

## РОЗРОБЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБТ

УДК 629.114.026

Д.О. Волонцевич, Є.О. Веретенніков

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків*

### СИНТЕЗ НОВИХ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ БОРТОВИХ ПЛАНЕТАРНИХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ОСНОВНОГО ТАНКА НА БАЗІ РОЗРОБЛЕНИХ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ДИНАМІЧНОСТІ МАШИНИ

*В роботі на основі аналізу існуючих танкових трансмісій синтезовано нові бортові планетарні коробки передач для основних танків типу Т-64, Т-72, Т-80-УД і Т-84, що частково усувають недоліки серійної коробки передач та поліпшують динаміку розгону. Також за допомогою раніше розроблених авторами інструментів, що дають можливість дослідникові проводити в автоматизованому режимі порівняльний аналіз динамічних якостей транспортного засобу в цілому та якості його трансмісії зокрема, проведено порівняльний аналіз існуючої танкової трансмісії і трансмісії, що запропоновані.*

**Ключові слова:** *військові гусеничні та колісні машини, трансмісії, бортові планетарні коробки передач, критерій якості трансмісії, динаміка, розгін.*

#### Постановка проблеми

Якість сучасних військових гусеничних і колісних машин і особливо бронетанкової техніки оцінюється рівнем їхніх тактико-технічних характеристик. Основними тактико-технічними характеристиками бронетанкової техніки є:

- вогнева міць;
- захищеність екіпажу;
- рухливість на марші і на полі бою.

У свою чергу, рухливість містить у собі, також, і динаміку розгону машини. Багато в чому параметри динамічності розгону можуть визначати живучість машини на полі бою. Тому для військових гусеничних і колісних машин параметри динамічності мають більш високий пріоритет у порівнянні з параметрами паливної економічності і навіть із вимогами з екології до транспортного засобу. Однак зведення динамічності машини до показника питомої потужності далеко не повністю відображає ситуацію, тому що зовсім не кожна машина, що має досить потужний двигун, здатна через структуру і параметри своєї трансмісії у всьому діапазоні швидкостей реалізувати всю цю потужність у вигляді сили тяги.

Таким чином, при виборі машини для постановки на озброєння усередині держави, при закупівлі тих або інших машин на зовнішньому ринку, і, безумовно, при проектуванні нової і модернізації існуючої техніки виникає питання узагальненої порівняльної оцінки показників динамічності військових гусеничних і колісних

машин. Особливо важливим стає питання можливості проведення цього порівняння в автоматизованому режимі в ході оптимізаційних розрахунків.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Короткий аналіз існуючих танкових трансмісій і підходів для аналізу динамічності військових гусеничних й колісних машин показав, що для рішення описаних вище завдань та в теорії автомобіля і в теорії колісних і гусеничних машин звичайно використовуються такі показники, як динамічний фактор і питома сила тяги, час і шлях розгону до заданої швидкості або графік досяжних прискорень [1-3]. Для рішення цієї задачі пропонується від графіка класичного динамічного фактора  $D$  перейти до графіка інтегрального динамічного фактора [4,5].

Що стосується існуючих трансмісій, то у проектуванні моторно-трансмісійних установок основних танків третього і четвертого покоління склалося два основні підходи:

1. Центральні трансмісії з комплексною гідропередачею (гідротрансформатором), механічною планетарною коробкою передач із гідрокеруванням і двопотоковим гідрооб'ємним механізмом повороту, що працюють разом із чотиритактним дизельним двигуном, встановленим поздовжньою осі машини.

2. Бортові механічні планетарні коробки передач із гідрокеруванням, що працюють разом із двотактним дизельним двигуном, встановленим

поперек осі машини або чотиритактним дизельним двигуном, встановленим поздовжньо осі машини.

Перший підхід, завдяки застосуванню гідротрансформатора, полегшує автоматизацію трансмісії і керування машиною, дозволяє дуже плавно нарощувати силу тяги на рушії, що особливо важливо при русі по слабконесучих ґрунтах. Застосування двопотокового гідрооб'ємного механізму повороту полегшує керуваність машиною, дозволяє легко перейти від традиційних важелів керування до штурвала і реалізовувати всі радіуси повороту як фіксовані. Однак він вимагає порівняно більших об'ємів і висоти, що, у свою чергу, збільшує об'єм заброньованого простору і різко збільшує вагу машини, а так само збільшує силует машини, що полегшує її виявлення на полі бою. Цей підхід характерний для всіх виробників танків, крім України і Росії.

