderson R., Cervo D. (2013) Pro Arduino. Apress Media LLC. 305 p.
14. 2.4 inch TFT LCD with Touch Panel. Model: LMCP2024BQ N3-4RA1. Specification. Date: 2013/03/21. Retrived from: <http://www.inteltronicinc.com/files/DRIVER/201411040007381.pdf> (accessed: 15.04.2020).
15. MAR3513. User Manual. 3.5inch LCD Mod-ule For Mega2560. Retrived from: <http://www.kosmodrom.com.ua/pdf/STM-TFTLCD3.5.pdf> (accessed 15.04.2020).
16. Mikeln J., Mitrović V. (2012) BASCOM AVR Programming with practical projects. AX elektronika d.o.o.
17. Gабријелсiс P. (2019) Mastering Delphi Programming: A Complete Reference Guide: Learn all about building fast, scalable, and high performing applications with Delphi. Packt Publishing.
18. Characteristics and use of infrared detector - Retrived from: <https://mmrc.caltech.edu/FTIR/Litera->

ture/General/Hamamatus%20IR%20detectors.pdf (accessed: 15.04.2020)

**Кривошапов Сергей Иванович<sup>1</sup>**, к.т.н., доц. каф. «Технической эксплуатации и сервиса автомобилей им. проф. Говорущенко Н.Я.», тел. +38 057-707-37-68, [keat@khadi.kharkov.ua](mailto:keat@khadi.kharkov.ua),

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

### **Витратомір палива на базі мікроконтролера AVR Microchip (Atmel)**

**Анотація.** Під час експлуатації автомобіля необхідно періодично контролювати витрату палива. Поширено застосовуються експериментальні методи визначення витрати палива за даними системи управління двигуном через роз'їм OBD, за контролем рівня палива у баку та за виміром потоку у паливній магістралі системи подачі. Найбільшу точність забезпечує метод вимірювання кількості палива, яке перетікає за одиницю часу через паливопровід. Мета роботи - удосконалити метод вимірювання витрати палива автомобіля, побудувати систему управління і вимірювання на основі використання мікропроцесорної технології. Використовується алгоритмічний метод дослідження, який описує перетворення інформації в системі управління витратоміром палива, передачу даних на комп'ютер, аналіз і представлення результатів зручних для користувача. Вимірювальна система побудована на мікропроцесорі ATmega 328p, яке випускається фірмою Microchip (Atmel). Контролер керує потоками палива всередині датчика, за допомогою перериваній визначає момент заповнення мірного обсягу, реєструє час між циклами, розраховує миттєву і накопичену витрату. Програмне забезпечення контролера організовує представлення інформації на екрані, записує показання витрати палива у файл на SD карту, організовує передачу даних на комп'ютер через UART. Розроблене програмне забезпечення комп'ютера приймає дані від мікропроцесора за допомогою послідовного порту через USB, виводить загальну інформацію про витрату палива на екран комп'ютера у графічному і текстовому вигляді. Описані всі етапи реалізації системи, використання засобів та інструментів, програмного забезпечення та додаткових бібліотек. Розглянуто основні шляхи вдосконалення конструкції, які розширюють і удосконалюють функціональність та підвищують точність вимірювань. Регулятор потоку палива, побудований на сучасній елементній базі, може бути використаний у діагностуванні загального стану автомобіля, своєчасного виявлення прихованих несправностей в процесі експлуатації, здійснення оцінки ефективності паливно-економічних показників.

**Ключові слова:** паливо, витратомір, транспортний засіб, вимірювальна система, мікропроцесор, програмне забезпечення, інформаційні технології.

**Кривошапов Сергій Іванович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. «Технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенко М.Я.», тел. +38 057-707-37-68, keat@khadi.kharkov.ua,

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

#### **Fuel flow meter based on the AVR Microchip (Atmel) microcontroller**

**Abstract. Problem.** During operation of the vehicle, it is necessary to periodically monitor fuel consumption. Experimental methods are known for determining fuel consumption according: by signal from the engine control system, by the fuel level in the tank, by the flow rate in the fuel line of the fuel supply system. A physical measurement of the amount of fuel per unit time in a vehicle's fuel line provides accuracy of up to 1%. **Goal.** The purpose of the work is to improve the method of measuring fuel consumption in the fuel line of a car, by constructing a control and measurement system based on the use of microprocessor systems. **Methodology.** An algorithmic research method is used that describes the transformation of information in the fuel flow meter control system, data transfer to a computer, analysis and presentation of results for the user. **Results.** The measuring system is based on the ATmega 328p microprocessor manufactured by Microchip (Atmel). The controller controls the fuel flows inside the sen-

sor, through interruptions determines the moment of filling the measured volume, registers the time between cycles, calculates the instantaneous and accumulated flow. The controller software organizes the output of information on the screen, writes fuel consumption readings to a file on an SD card, and organizes data transfer to a computer via UART. The developed computer software receives data from the microprocessor through the serial port via USB, displays the received fuel consumption information on the computer screen in graphical and text form. All stages of the implementation of the system, the use of tools, software products and libraries are described. **Originality.** The fuel flow meter is built on the basis of a modern element base using affordable and inexpensive components. **Practical value.** The fuel flow meter can be used to diagnose the general condition of the car, to detect timely hidden malfunctions during operation, to evaluate the effectiveness of fuel and economic indicators.

**Key words:** fuel, flow meter, vehicle, measuring system, microprocessor, software, information technology.

**Krivoshapov Sergey**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., Department of "Technical operation and service of cars named after prof. Govorushchenko N.Ya.", тел. +38 057-707-37-68, keat@khadi.kharkov.ua,

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkov, 61002, Ukraine.

