

Р. В. Зінько¹
Ю. Ю. Скварок²
В. Є. Мартин³
А. П. Поляков⁴

МОДЕЛІ РОБОТИ РІЗНОТИПНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПОДІБНОСТІ ГРАФІВ ЇХ КОНСТРУКЦІЙ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

²Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка

³Львівський державний автомобільно-дорожній коледж

⁴Вінницький національний технічний університет

Для аналізу конструкцій машин різної будови запропоновано ідею застосування графів таких конструкцій. Використання структурного запису конструкційних схем машин дозволить впорядкувати і формалізувати найширший ряд машин, застосувати однотипну методику їх запису в математичній моделі на основі твердження, що схеми структурно подібних машин описуються подібними диференціальними рівняннями, але параметри рівнянь залежать від умов функціонування машин.

В проведених дослідженнях об'єктом було вибрано процес аналізу конструктивних схем різноманітних машин, а предметом досліджень – методи, які дадуть змогу провести аналіз машини з урахуванням її конструктивної схеми. Завданням ставилося створення методики аналізу різноманітних конструктивних схем машин і використання при цьому однотипних математичних моделей. Науковою новизною є розроблена методика аналізу різноманітних конструктивних схем машин і використання при цьому однотипних математичних моделей.

Іншою особливістю запропонованої методики є те, що множина ознак створюваної машини містить також підмножини процесів і явищ, в яких задіяна машина. Це дозволяє оцінювати відповідність процесу, в якому задіяна машина, і режимів роботи машини. Для більш точного відтворення машиною технологічного процесу з урахуванням підмножин процесів і явищ можна поєднувати кілька явищ.

В методиці міститься розділ, який описує методи створення нових зразків техніки. Раніше такі методи описувалися тільки феноменологістично (вербально). Використання предикатів дозволило математизувати і впорядкувати алгоритми цих методів. Таке впорядкування дає також можливість їх класифікації і визначення доцільності використання для розв'язання тих чи інших конструкторських задач залежно від їхньої складності.

Ще однією особливістю запропонованої методики є використання почленної диз'юнкції, що дозволяє в множині якісних ознак предмета проектування на основі вибраного критерію переформувати ці ознаки для проектування нових конструкцій машин.

Застосування запропонованої методики показано на прикладі створення роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленням жорстким приводом.

Ключові слова: математичні моделі, структурний синтез механізмів, графи структури конструктивних схем, графи структури зв'язків узагальнених координат, почленна диз'юнкція.

Вступ

Створення нових конструкцій машин різного призначення зумовлює постійне вдосконалення і уточнення методик їхнього розрахунку, синтез принципово нових технічних рішень і конструкцій. Зростають також вимоги до керованості, поєднання транспортних і технологічних операцій, енергоємності та ефективності робочих процесів. Вдосконалення конструкцій машин вимагає їх аналізу і дослідження структури.

Аналіз публікацій

Поняття “машина” є основним поняттям сучасної техніки і науки. Означення цього поняття дано І. І. Артоблевським для робочих, енергетичних, інформаційних та кібернетичних машин [1]. В роботі [2] також була здійснена класифікація механізмів машин за структурно-конструктивною і функціональною ознаками. Л. Б. Левенсон поділяє машини на дві групи: трансформувальні і транспортувальні [3]. Обидві групи машин працюють з робочим тілом і змінюють його характеристики в просторі і часі якісно та кількісно. Переважаючою ознакою трансформувальних машин є зміна розмірів, форми чи виду робочого тіла. При цьому, на основі технологічних процесів, можна зробити висновок про наявність в цих процесах функції переміщення чи транспортування: переміщення

стружки в металооброблювальному верстаті, рух паперу в поліграфічній машині, переміщення каміння в подрібнювальній машині. В цілому класифікації машин проводять залежно від галузі їхнього застосування [4-6].

Велика кількість класифікацій базується на розумінні відмінностей між різними конструкціями машин. З'явилася тенденція аналізу конструкцій машин в поєднанні з процесами, в які вони задіяні [7-11]. При цьому аналізується зміна конструкції і як ця зміна впливає на виконання їхніх функціональних процесів.

Мета та постановка задачі

Структурний запис конструкційних схем машин дозволить систематизувати і формалізувати найширшу гамму машин, виробити однотипну методику їх запису в математичній моделі на основі твердження, що схеми структурно подібних машини описуються подібними диференціальними рівняннями, але параметри рівнянь залежать від умов функціонування машин.

Об'єктом дослідження є процес аналізу конструктивних схем різноманітних машин.

Предметом дослідження є методи, які дадуть змогу провести аналіз машини з урахуванням її конструктивної схеми.

Завданням є створення методики аналізу різноманітних конструктивних схем машин і використання при цьому однотипних математичних моделей.

Наукова новизна полягає у тому, що розроблена методика аналізу різноманітних конструктивних схем машин і використання при цьому однотипних математичних моделей.

Практична значущість отриманих результатів дослідження полягає у тому, що розроблену методику можна використати для дослідження експлуатаційних властивостей різноманітних машин з використанням квазіподібних математичних моделей.

Викладення основного матеріалу

В [11] наведено методологію синтезу нових і вдосконалення існуючих машин на основі типового алгоритму (рис. 1). Алгоритм враховує використання морфологічного простору (МП) для формування бази знань про конструктивні схеми проєктованих машин. Проведення аналізу ознак на сумісність, а також кількісного аналізу їхніх параметрів дає змогу задати множину важливих ознак досліджуваної машини і визначити межі зміни цих ознак.