Другий підхід дозволяє зробити машину з найбільш компактним моторно-трансмісійним відділенням і з мінімально можливою вагою та габаритами. Одночасно цей підхід утруднює керуваність машиною. Так, на танках Т-64, Т-72, Т-80, Т-80УД, де ще не було встановлено автоматичної системи керування поворотом, органами керування залишалися класичні тракторні важелі і кількість фіксованих радіусів повороту відповідала кількості передач. Крім того, передатні відношення, реалізовані в бортових планетарних коробках передач із трьома ступенями свободи на догоду компактності, далекі від ідеальних і для динамічного розгону та для повороту на фіксованих радіусах. Частково ця проблема була реалізована на російському Т-90 шляхом установки двопотокового гідрооб'ємного механізму повороту та на українській БМ «Оплот» шляхом установки автоматичної системи керування поворотом. Однак передатні відношення без порушення компактності планетарних бортових коробок передач із трьома ступенями свободи скорегувати поки не вдалося.

У цей момент на озброєння української армії прийнятий танк Т-84. На ньому встановлені

планетарні семиступінчасті бортові коробки передач, як у танків Т-64 і Т-72 із трьома ступенями свободи, схема яких представлена на рис. 1.

На рисунку 11, 12, 22 і т.д. – умовні позначки основних (центральної) рухомих ланок коробки передач, осі обертання яких збігаються з віссю коробки. Перша цифра в позначенні ланки вказує положення ланки в планетарному механізмі: 1 – сонячне колесо; 2 – епіциклічне (коронне) колесо; 3 – водило. Друга цифра вказує номер планетарного механізму. Номери механізмів зазначені під зображенням кінематичної схеми.  $\Phi_1, \Phi_2$  і т.д. – фрикціони, що з'єднують рухомі ланки з корпусом коробки або рухомі ланки одна з одною.

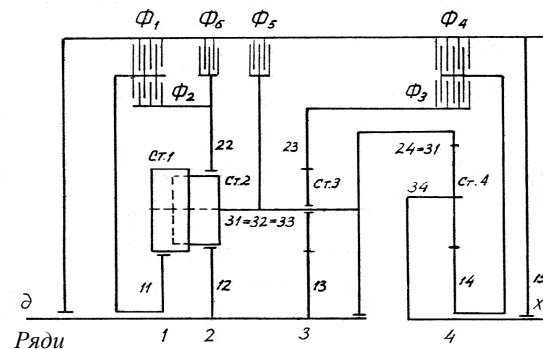


Рис. 1. Кінематична схема планетарної коробки передач танків Т-64 і Т-72

На існуючій коробці передач основні її параметри були отримані виходячи із кращого компонування і зменшення габаритних розмірів, тому вони не дають можливості повністю використати потужність двигуна, що підводиться, при динамічному розгоні. Цей факт наочно ілюструють останні три колонки табл. 1. У табл. 1 під коефіцієнтом розбивки розуміється співвідношення між сусідніми передатними відношеннями, а значення  $q_{ср}(7)$  і  $q_{ср}(6)$  – це знаменники геометричних прогресій ідеальної розбивки при використанні для розгону семи або шести передач відповідно.

Таблиця 1

Порядок включення передач і передатні відношення в планетарній коробці передач танків Т-64 і Т-72

Режим роботи ПКП	Включені фрикціони	Номери працюючих планетарних механізмів	Передатні відношення	Коефіцієнт розбивки	Відхилення від геом. прогресії
Н	$\Phi_4$	–	–	–	–
I	$\Phi_4, \Phi_3$	3, 4	8,170	1,857	30,85%
II	$\Phi_6, \Phi_4$	2, 4	4,399	1,262	-11,08% -6,16%
III	$\Phi_6, \Phi_3$	2, 3, 4	3,486	1,251	-11,85% -6,98%
IV	$\Phi_1, \Phi_4$	1, 2, 4	2,787	1,218	-14,18% -9,43%
V	$\Phi_1, \Phi_3$	1, 2, 3, 4	2,288	1,560	9,92%
VI	$\Phi_2, \Phi_4$	1, 2, 4	1,467		16,0%

Продовження таблиці 1

Режим роботи ПКП	Включені фрикціони	Номери працюючих планетарних механізмів	Передатні відношення	Коефіцієнт розбивки	Відхилення від геом. прогресії
				1,467	$\frac{3,37\%}{9,08\%}$
VIІ	$\Phi_2, \Phi_3$	1, 2, 3, 4	1		
Гальмування	$\Phi_5, \Phi_4$	4	–	$q_{cp(7)}=1,4192$ $q_{cp(6)}=1,3448$	–