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ КОМПРЕСОРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Далека В. Х.<sup>1,3</sup>, Будниченко В. Б.<sup>2</sup>, Дзюбенко О. А.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства  
імені О.М. Бекетова

<sup>2</sup>Національний транспортний університет

<sup>3</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** В статті представлено результати дослідження та пропозиції з підвищення енергоефективності електроприводів компресорів рухомого складу електричного транспорту на основі вимірювання робочих параметрів електродвигуна та компресора. На прикладі дослідження тягового електропривода компресора тролейбуса наведено: середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна компресора до сталого значення, середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна до номінального, середня тривалість перехідного при включенні приводного двигуна, середній час роботи компресора при русі тролейбуса, фактичну потужність двигуна компресора при його включенні, середню кількість електроенергії, що споживається пневматичною системою в плинні робочої зміни рухомого складу на маршруті. Показано доцільність вирішення питань ресурсозбереження при виборі допоміжних електроприводів рухомого складу електричного транспорту.*

***Ключові слова:** електричний транспорт, компресор, електропривод, енергоефективність, контактна мережа, потужність.*

### Вступ

Вирішення основної проблеми ресурсозбереження в Україні потребує підвищення енергоефективності усіх споживачів електричної енергії. Особливо це відноситься до електроприводів, якими споживається понад 60 % електроенергії, що виробляється у світі. Оскільки електричний транспорт потребує досить значних витрат електроенергії, то питання її раціонального використання є досить актуальними [1-3].

На транспортних засобах електричного транспорту основним є тяговий електропривод, що забезпечує рух та споживає абсолютну більшість електроенергії. Але є ряд допоміжних електроприводів. Зокрема це електроприводи компресорів пневматичних систем, насосів гідравлічних систем, дверних механізмів, склоочисників, тощо.

### Аналіз публікацій

Енергоефективності тягових електроприводів завжди приділялась та приділяється значна увага, особливо тяговим електродвигунам та системам їх керування [2-5, 7]. Проведена ретельна оцінка переваг енергозберігаючих двигунів порівняно зі стандартними двигунами з точки зору економії електроенергії [3, 6].

Але питанням енергоефективності допоміжних електроприводів приділяється ще не достатня увага. В основному питання надійності та енергоефективності, наприклад, електроприводів компресорів вирішуються вибором типу електродвигуна (постійного чи змінного струму) та вибором типу компресорів [3, 7, 8, 10]. Є також важливими питання приводів компресорів у гібридних автомобілях у яких гальмівні системи потребують стисненого повітря [9]. В публікаціях останніх років відсутні в повній мірі результати досліджень режимів роботи електроприводів компресорних установок електричного транспорту.

### Мета та постановка задачі

Метою статті є експериментальні дослідження режимів роботи електроприводів компресорів рухомого складу міського електротранспорту для оцінки їх енергоефективності.

Завданням для досягнення мети потрібно було визначити: середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна компресора до сталого значення, середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна до номінального, середню тривалість перехідного процесу при включенні приводного двигуна, середній час

роботи компресора при русі тролейбуса, фактичну потужність двигуна компресора при його включенні, середню кількість електроенергії, що споживається для забезпечення функціонування пневматичної системи за відповідний час.

### Експериментальні дослідження енергетичних характеристик приводів компресорів

Особливістю приводів компресорів на рухомому складі електротранспорту є те, що на відміну від інших видів транспортних засобів, зокрема з двигунами внутрішнього згоряння, використовуються електричні двигуни з обмеженням пускових струмів, а також циклічний характер його роботи.

Як правило включення приводного двигуна компресора завжди супроводжується короткочасним перевантаженням електродвигуна незважаючи на те, що на виході компресора в момент його включень завжди тиск повітря дорівнює нулю. Для зниження значення пускового струму, наприклад у тролейбусах та вагонах метрополітену, послідовно з двигуном привода компресора встановлюється допоміжний резистор. Використання окремого електроприводу призводить до додаткових витрат електроенергії, що зале-

жать, в основному, від потужності електродвигуна та часу його роботи.

Для проведення експериментальних досліджень використовувався USB Autoscope I – Цифровий USB Осцилограф (див.рис.1), що підключений до ПК та датчиків струму та напруги типу ПИНТ-2.



Рис. 1. Autoscope I – Цифровий USB Осцилограф

У процесі виконання досліджень було виконано реєстрування пускового струму двигуна компресора та напруги в контактній мережі, осцилограми яких наведені на рис. 2-4. На осцилограмах прийняті наступні позначення:

«narp» – напруга контактної мережі (Y-напруга, В; X-час, с)

«tok» – споживаний струм двигуном компресора (Y - струм, А; X- час, с)