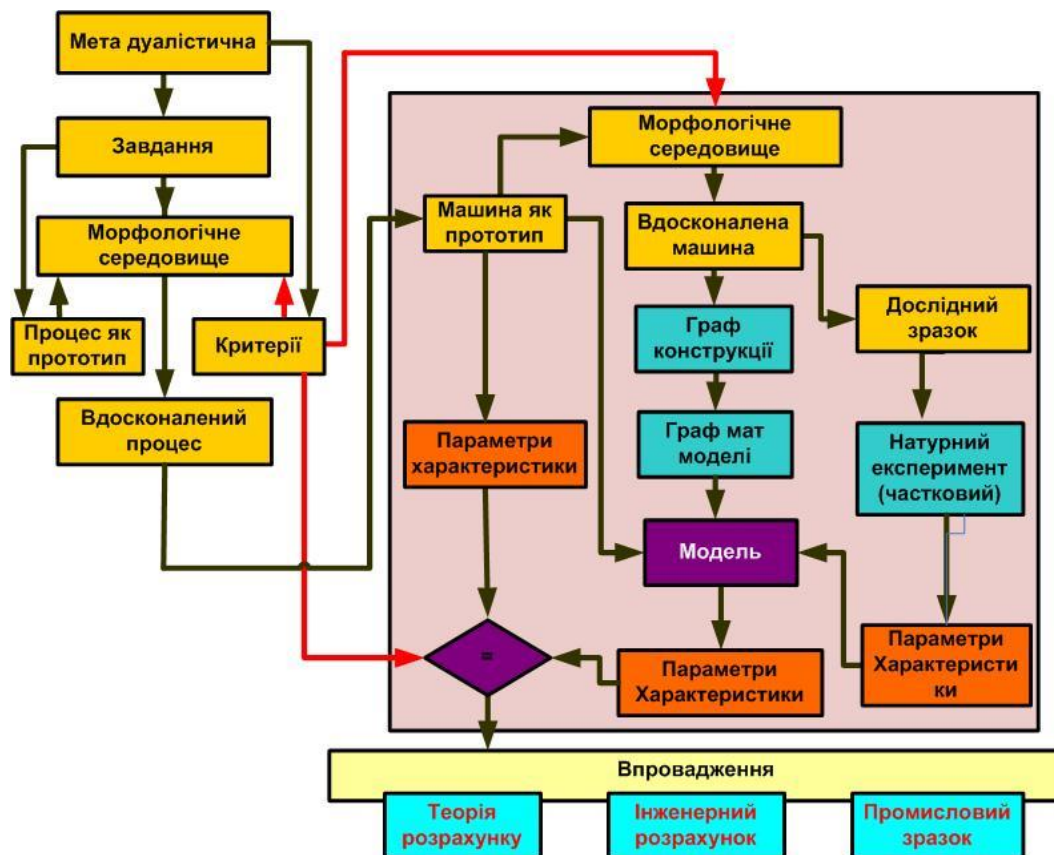


Рис. 1. Алгоритм синтезу і вдосконалення існуючих машин

Особливістю запропонованої методики є те, що множина ознак створюваної машини містить також підмножини процесів і явищ, в яких задіяна машина. Це дозволяє оцінювати відповідність процесу, в якому задіяна машина, і режимів роботи машини. Для більш точного відтворення машиною технологічного процесу з урахуванням підмножин процесів і явищ можна поєднувати кілька явищ. Прикладом може бути поєднання процесу подрібнення матеріалу з явищем вібрації. І якщо при цьому задатися критерієм енергоощадності, то явище вібрації доцільно використовувати в резонансних режимах експлуатації машини.

Проявом гнучкості методології є можливість варіації критеріїв ефективності функціонування машини. При цьому виникає можливість синтезу різних конструкцій машин покликаних вирішити існуючу проблему кардинально різними шляхами.

Система розроблення та поставлення продукції на виробництво нормована ДСТУ 3974-2000, де зокрема описано зміст робіт на стадіях і етапах ДКР. В цілому ці роботи охоплюють стадії проектування, конструювання і частково реалізації продукції. На стадії проектування згадано процеси вибору машин-аналогів, формування технічних вимог, але не розглядаються способи генерації ідеї, вибір концепції виготовлення. Ці елементи є вихідними при подальшому проектуванні і конструюванні машини.

В деяких дослідженнях їх виділяють в окрему стадію – концептування. Цій стадії присвячена значна кількість досліджень, але в основному вони є описового характеру. Відомі різні методи проектування або генерування ідеї чи конструкції машин. Їх відносять до групи методів функціонально-структурного дослідження об'єктів. На основі аналізу цих методів були встановлені їх основні складові (рис. 2). Їх впорядкування і математичний опис дозволить підвищити ефективність методів концептування, полегшить роботу конструкторів і проєктантів.

Для складової «Вибір критеріїв» (див. рис. 2) був розроблений алгоритм формування множини (рис. 3), а також сформовано загальний перелік критеріїв оцінки ефективності функціонування машин (табл. 1).