В останній колонці наведені відхилення в % від ідеалу, які свідчать не тільки про більші (до 30% при сімох розгінних передачах – у чисельнику і 16% при шести розгінних передачах – у знаменнику) відхиленнях розбивки передаточних чисел від геометричної прогресії, але і про протилежну від необхідної корекції передаточних чисел на вищих передачах. Таким чином, шоста і сьома передачі, призначені, для руху на високих швидкостях, вийшли «відірваними» від основного ряду.

Крім того, існуюча коробка передач має ще один істотний недолік: неможливість від'єднання двигуна від коробки передач на вході для полегшення запуску холодного двигуна.

### Формулювання мети статті

Метою роботи є розробка нових кінематичних схем танкових бортових планетарних коробок передач, що згідно із запропонованими раніше критеріями поліпшують динаміку розгону машини.

### Опис пропонованих коробок передач

На основі аналізу патентної і науково-технічної літератури і, зокрема, завдяки систематизації напрацьованих у світовому транспортному машинобудуванні схем планетарних коробок передач [6], були згенеровані дві кінематичні схеми.

Кінематична схема запропонованої шестиступінчастої коробки передач представлена на рис. 2. Основні параметри і характеристики цієї ПКП наведені в табл. 2.

Кутові швидкості всіх обертових ланок, у тому числі і сателітів (табл. 2), на будь-якій передачі не перевищують 1,75 від вхідної швидкості. Це значно спрощує підбір підшипників.

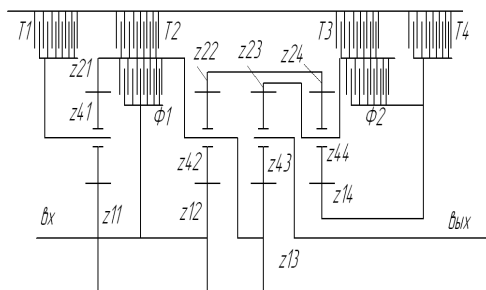


Рис. 2. Кінематична схема запропонованої шестиступінчастої планетарної коробки передач

Слід зазначити, що, незважаючи на часткову зміну схеми компонування, габаритні розміри коробки передач за попередніми міцнісними розрахунками не були збільшені.

Восьмиступінчаста бортова планетарна коробка передач складається з вхідного дільника та трирядної планетарної коробки передач. Кінематичні схеми дільника та коробки передач представлені на рис. 3 та 4 відповідно.

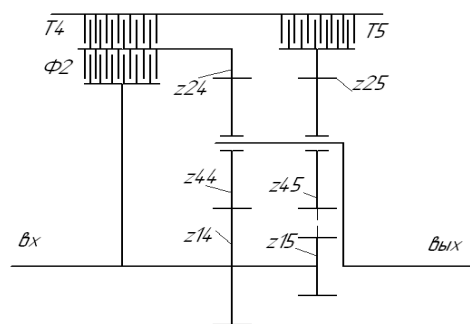


Рис. 3. Кінематична схема дільника

Особливістю даної коробки передач є те, що вона складається із чотириступінчастої планетарної коробки передач із двома ступенями свободи і двоступінчастого вхідного планетарного дільника. Ще однією важливою особливістю запропонованої коробки передач є розбивка передатних відношень за законом геометричної прогресії (табл. 3).

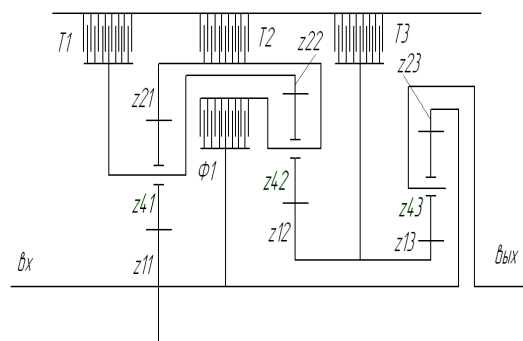


Рис. 4. Кінематична схема коробки передач

Для полегшення сприйняття устрою запропонованої коробки передач спочатку розглянемо окремо чотириступінчасту планетарну коробку передач без вхідного дільника.