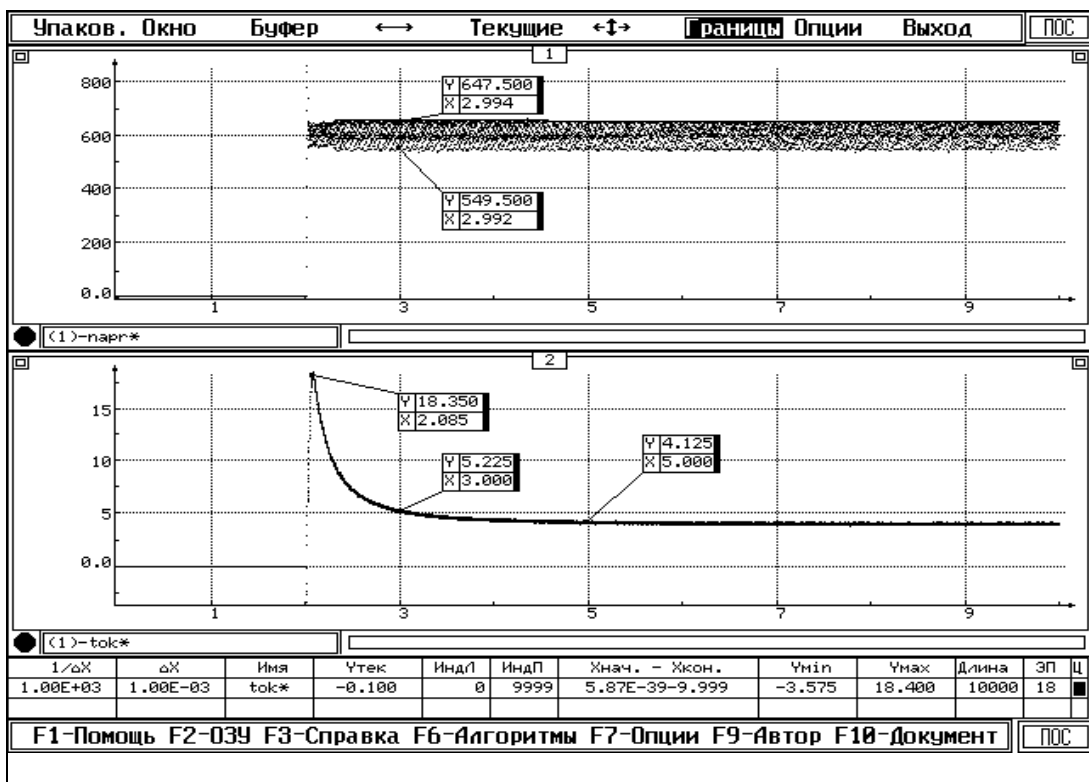


Рис. 2. Осцилограма файлу «Компр1»

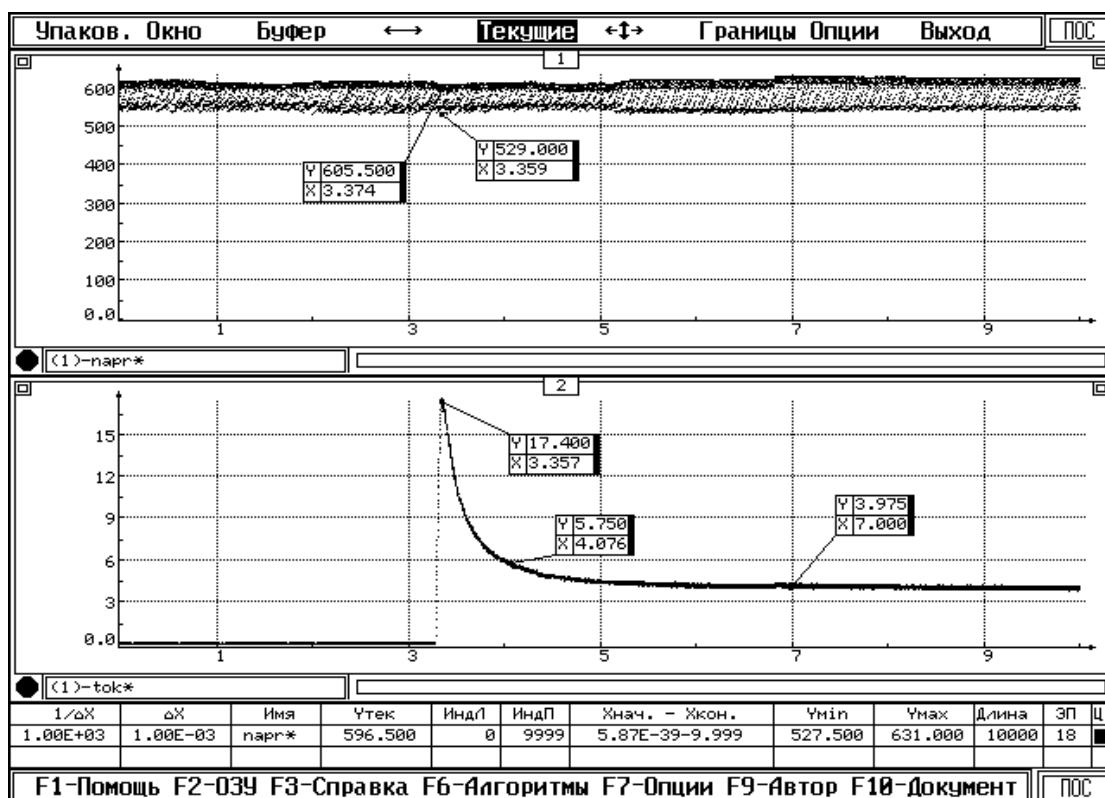


Рис. 3. Осцилограмма файлу «Компр2»

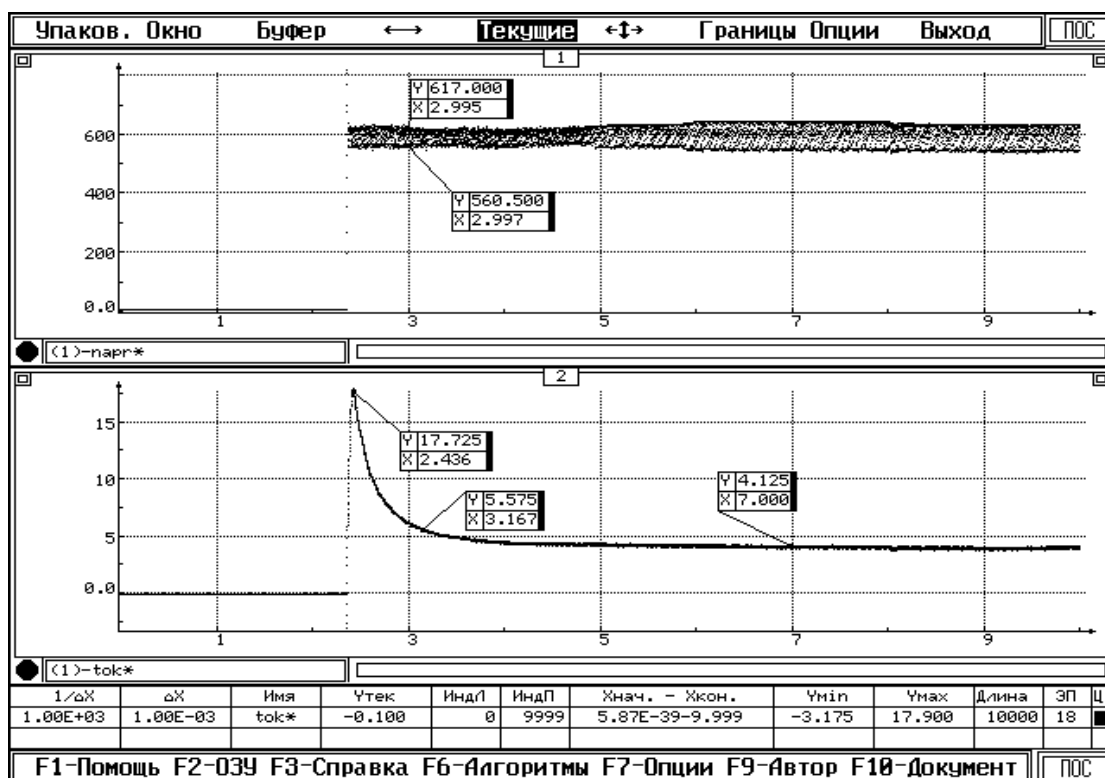


Рис. 4. Осцилограмма файлу «Компр3»