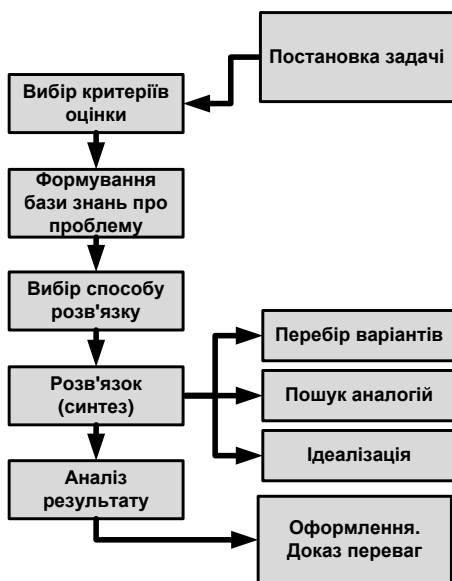


Рис. 2. Стадія концептування

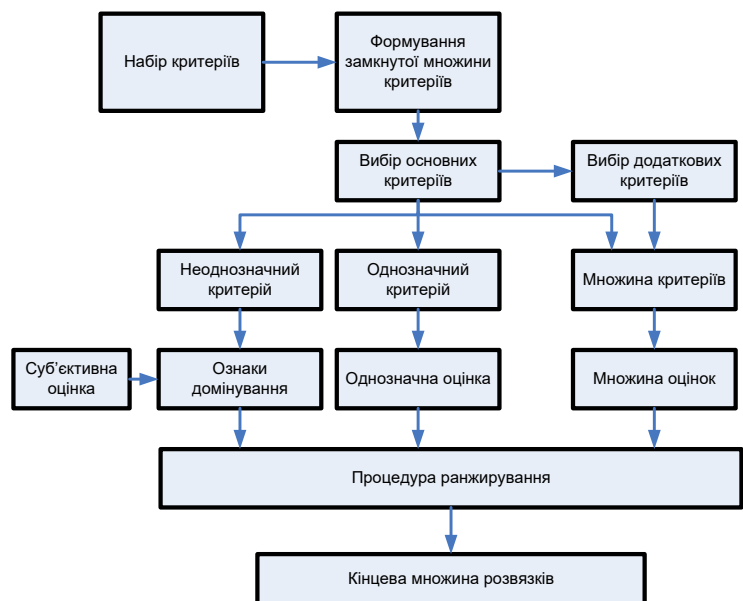


Рис. 3. Послідовність формування замкнутої множини критеріїв розв'язків

Для складової «Формування бази знань про проблему» (див. рис. 2) був запропонований принцип почленної диз'юнкції об'єктів. Він полягає у кількох рівневій систематизації множини об'єктів. А використання графів дозволяє візуально відображати утворені структури, що дає можливість ефективно і наочно проводити аналіз множини об'єктів. У випадку концептування це може бути інформація про конструкції машин або набір елементів конструкції конкретної машини.

Для складової «Вибір способу розв'язання проблеми» була проведена систематизація основних способів проектування машин. При аналізі способів проектування було встановлено, що вони описують цілісну інформацію про об'єкти, зокрема про машини, на основі множин, що мають певні властивості. Взаємодія цих множин визначає особливість того чи іншого способу і формують відповідний морфологічний простір (рис. 4).

Критерії оцінки ефективності функціонування машин

Функціональні (призначення), експлуатаційні	Продуктивність, Точність (якість), Надійність (безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність), Спеціальні, прохідність, маневреність, динаміка функціонування, Придатність до сервісного обслуговування
Технологічні	Трудомісткість виготовлення та експлуатації, можливість розчленування елементів, неперервність технологічного циклу
Часові	Час технологічного циклу, час елементів циклу, суміщення елементів циклу, час допоміжних операцій
Економічні	Затрати матеріалів, енергії, на конструювання, зменшення габаритних розмірів, ощадність, вартість виготовлення та експлуатації
Антропометричні	Ергономічність (вібрації, шум), безпека, екологічність
Інформаційні	Забезпечення ефективності керування, прогнозування станів робочих процесів
Енергетичні	Робочий процес машини, забезпечення характеристик робочого тіла, оператор і обслуговуючий персонал, виробництво та технічне обслуговування машин
Соціальні	Необхідність, мода, краса, реклама

Була запропонована структура і взаємозв'язки між множинами, які представлені у вигляді планарного орієнтованого графа (табл. 2). Далі граф був переведений в матричний вигляд (записаний у вигляді матриці суміжності та інцидентності) і з використанням відомих перетворень записаний в алгебраїчній формі. Такий запис відображає кількість і направленість потоків інформації між множинами МП.

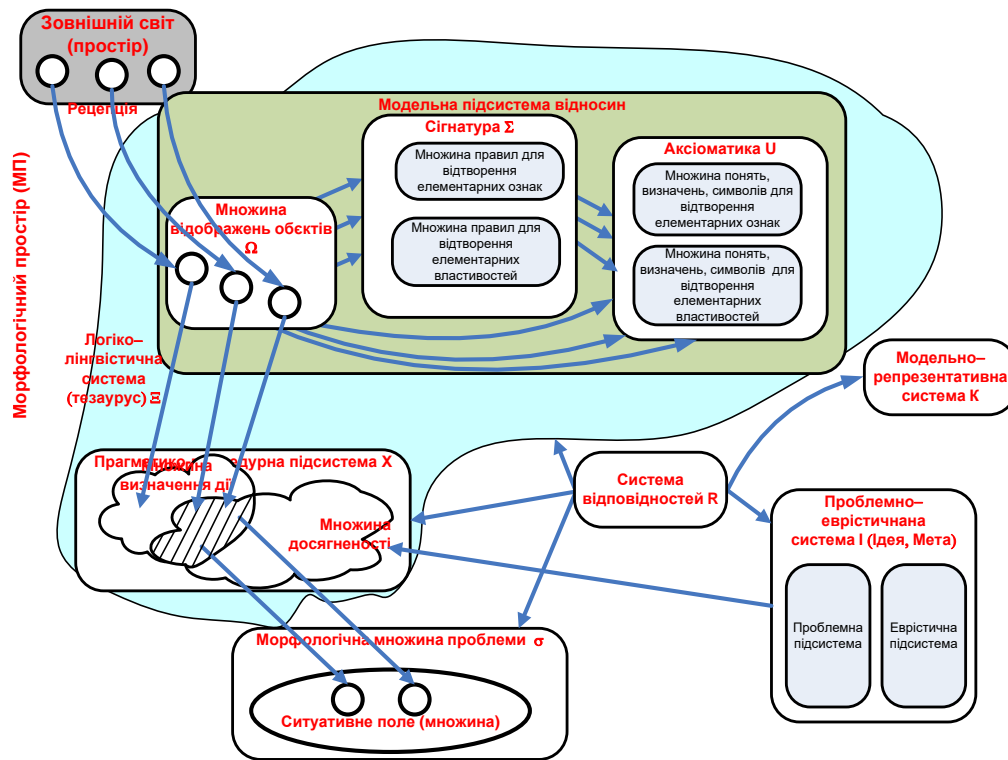


Рис. 4. Взаємозв'язки складових морфологічного простору

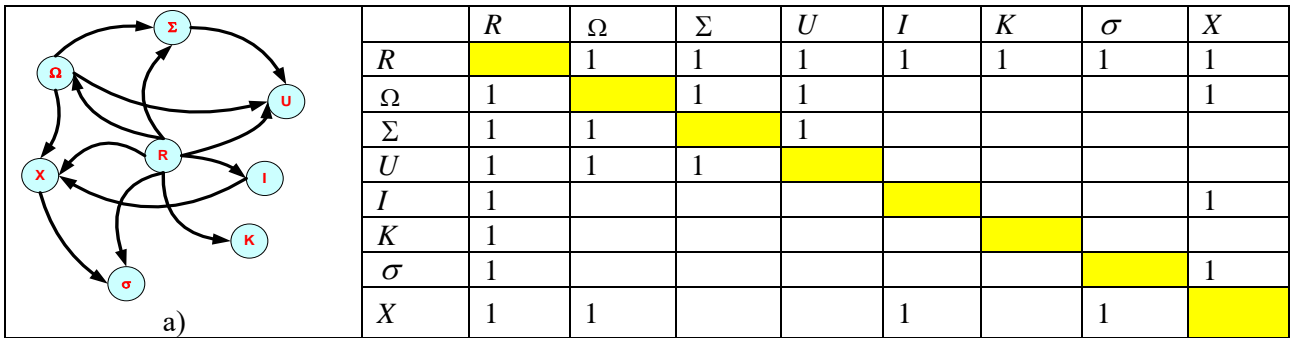
Оскільки кожен з способів проектування конструкцій машин використовує ті чи інші множини МП, то відповідно і формула його запису матиме свої особливості: а саме кількість задіяних множин МП і кількість потоків інформації.

Тому з'явилася кількісна можливість систематизації і впорядкування способів проектування машин, які до цього описувалися тільки феноменологічно (вербально) (табл. 3). Таке впорядкування дає також можливість їх класифікації і визначення доцільності використання для розв'язання тих чи інших

конструкторських задач залежно від їхньої складності. Але вже на рівні впорядкування відомих методів проектування машин виявилися однакові або подібні методи, які до того вважалися різними.

Таблиця 2

Граф і його матриці суміжності (а) та інцидентій (б)



б)	RΩ	RΣ	RU	RI	RK	Rσ	RX	IX	Xσ	ΩΣ	ΩU	ΣU	ΩX
Ω	+1									-1	-1		-1
Σ		+1								+1		-1	
U			+1								+1	+1	
I				+1				-1					
K					+1								
σ						+1			+1				
X							+1	+1	-1				+1
R	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1						

$$\begin{aligned}
 R &\rightarrow [7 \text{ вих} \cup 0 \text{ зах}]; \quad \Omega \rightarrow [3 \text{ вих} \cup 1 \text{ зах}]; \quad U \rightarrow [0 \text{ вих} \cup 3 \text{ зах}]; \\
 \Sigma &\rightarrow [1 \text{ вих} \cup 2 \text{ зах}]; \quad I \rightarrow [1 \text{ вих} \cup 1 \text{ зах}]; \quad K \rightarrow [0 \text{ вих} \cup 1 \text{ зах}]; \\
 \sigma &\rightarrow [0 \text{ вих} \cup 2 \text{ зах}]; \quad X \rightarrow [1 \text{ вих} \cup 3 \text{ зах}];
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$[R > \Omega] > [I > \Sigma > X] > [K > \sigma > U]; \quad \left[\frac{7}{0} > \frac{3}{1} \right] > \left[\frac{1}{1} > \frac{1}{2} > \frac{1}{3} \right] > \left[\frac{0}{1} > \frac{0}{2} > \frac{0}{3} \right].$$

Виберемо область знань, пов'язану з конструкціями окремих елементів. Далі сформуємо пов'язані з нею множини предметних змінних.

Надалі будемо використовувати такі предметні змінні: l – характеристики ознак; u – ознаки і r – сукупність ознак. Ці змінні відображають суть знань стосовно досліджуваного предмета, призначення і взаємозв'язок його складових, тобто об'єктивно визначають дійсні і достовірні глибинні знання стосовно предмета, надаючи інформацію, необхідну для його аналізу. Значення відповідних предметних змінних представлені множинами L, U, R . Відповідно у морфологічному середовищі ознаки u відповідають множині сигнатури Σ , яка містить правила для відтворення елементарних ознак і властивостей, характеристики ознак l відповідають множині аксіоматики U , яка містить поняття для відтворення елементарних ознак і властивостей, сукупність ознак r формує об'єкт Ω , з яким працює середовище, і результатом перетворень буде локальна область m , яка знаходиться в морфологічній множині проблеми σ .

В багатьох роботах при проектуванні машин пропонується враховувати впливи на створюваний механізм чи машину з боку довкілля, процеси і явища, що задіяні в цих процесах. Можливі ознаки будуть визначатися своїми характеристиками, які і будуть формувати експлуатаційну поведінку створеної машини.

Для формування властивостей машини на рівні інформаційної бази скористаємося методом почленної диз'юнкції. Нехай множина «Сукупність ознак» $R = \{ri\}$ має 3 предмети – значення сукупності ознак, тобто $i = 1, \dots, 3$. Множина «Ознаки» $U = \{ui\}$ має 5 предметів – значень ознак, тобто $i = 1, \dots, 5$. Множина «Характеристики ознак» $L = \{li\}$ має 14 предметів – значень характеристики ознак.

Приклад запису методів проектування

Метод	Характеристика	Схема	Формула
Декомпозиції	Розчленовування будь-якого складного явища на прості складові. Для досягнення адекватності декомпозиції відтворюється декомпована модель і нова модель порівнюється з системою до декомпозиції		$[R > \Omega] > [I > x] > [\sigma > U]$ $\frac{6}{0} > \frac{1}{1} > \frac{1}{1} > \frac{1}{4} > \frac{0}{2} > \frac{1}{1}$
Порівняння	Припускає порівняння даної системи, явища, процесу з іншими, що проявляє їхню специфіку		$[R > \Omega] > [I > x] > [K > \sigma]$ $\frac{6}{0} > \frac{1}{1} > \frac{1}{1} > \frac{1}{4} > \frac{1}{1} > \frac{0}{2}$
Нормативний	Обґрунтовується сукупність нормативів, які відображають ефективність системи, а потім реальна система порівнюється з нормативною, що дає можливість виявити характер відхилення від норми		$[R > \Omega] > [I > x] > [K > \sigma]$ $\frac{6}{0} > \frac{1}{1} > \frac{1}{2} > \frac{1}{3} > \frac{1}{1} > \frac{0}{2}$
Аналогій	Припускає доказ аналогії між двома об'єктами і перенесення системи пояснень з одного об'єкта на інший		$[R > \Omega] > [I > x] > [\sigma]$ $\frac{5}{0} > \frac{1}{1} > \frac{1}{1} > \frac{1}{3} > \frac{0}{2}$

Надалі будемо використовувати поняття – область знань q . Під областю знань розуміють нечітко визначену певну частину загальних знань, що використовують розв'язуючи якусь конкретну задачу.