Також визначено параметри перехідних процесів, що представлено в таблиці 1.

Таким чином, середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна компресора до сталого значення становить 4,12.

Середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна до номінального (6 А) дорівнює 2,97.

Середня тривалість перехідного процесу дорівнює 0,75 с.

Таблиця 1. Параметри перехідного процесу

Ім'я файлу	Максимальний кидок струму, А	Стале значення струму, А	Тривалість перехідного процесу, с	Відношення максимального струму до струму в усталеному режимі	Середнє значення напруги в контактній мережі, В
Компр1	18,35	5,0	0,82	3,67	598
Компр2	17,406	3,975	0,72	4,38	567
Компр3	17,775	4,125	0,731	4,31	589

Час роботи компресора незважаючи на стабільний діапазон тиску, обумовлений роботою автоматичного регулятора тиску в пневматичній системі (в межах 6,5 - 8 атм) залежить від багатьох факторів серед яких основними є:

- напруга контактної мережі;
- витрата повітря на забезпечення роботи пневматичної підвіски кузова, системи гальмування, пневмоприводів дверей.

За осцилограмами (рис. 4 - 7) зміни струму двигуна компресора при роботі тролейбуса в лінії протягом чотирьох періодів (0-900 с; 900 – 1800 с; 1800 – 2700 с; 2700 – 3600 с) визначено:

- час роботи компресора при кожному його включенні;
- середню напругу в контактній мережі за час роботи компресора;
- потужність двигуна компресора.

Експериментальні дослідження здійснювалися на тролейбусі по маршруті № 7А на ділянці від метро Святошин до вул Чорнобильської м.Києва. Ділянка має рівнинний профіль, дорожнє покриття відповідає чинним нормативним документам. Рух на ділянці здійснювалося з відкриттям всіх дверей на зупинках і гальмуванні педаллю службового гальма.

Результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Параметри роботи компресора при русі тролейбуса.

Порядковий номер включення компресора	Початок роботи компресора, с	Кінець роботи компресора, с	Тривалість роботи компресора, с	Середній струм двигуна компресора, А	Середня напруга в контактній мережі, В	Потужність двигуна компресора, Вт
1	270,937	309,75	<b>38,813</b>	3,85	594	<b>2286,90</b>
2	461,313	497,875	<b>36,562</b>	3,86	582	<b>2246,52</b>
3	660,962	694,234	<b>33,272</b>	3,89	682	<b>2652,98</b>
4	788,563	820,0	<b>31,437</b>	3,87	610	<b>2360,70</b>
5	999,562	1033,75	<b>34,188</b>	3,86	642	<b>2478,12</b>
6	1180,685	1212,125	<b>31,440</b>	3,87	646	<b>2500,02</b>
7	1302,812	1331,937	<b>29,125</b>	3,88	650	<b>2522,00</b>
8	1510,137	1542,25	<b>32,113</b>	3,87	652	<b>2523,24</b>
9	1650,375	1679,813	<b>29,438</b>	3,84	645	<b>2476,80</b>
10	2050,0	2088,375	<b>38,375</b>	3,59	616	<b>2211,44</b>
11	2217,75	2254,063	<b>36,313</b>	3,74	632	<b>2363,68</b>
12	2402	2431,313	<b>29,313</b>	3,81	634	<b>2415,54</b>
13	2552,563	2585,062	<b>32,499</b>	3,8	632	<b>2401,60</b>
14	2684,375	2713,25	<b>28,875</b>	3,8	649	<b>2466,20</b>
15	2883,187	2914,875	<b>31,688</b>	3,74	670	<b>2505,80</b>
16	3113,624	3150	<b>36,376</b>	3,71	592	<b>2196,32</b>
17	3367,937	3403,374	<b>35,437</b>	3,67	596	<b>2187,32</b>
Середнє значення			<b>33,251</b>			<b>2399,72</b>

Як видно з наведених даних (див. табл. 2) середній час роботи компресора становить 33,25 с. Фактична потужність двигуна компресора становить 2,4 кВт

Для визначення коефіцієнту  $k_i$  повторного ввімкнення (ПВ) компресора увесь час реєстрації роботи компресора було розділено на 4 інтервали в кожному з яких розраховувались параметри ПВ за формулою:



$$k_i = \frac{\sum_{i=n}^{i=m} t_i}{t_k - t_n},$$

де  $k_i$  – коефіцієнт повторного включення компресора;

$t_i$  – тривалість роботи компресора при  $i$ -тім включенні;

$t_k$  – час початку інтервалу часу реєстрації,  
 $t_n$  – час кінця інтервалу часу реєстрації;  
 $n$  – номер першого включення компресора після відправлення з кінцевої зупинки;  
 $m$  – номер останнього включення компресора перед прибуттям на іншу кінцеву зупинку.

Результати розрахунку наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Визначення коефіцієнту повторного включення

Номер інтервалу реєстрації	Тривалість інтервалу реєстрації, с	Кількість включень компресора	Загальна тривалість роботи компресора, с	Коефіцієнт ПВ компресора, %
1	900	5	174,272	19,36
2	900	5	122,116	13,57
3	900	5	152,625	16,96
4	900	5	110,564	12,28
Середнє значення				15,54
Стандартне відхилення				3,2

На підставі виконаних розрахунків можна сказати, що коефіцієнт ПВ компресора в середньому буде становити 15,5 %, з відхиленням до 9,6 %.

Час роботи компресора визначався за осцилограмами представленими на рис. 5 – 8. Позначення на цих осцилограмах такі ж як для рис. 2 – 4.

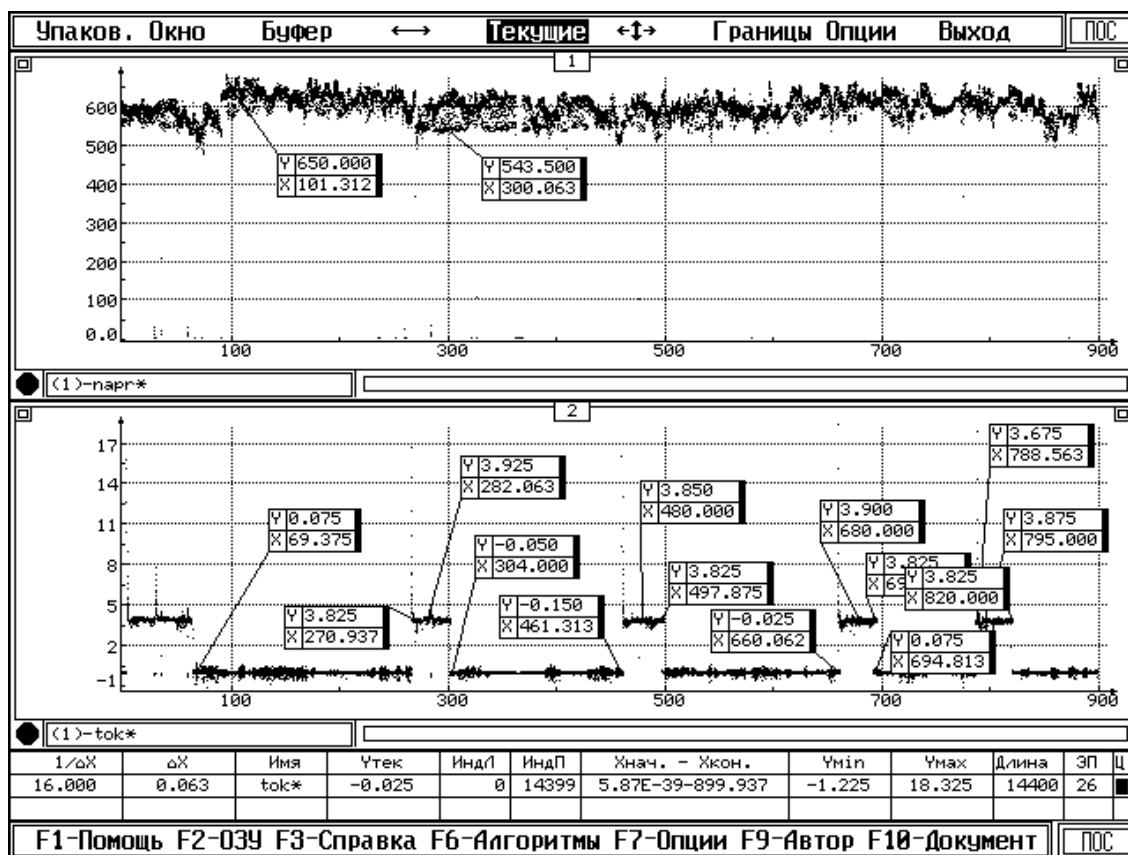


Рис. 5. Файл «компр4». Інтервал запису 0-900 с.

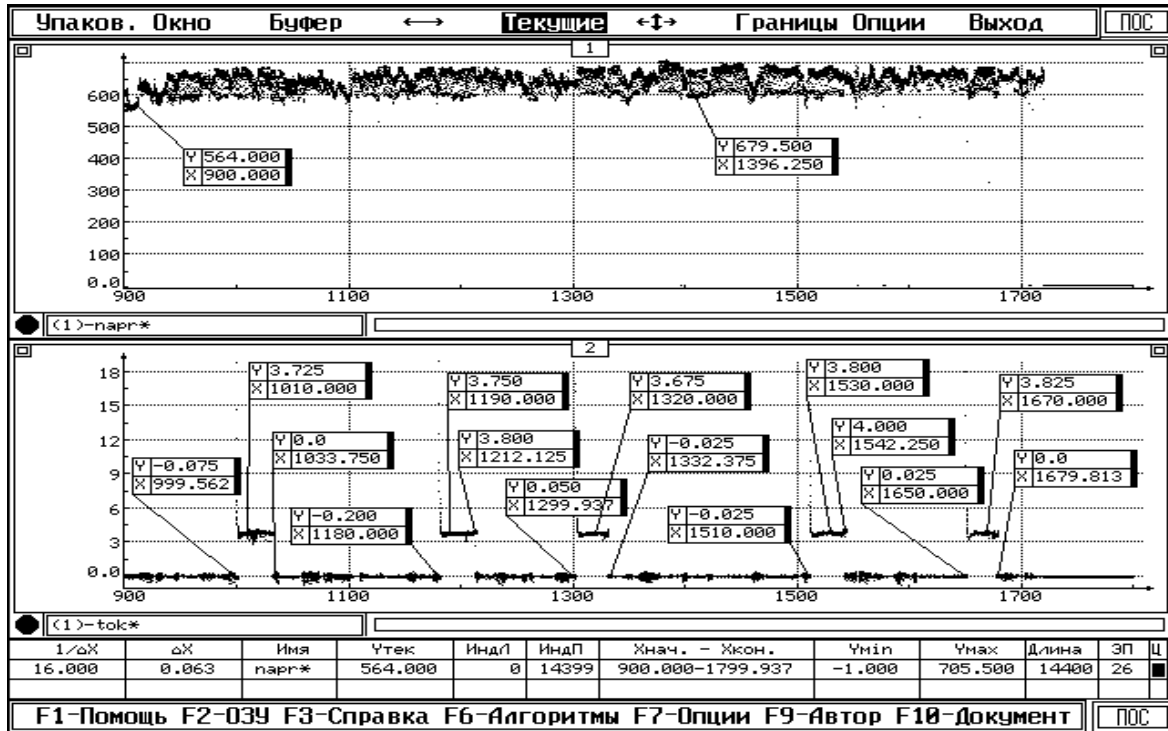


Рис. 6. Файл «компр4». Интервал запису 900-1800 с.