Введемо достатньо чітко окреслену множину $Q = \{qi\}$ областей знань $qi, i = 1, \dots, 18$, тобто

$$Q = \{qi\}, i = 1, \dots, 18. \tag{2}$$

Можна побудувати парадигматичну таблицю, що відображає зв'язок між областю локалізації знань qi і предметними змінними l, u, r (табл. 4).

Таблиця 4

Приклад запису зв'язків між областю локалізації знань qi та предметними змінними l, u, r

Сукупність ознак	Ознаки	Характеристики ознаки	Область локалізації знань
$r1$	$u1$	$l12$	$q1$
$r3$	$u2$	$l12$	$q2$
$r1$	$u3$	$l1$	$q5$
$r2$	$u4$	$l6$	$q12$
$r2$	$u5$	$l7$	$q13$
$r2$	$u5$	$l8$	$q14$
$r1$	$u3$	$l8$	$q15$
$r3$	$u2$	$l11$	$q18$

Область локалізації знань q виражається через значення предметних змінних r, l, u таким чином:

$$\begin{aligned}
r1u1l12=q1 ; r3u2l2=q2 ; r1u1l13=q3 ; r1u1l14=q4 ; \\
r1u3l1=q5 ; r2u4l1=q6 ; r1u3l2=q7 ; r1u3l3=q8 ; \\
r1u3l4=q9 ; r2u4l4=q10 ; r2u4l5=q11 ; \\
r2u4l6=q12 ; r2u5l7=q13 ; r2u5l8=q14 ; \\
r1u3l8=q15 ; r3u2l9=q16 ; r3u2l10=q17 ; r3u2l11=q18 .
\end{aligned} \tag{3}$$

Спорідненою рівністю називають таку рівність, яка після виконання над нею операції почленної диз'юнкції приводить до рівності з лівою частиною у вигляді логічного масиву, кожен співмножник якого залежить від однієї предметної змінної. Виконаємо операцію почленної диз'юнкції можливо більшого числа споріднених рівностей. Введення почленної диз'юнкції з використанням спорідненої рівності обумовлене необхідністю отримання локальних областей знань. Такі області можуть включати більш ніж одну обчислювану обмежену кількість ознак і предметних областей досліджень.

$$\begin{aligned}
r1u1(l12 \vee l13 \vee l14) &= q1 \vee q3 \vee q4 ; \\
r3u2(l12 \vee l9 \vee l10 \vee l11) &= q2 \vee q16 \vee q17 \vee q18 ; \\
r2u5(l7 \vee l8) &= q13 \vee q14 ; \\
r1u3(l1 \vee l2 \vee l3 \vee l4 \vee l8) &= q5 \vee q7 \vee q8 \vee q9 \vee q15 ; \\
r2u4(l1 \vee l4 \vee l5 \vee l6) &= q6 \vee q10 \vee q11 \vee q12 .
\end{aligned} \tag{4}$$

Локальні області знань є основою для формування локальних областей експерта або конструктора. В практиці наукових досліджень це бази знань для створення методологій та пояснення природних процесів і явищ окремими дослідниками чи науковими школами. Формуємо функцію переходу від предметної області знань q до локальної області досліджень конструктора m , у професійну діяльність якого входить ця область дослідження q .

$$\begin{aligned}
q1 \vee q3 \vee q4 \vee q13 \vee q14 = m1 ; \quad q2 \vee q16 \vee q17 \vee q18 = m2 ; \\
q5 \vee q7 \vee q8 \vee q9 \vee q15 = m3 ; \quad q6 \vee q10 \vee q11 \vee q12 = m4 .
\end{aligned} \tag{5}$$

Враховуючи залежності предметних областей знань q від предметних змінних r, l, u (4) та зв'язок між предметними областями знань q та локальними областями досліджень конструктора m (5), залежності локальних областей m від предметних змінних r, l, u мають вигляд:

$$\begin{aligned}
m1 &= r1u1(l12 \vee l13 \vee l14) \vee r2u5(l7 \vee l8) ; \\
m2 &= r3u2(l12 \vee l9 \vee l10 \vee l11) ; \\
m3 &= r1u3(l1 \vee l2 \vee l3 \vee l4 \vee l8) ; \quad m4 = r2u4(l1 \vee l4 \vee l5 \vee l6) .
\end{aligned} \tag{6}$$

Предикат $P(r, l, u, m)$, що описує зв'язок між локальними областями досліджень конструктора m та предметними змінними r, l, u , що об'єктивно визначають знання предметних областей знань q , має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
P(r, l, u, m) &= m1r1u1(l12 \vee l13 \vee l14) \vee \\
&\vee m1r2u5(l7 \vee l8) \vee \\
&\vee m2r3u2(l12 \vee l9 \vee l10 \vee l11) \\
&\vee m3r1u3(l1 \vee l2 \vee l3 \vee l4 \vee l8) \vee \\
&\vee m4r2u4(l1 \vee l4 \vee l5 \vee l6) .
\end{aligned} \tag{7}$$

Предикат P можна наочно зобразити у вигляді логічної мережі, яка є графічним представленням результату бінарної кон'юнкції декомпозиції багатомісного предиката (рис. 5). Логічна мережа складається з полюсів і гілок. Кожному полюсу логічної мережі ставиться у відповідність своя наочна змінна моделі, яка називається атрибутом цього полюса. У нашій мережі чотири полюси позначаються відповідними наочними змінними r, l, u, m . Будь-який полюс логічної мережі в кожен момент часу несе якість знання про значення свого атрибуту. Вказуючи стан всіх полюсів у даний момент часу, визначаємо стан мережі в цей момент часу.

В деяких випадках, хоча машини за своїм функціональним призначенням не мають нічого спільного, виявилася суттєва спорідненість їхньої структури конструкції [11, 12].

Відповідно і графі структури міжрівневих зв'язків узагальнених координат в математичних

моделях, що описують роботу таких машин також подібні (табл. 5). Тобто, зробивши константами декілька узагальнених координат і відкоригувавши відповідні вхідні параметри математичних моделей, можна за допомогою однієї моделі досліджувати цілу низку різнорідних машин, які за своєю конструкцією і функціональним призначенням можуть суттєво відрізнятися (табл. 6).