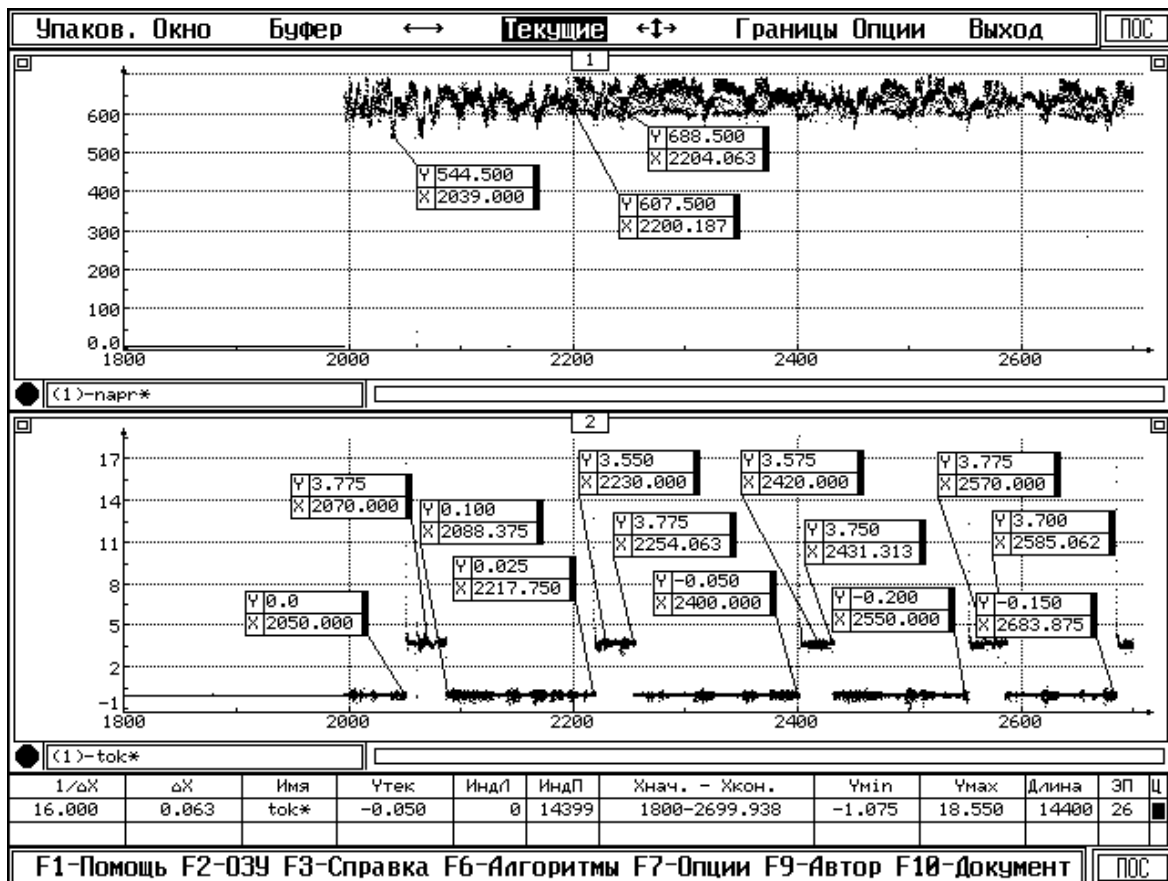


Рис. 7. Файл «компр4». Интервал запису 1800-2700 с

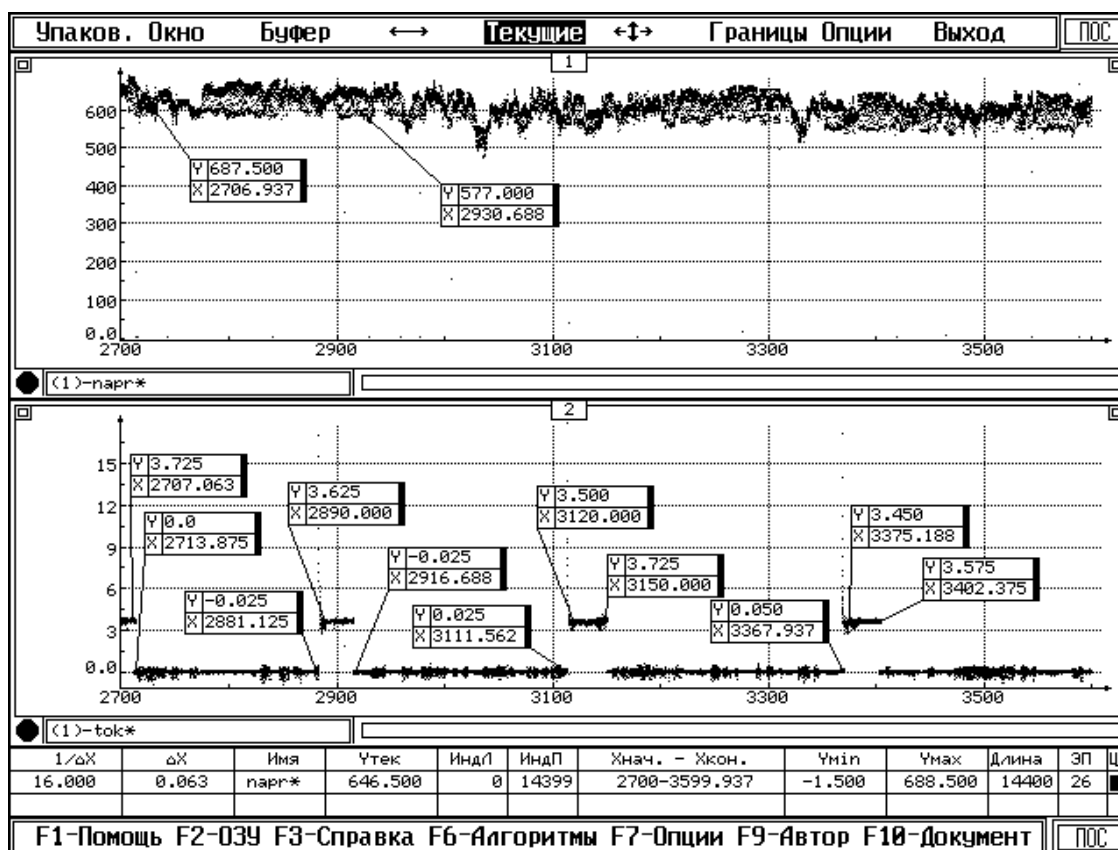


Рис. 8. Файл «компр4». Интервал запису 2700-3600 с

На підставі отриманих даних про споживану потужність, коефіцієнт ПВ електродвигуна компресора можна розрахувати кількість електричної енергії, що споживається електроприводом для забезпечення функціонування пневматичної системи тролейбуса за одну робочу зміну тривалістю 8 год. за формулою:

$$E = P_c \cdot k_{ic} \cdot 8,$$

де:  $E$  – кількість електроенергії, що спожита пневматичною системою;

$P_c$  – середня фактична потужність двигуна компресора, що знайдена за результатами розрахунків параметрів розподілу фактичної потужності;

$k_{ic}$  – середнє значення коефіцієнта повторного включення компресора.

Підставляючи фактичні дані за результатами випробувань одержимо:

$$E = 2,4 \cdot 0,156 \cdot 8 = 2,9 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Таким чином, для забезпечення функціонування пневматичних систем односекційних тролейбусів з пневматичною підвіскою, наприклад К 12.04, Т601 потрібно мати електропривод компресора потужністю близько

3 кВт, при цьому споживання електроенергії протягом робочої зміни (8 год.) буде майже 3 кВт·год.

### Висновки

За результатами обробки даних експериментальних досліджень встановлено:

- середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна компресора до сталого значення становить 4,12;

- середнє відношення максимального значення пускового струму двигуна до номінального (6 А) дорівнює 2,97;

- середня тривалість перехідного процесу при включенні приводного двигуна дорівнює 0,75 с;

- фактична споживана потужність двигуна компресора становить 2,4 кВт;

- коефіцієнт повторного ввімкнення компресора в середньому буде становити 15,5 %;

- середня кількість електроенергії, що споживається електроприводом компресора пневматичної системи за зміну не буде перевищувати 2,9 кВт·год.

Застосований на тролейбусі типу К 12.04 електрокомпресор ЕКВЛІ 03/ 8-13 має надлишкову потужність і продуктивність.

За наявності незначного завантаження компресора його ресурс роботи на тролейбусі та напруження на відмову повинні бути збільшені не менше ніж у 1,5 рази.