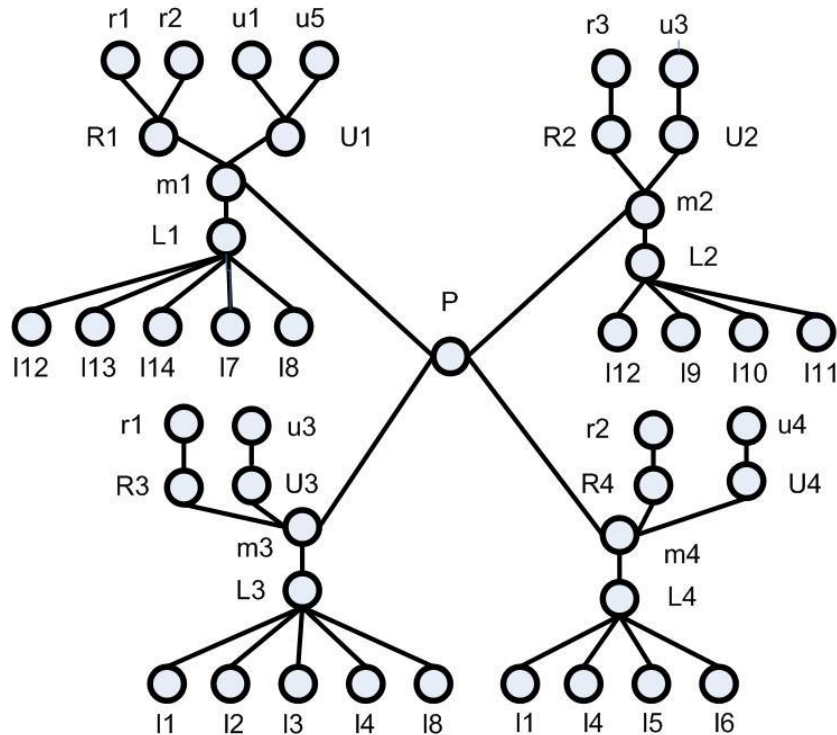


Рис. 5. Предикат P відношень значень m локальних областей досліджень конструктора та предметних змінних r, u, l предметних областей знань q

Таблиця 5

Математичні моделі, що описують роботу різнорідних машин

	Роторна подрібнювальна машина	Вітроенергетична установка
Рівняння математичної моделі	$J_1 \ddot{\varphi}_1 = \cos \omega t - c_1 \varphi_1 - k_1 \dot{\varphi}_1;$ $J_2 \ddot{\varphi}_2 = -c_2 (\varphi_2 - \varphi_1) - k_2 (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1);$ $J_3 \ddot{\varphi}_3 = -c_3 (\varphi_3 - \varphi_2) - k_2 (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2).$	$J_1 \ddot{\varphi}_1 = \cos \omega t - c_1 \varphi_1 - k_1 \dot{\varphi}_1;$ $J_2 \ddot{\varphi}_2 = -c_2 (\varphi_2 - \varphi_1) - k_2 (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_1);$ $J_3 \ddot{\varphi}_3 = -c_3 (\varphi_3 - \varphi_2) - k_3 (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_2);$ $J_4 \ddot{\varphi}_4 = -c_4 (\varphi_4 - \varphi_3) - k_4 (\dot{\varphi}_4 - \dot{\varphi}_3).$
	де $\varphi_i, \dot{\varphi}_i, \ddot{\varphi}_i$ – узагальнені координати і похідні по часу. J_i – моменти інерції обертових мас; c_i, k_i – коефіцієнти жорсткості і демпфування	
Граф структури рівневих зв'язків узагальнених координат		
Вхідні значення	$w = 1,8 * 1000 * 2 * p_i / 60;$ $J = [45 \ 125 \ 5];$ $c = [1900 \ 3000 \ 600];$ $k = [4 \ 6 \ 2];$ $T = 10;$	$w = 2,8 * 2 * p_i / 60;$ $J = [1,1 \ 1,95 \ 3 \ 2,8];$ $c = [1200 \ 1100 \ 1900 \ 2900];$ $k = [30 \ 20 \ 40 \ 60] * 10^{-1};$ $T = 10;$

	Роторна подрібнювальна машина	Вітроенергетична установка
Переміщення		
Пришвидження		

Це дає можливість для дослідження експлуатаційних властивостей таких машин використовувати однакові за структурою математичні моделі.

З врахуванням задач дослідження, на основі графа структури конструктивної схеми (рис. 6) та розрахункової схеми (рис. 7) шляхом модернізації графа 2а, який представлений у табл. 7, був записаний граф структури рівневих зв'язків узагальнених координат (рис. 8) математичної моделі роботи роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленим жорстким приводом.

Таблиця 6

Результати, отримані після корегування математичних моделей, що описують роботу різних машин

	Роторна подрібнювальна машина	Вітроенергетична установка
Вхідні значення	$w = 1.8 * 1000 * 2 * \pi / 60;$ $J = [45 \ 125 \ 5];$ $c = [1900 \ 3000 \ 600];$ $k = [4 \ 6 \ 2];$ $T = 10$	$w = 1.8 * 1000 * 2 * \pi / 60;$ $J = [45 \ 125 \ 5 \ 1];$ $c = [1900 \ 3000 \ 600 \ 1];$ $k = [40 \ 60 \ 20 \ 10] * 10^{-1};$ $T = 10$
Переміщення		
Пришвидження		

Схема та граф варіанта конструктивного виконання дробарки

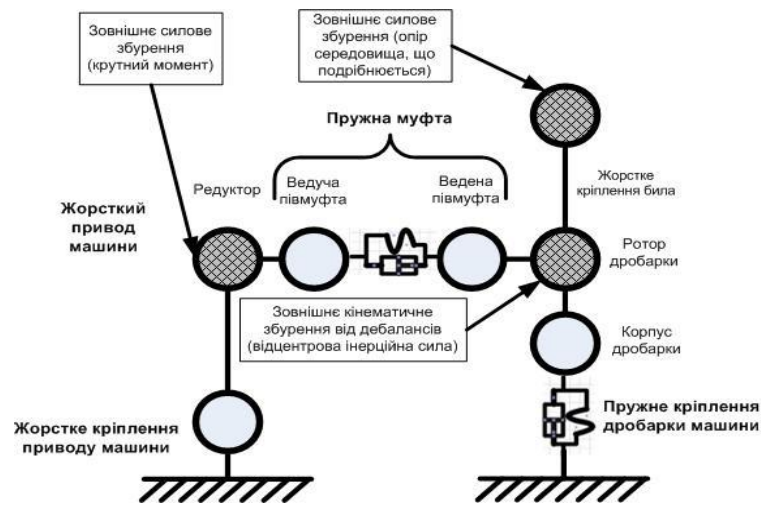
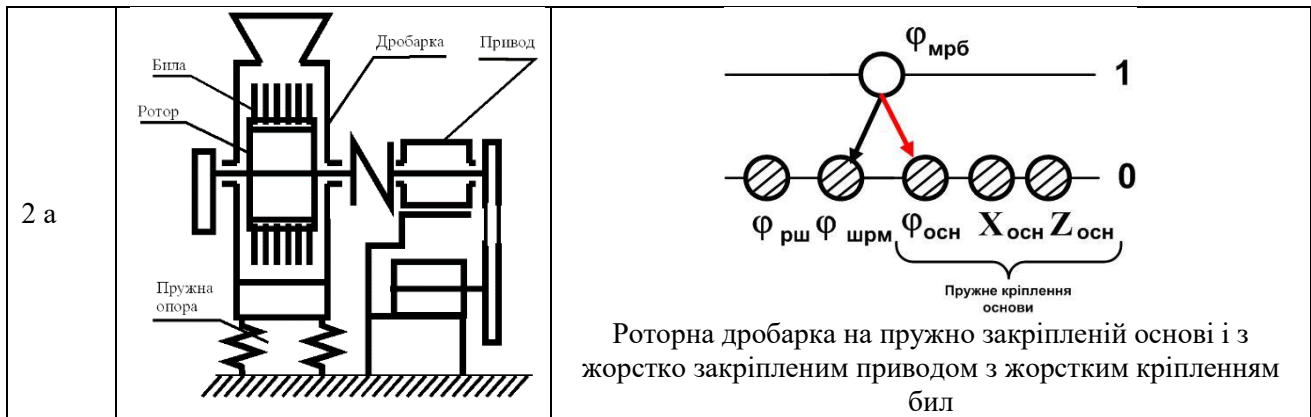


Рис. 6. Граф структури конструктивної схеми роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленим жорстким приводом

Представлення зв'язків координат у вигляді графів дозволяє з'ясувати взаємовплив роботи елементів технічних систем і будувати моделі з врахуванням цих зв'язків. Крім того, графи зв'язків дозволяють однозначно визначити необхідну кількість і перелік узагальнених координат, які потрібні для розв'язання конкретної задачі. Застосування цих графів дозволить визначати необхідний і достатній рівень майбутньої моделі функціонування технічних систем. Це зменшить трудові затрати на створення, налагодження та використання моделі.

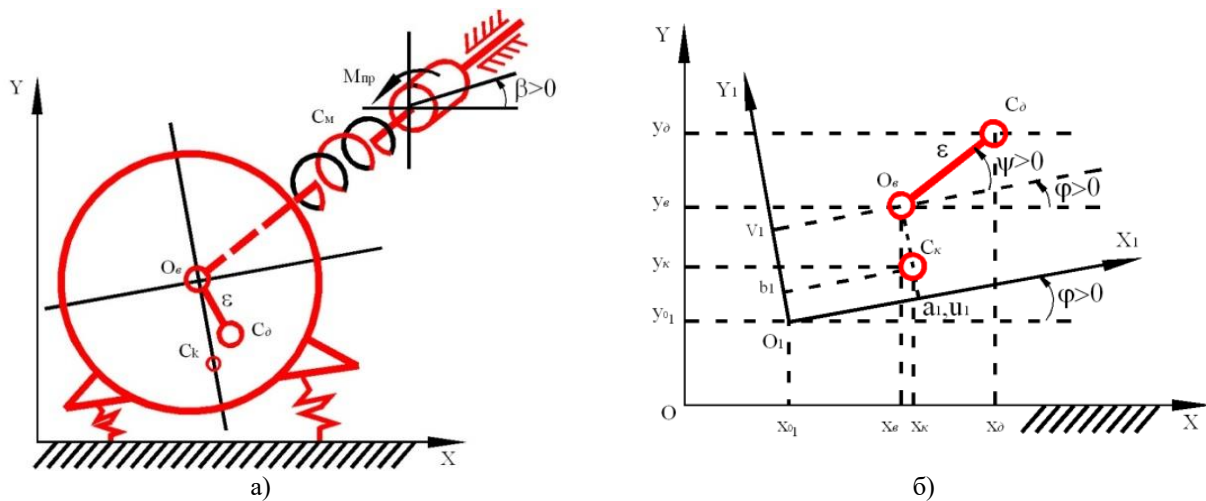


Рис. 7. Розрахункова схема роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленим жорстким приводом: жорстким кріпленням била (а); прийняті системи координат та узагальнені координати (б)

В цілому, правильність запису отриманих математичних моделей та програм контролювалася за допомогою трирівневої перевірки, в якій об'єми фізичного експерименту значно зменшені. Трирівнева перевірка складається з трьох рівнів (рис. 9).