Для вирішення питання щодо оптимізації потужності компресора для зменшення витрат енергії треба розглядати з урахуванням обмежень щодо часу наповнення пневмосистеми, що визначені чинними нормативами, зокрема Правилами ЕЭК ООН № 13.

Для подальшого підвищення рівня енергоефективності допоміжних електроприводів рухомого складу електричного транспорту пропонується продовжити дослідження роботи електричних двигунів їх систем керування, компресорів, тощо, а також впроваджувати електронні системи контролю та керування, що зменшують втрати електроенергії особливо при пусках.

#### Література

1. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. Київ, 1998. 506 с.
2. Будниченко В.Б. Критерии оценки потерь электроэнергии в конструкции подвижного состава. *Коммунальное хоз-во городов*. Київ, 2003. №23. С. 193-197.
3. Мамалыга В.М. Практически важные задачи сбережения энергии, потребляемой машинами и механизмами с электроприводом, и принцип достаточности. *Энергетика и электрификация*. 2000. №5. С. 40-44.
4. Попович М. Г., Лозинський О. Ю., Клепиков В. Б. Електромеханічні системи автоматичного керування та електропривод. Київ. 2005. 678 с.
5. Кривовяз В., Васильев П., Маевский В. Тяговый электропривод постоянного тока модернизированного трамвайного вагона «Татра-3Е». *Силовая электроника*. 2007. № 3. С. 36-38.
6. Zebardast A., Mokhtari H. Effect of high-efficient electric motors on efficiency improvement and electric energy saving. *Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*. (Nanjing, 6-9 April 2008). Nanjing, 2008. P. 1–7.
7. Далека В. Х. Наукові основи ресурсозбереження при експлуатації міського електричного транспорту : автореф. дис. на здобуття д-ра техн. наук : 05.13.22. Київ, 2005. 40 с.
8. Далека В. Х., Будниченко В. Б., Карпушин Е. І., Коваленко В. І. Технічна експлуатація міського електричного транспорту. Харків, 2014. 236 с.
9. Бажинов О. В., Смирнов О. П., Серіков С. А., Гнатів А. В., Колесніков А. В. Гібридні автомобілі. Харків, 2008. 327 с.
10. Яцун М. А. Експлуатація та діагностування електричних машин і апаратів. Львів, 2010. 228 с.

#### Reference

1. Kovalko M. P., Denysiuk S.P. (1998) Energozberezhennya - priorytetnyj napryamok derzhavnoyi polityky`Ukrayiny`. [Energy saving is a priority of Ukraine's state policy]. Kyiv. 506. [in Ukrainian].
2. Budnychenko V. B. (2003) Kriterii otsenki poter elektroenergii v konstruktsii podvizhnogo sostava. [Criteria for assessing energy losses in the design of rolling stock]. *Kommunalnoe hoz-yaystvo gorodov*. Kyiv. 23. 193-197. [in Russian].
3. Mamalyiga V. M. (2000) Prakticheski vazhnyie zadachi sberezeniya energii, potreblaemoy mashinami i mehanizmami s elektroprivodom, i printsip dostatochnosti. [Practically important tasks of saving the energy consumed by machines and mechanisms with electric drive, and the principle of sufficiency]. *Energetika i elektrifikatsiya*. 5. 40-44. [in Russian].
4. Popovych M. H., Lozynskyi O. Yu., Klepikov V. B. (2005) Elektromexanichni sy`stemy` avtomaty`chnogo keruvannya ta elektropry`vod. [Elec tromechanical automatic control systems and electric drive]. Kyiv. 678. [in Ukrainian].
5. Kryvoviaz V., Vasylev P., Maevskyi V. (2007) Tyagovyy elektroprivod postoyannogo toka modernizirovannogo tramvaynogo vagona «Tatra-3E». [DC traction electric drive of the modernized Tatra-3E tram car]. *Silovaya elektronika*. 3. 36-38. [in Russian].
6. Zebardast A., Mokhtari H. (2008) Effect of high-efficient electric motors on efficiency improvement and electric energy saving. *Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*. (Nanjing, 6-9 April 2008). Nanjing. 1–7.
7. Daleka V. Kh. (2005) Naukovi osnovy` resursozberezhennya pry` ekspluatatsiyi mis`kogo elektry`chnogo transportu. [Scientific bases of resource saving at operation of city electric transport]: avtoref. dy`s. na zdobuttya d-ra techn. na-uk : 05.13.22. Kyiv. 40. [in Ukrainian].
8. Daleka V. Kh., Budnychenko V. B., Karpushyn E. I., Kovalenko V. I. (2014) Technichna ekspluatatsiya mis`kogo elektry`chnogo transportu. [Technical operation of urban electric transport]. Kharkiv. 236. [in Ukrainian].
9. Bazhynov O. V., Smyrnov O. P., Sierikov S. A., Hnatov A. V., Koliesnikov A. V. (2008) Gibridni avtomobili. [Hybrid cars]. Kharkiv. 327. [in Ukrainian].
10. Yatsun M. A. (2010) Ekspluatatsiya ta diagnostuvannya elektry`chny`x mashyn i aparativ. [Operation and diagnostics of electrical machines and devices]. Lviv. 228. [in Ukrainian].

Далека Василь Хомич<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. електричного транспорту, тел. +38 0662518877, dalekavf@ukr.net,

Будниченко Валерій Борисович<sup>2</sup>, к.т.н., доц. член. кор. ТАУ, тел. +38 0667907727, budnvnv@i.ua,

Дзюбенко Олександр Андрійович<sup>3</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667684116, dzyubenko.alan@gmail.com

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова 61002, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17.

<sup>2</sup>Національний транспортний університет, 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

<sup>3</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

### Оценка энергетических показателей электропривода компрессора электрического транспорта

**Аннотація.** В статті представлені результати дослідження і пропозиції по підвищенню енергоефективності електроприводів компресорів подвижного складу електричного транспорту на основі вимірювання робочих параметрів електродвигателя і компресора. Показана цілесобразність рішення питань ресурсозбереження при виборі допоміжних електроприводів подвижного складу електричного транспорту.

**Ключевые слова:** електричний транспорт, компресор, електропривод, енергоефективність, контактна мережа, потужність.

Далека Василий Фомич<sup>1</sup>, д.т.н., проф. каф. електричного транспорту, тел. +38 0662518877, dalekavf@ukr.net,

Будниченко Валерій Борисович<sup>2</sup>, к.т.н., доц. член. кор. ТАУ, тел. +38 0667907727, budnvnv@i.ua,

Дзюбенко Александр Андреевич<sup>3</sup>, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0667684116, dzyubenko.alan@gmail.com

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. М. Бекетова 61002, Украина, г. Харьков, ул. Маршала Бажанова, 17.

<sup>2</sup>Национальный транспортный университет, 01010, Украина, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

<sup>3</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

### Evaluating energy indicators of electric vehicle compressor electric drive

**Abstract. Problem.** Solving the problem of resource conservation in Ukraine requires increasing the energy efficiency of all electricity consumers. This is especially true for electric drives, which consume more than 60% of electricity produced in the world. Since electric transport requires significant consumption of electricity, the issues of its rational use are quite relevant. **Goal.** Research of operation modes of city electric transport compressors electric drives and estimation of their energy efficiency is the aim of the work. **Methods** of experimental research of energy characteristics of the electric drive of the trolleybus compressor are used. **Results.** The article presents the results of the study and proposals for improving the energy efficiency of electric drives of electric vehicle compressors based on the measurement of operating parameters of the electric motor and compressor. The study of the trolleybus compressor traction drive shows the following: the average ratio of the maximum value of the compressor motor starting current to a constant value; the average ratio of the maximum value of the engine starting current to the nominal; the average duration of the transient - the power of the compressor engine at the start, the average amount of the electric power consumed by pneumatic system during a working change of a rolling stock on the route. **Originality.** The results of experiments proving the irrational use of electric drives of trolleybus rolling stock are obtained, and the ways of solving the problem are indicated. **Practical value.** The expediency of solving resource saving issues when choosing auxiliary electric drives of electric transport rolling stock is shown.

**Key words:** electric transport, compressor, electric drive, energy efficiency, catenary, power.

Daleka Vasyil<sup>1</sup>, Professor, Dr. Sc., Prof. Department of Electric Transport, tel. +38 0662518877, e-mail: dalekavf@ukr.net,

Budnichenko Valery<sup>2</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., Member. cor. TAU, tel. +38 0667907727, e-mail: budnvnv@i.ua,

Dzyubenko Oleksandr<sup>3</sup>, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 0667684116, e-mail: dzyubenko.alan@gmail.com

<sup>1</sup>O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Marshal Bazhanov str., 17, Kharkiv, Ukraine, 61002.

<sup>2</sup>National Transport University. Street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, Kyiv, Ukraine, 01010

<sup>3</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.