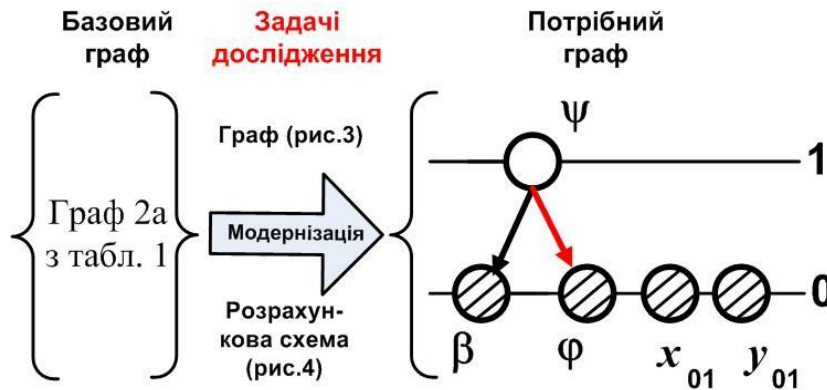


Рис. 8. Граф структури рівневих зв'язків узагальнених координат математичної моделі роботи роторної подрібнювальної машини з дробаркою на пружно закріпленій основі та жорстко закріпленим жорстким приводом



Рис. 9. Модернізований математично-комп'ютерний метод дослідження роботи механізмів та вузлів машини

Методологія синтезу машин має можливість поєднання кількох робочих процесів. Для роторної подрібнювальної машини запропоновано поєднати процес подрібнення матеріалу з функцією вібрації з урахуванням критерію енергоощадності (рис.9) [9]. Для дослідження експлуатаційних властивостей була записана математична модель, особливістю якої є опис роботи асинхронного двигуна і середовища подрібнення, задане у вигляді полінома третього ступеня:

Висновки

На основі припущення: подібні машини структурно описуються подібними диференціальними рівняннями, але параметри рівнянь залежать від умов функціонування машин. Це дало можливість для дослідження експлуатаційних властивостей таких машин використовувати однакові або подібні за структурою математичні моделі.

Представлення зв'язків координат у вигляді графів дозволяє з'ясувати взаємовплив роботи елементів машин і будувати математичні моделі з врахуванням цих зв'язків. Крім того, графи зв'язків дозволяють однозначно визначити необхідну кількість і перелік узагальнених координат, які потрібні для розв'язання конкретної задачі. Застосування таких графів дозволить визначити необхідний і достатній рівень проектованої моделі функціонування машин. Це зменшить витрати часу на створення, налагодження та використання моделі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] И. И. Артоболовский, *Теория механизмов и машин*, 4-е изд. М.: Наука., 1988, 640 с.
- [2] И. И. Артоболовский, «Элементы механизмов. Простейшие рычажные и шарнирно-рычажные механизмы», *Механизмы в современной технике*. М.: Наука, 1979, т. 1, 608 с.
- [3] Л. Б. Левенсон, *Теория машин и механизмов. Кинематика механизмов*, М.: Машгиз, 1954.
- [4] В. В. Дрыгин, *Теория механизмов, детали машин и основы конструирования*. Хабаровск: ДВГУПС, 2007.
- [5] А. М. Щемелев, С. Б. Партнов, Л. И. Белоусов, *Строительные машины и оборудование*. Минск: Новое знание, 2010.
- [6] І. І. Брошак. *Механічні обмежувальні системи: модульне проектування*. Тернопіль: Крок, 2012.
- [7] І. С. Лозовий, Р. В. Зінько, «Структурний аналіз плоских схем автовантажотранспортувальних машин», *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с. 63-67, 2000.
- [8] Л. И. Седов, *Методы подобия и размерности в механике*. М.:Наука, 1977.
- [9] С.С. Кутателадзе, *Анализ подобия и физическое моделирование*. Новосибирск, 1986.
- [10] І. С. Лозовий, Р.В. Зінько, «Графи структуры зв'язків узагальнених координат для автовантажотранспортувальних машин та методика побудови математичних моделей», *Вісник Технологічного університету Поділля*, вип. 1, с. 29-33, 2001.
- [11] Р. В. Зінько, *Морфологічне середовище для дослідження технічних систем*. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014.
- [12] Р. В. Зінько, Л. В. Крайник, О. З. Горбай, *Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин*. Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2019.

Зінько Роман Володимирович – д-р техн. наук, доцент кафедри автомобілебудування, e-mail: rzinko@gmail.com

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

Скварок Юрій Юліанович – канд. техн. наук, доцент кафедри технологічної та професійної освіти, e-mail: y.skvarok@gmail.com

Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич

Мартин Віктор Євгенович – викладач

Львівський державний автомобільно-дорожній коледж, м. Львів.

Поляков Андрій Павлович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: farv@vntu.edu.ua

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

R. Zinko¹
Yu. Skvarok²
V. Martin³
A. Polyakov⁴

Models of work of different technical systems on the basis of the similarity of graphs of their constructions

¹Lviv Polytechnic National University

²Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University

³Automobile and Road Vocational College of Lviv Polytechnic National University

⁴Vinnitsa National Technical University

For the analysis of designs of cars of various designs the idea of application of graphs of such designs is offered. Using structural notation of structural schemes of machines will organize and formalize the widest range of machines, apply the same method of recording them in a mathematical model based on the statement that schemes of structurally similar machines are described by similar differential equations, but the parameters of equations depend on operating conditions.

In the conducted researches the process of analysis of constructive schemes of various machines was chosen as the object, and the subject of researches - methods which will allow to carry out the analysis of the car taking into account its constructive scheme. The task was to create a method of analysis of various structural schemes of machines and the use of the same type of mathematical models. A scientific novelty is the developed method of analysis of various structural schemes of machines and the use of the same type of mathematical models.

Another feature of the proposed technique is that the set of features of the created machine also contains subsets of processes and phenomena in which the machine is involved. This allows you to assess the compliance of the process in which the machine is involved, and the modes of operation of the machine. For more accurate machine reproduction of the technological process, taking into account subsets of processes and phenomena, you can combine several phenomena.

The methodology contains a section that describes the methods of creating new models of technology. Previously, such methods were described only phenomenologically (verbally). The use of predicates allowed to mathematize and organize the algorithms of these methods. This arrangement also makes it possible to classify them and determine the appropriateness of their use to solve certain design problems depending on their complexity.

Another feature of the proposed technique is the use of articulated disjunction, which allows in many qualitative features of the design object on the basis of the selected criterion to reshape these features for the design of new machine designs.

The application of the proposed technique is shown by the example of creating a rotary crushing machine with a crusher on an elastic base and a rigidly fixed rigid drive.

Key words: mathematical models, structural synthesis of mechanisms, graphs of the structure of constructive schemes, graphs of the structure of connections of generalized coordinates, articulated disjunction.

Zinko Roman – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Automotive Engineering, e-mail: rzinko@gmail.com

Skvarok Yuriy – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, department of Technological and Professional Science, e-mail: y.skvarok@gmail.com

Martin Victor – teacher

Polyakov Andriy – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, e-mail: farv@vntu.edu.ua