Оскільки основна чотириступінчаста коробка має два ступеня свободи, то необхідність одночасно при перемиканні передач обслуговувати чотири бустери на відміну від серійної коробки виникає тільки один раз при переході із четвертої передачі на п'яту, коли одночасно відбувається перемикання і в основній коробці і у вхідному дільнику.

Наявність вхідного дільника також дає можливість запускати двигун при відключених коробках передач. Це особливо важливо при холодному пуску взимку.

Збільшення кількості розгінних передач і розбивка передатних відношень за законом геометричної прогресії дозволяють більш повно використовувати потужність двигуна при розгоні машини, полегшують автоматизацію трансмісії і

сприяють частковому згладжуванню проблеми відповідності радіусів повороту зі швидкістю руху машини навіть без установки автоматизованої системи керування поворотом.

Кутові швидкості всіх обертових ланок, у тому числі і сателітів (табл. 3), на будь-якій передачі не перевищують 0,904 (крім однієї ланки на одній передачі 1,824) вхідної швидкості. Це значно спрощує підбір підшипників.

Крім того, дільник виконує функцію реверса та забезпечує рух машини заднім ходом. Таким чином, немає необхідності встановлювати сучасну складну дворядну бортову передачу та є можливість обмежитися лише однорядною бортовою передачею, що була встановлена ще на танку Т-64, яка є значно простішою та дешевішою у виготовленні.

Таблиця 2

Параметри пропонованої шестиступінчастої коробки передач

Передатні відношення														
$i_1$		$i_2$		$i_3$		$i_4$		$i_5$		$i_6$				
9,33		4,835		3,06		2,04		1,383		1				
Коефіцієнт розбиття сусідніх передач														
$q_1$			$q_2$			$q_3$			$q_4$			$q_5$		
1,93			1,58			1,5			1,475			1,383		
Відносні кутові швидкості зубчастих коліс														
		$\omega_{вх}$	$\omega_{21}$	$\omega_{31}$	$\omega_{22}$	$\omega_{13}$	$\omega_{33}$	$\omega_{41}$	$\omega_{42}$	$\omega_{43}$	$\omega_{44}$	$\omega_{вих}$		
I	T1T4	1	-0,56	0	0,359	0	0,239	1,75	2,178	0,478	0,332	0,107		
II	T1Ф2		-0,556	0	0,359	0,359	0,359	1,75	2,178	0	0,75	0,207		
III	T2T4		0	0,357	0,558	0	0,392	1,125	1,4	0,784	0,164	0,327		
IV	T2Ф2		0	0,357	0,588	0,558	0,588	1,125	1,4	1,116	0,245	0,49		
V	Ф1T4		1	1	1	0	0,667	0	0	1,334	0,139	0,723		
VI	Ф1Ф2		1	1	1	1	1	0	0	0	0	1		
Відносні моменти на вході, виході і фрикціонах														
		$M_{вх}$	$M_{вих}$	MT1	MT2	MT3	MT4	MФ1	MФ2					
I		1	9,330	5,738	0	0	2,592	0	0					
II		1	4,835	3,835	0	0	0	0	2,015					
III		1	3,06	0	1,21	0	0,85	0	0					
IV		1	2,04	0	1,04	0	0	0	0,85					
V		1	1,383	0	0	0	0,384	0,547	0					
VI		1	1	0	0	0	0	0,51	0,417					
Гальм.		0	1	0	0,167	0,833	0	0	0					

Таблиця 3

Параметри пропонованої восьмиступінчастої коробки передач

Передатні відношення																											
$i_1$		$i_2$		$i_3$		$i_4$		$i_5$		$i_6$		$i_7$		$i_8$													
8,215		6,08		4,5		3,333		2,466		1,822		1,35		1													
Коефіцієнт розбиття сусідніх передач																											
$q_1$				$q_2$				$q_3$				$q_4$				$q_5$				$q_6$				$q_7$			
1,351				1,351				1,35				1,351				1,353				1,35				1,35			
Відносні кутові швидкості зубчастих коліс																											
		$\omega_{вх}$	$\omega_{21}$	$\omega_{31}$	$\omega_{12}$	$\omega_{41}$	$\omega_{42}$	$\omega_{43}$	$\omega_{вих}$																		
I	T4T1	1	-0,095	0	-0,389	0,277	0,28	0,549	0,121																		
II	T4T2		0	0,072	-0,223	0,21	0,213	0,417																			

Продовження табл. 3

III	T4T3		0,035	0,046	0	0,234	0,033	0,239	0,222
IV	T4Ф1		0,3	0,3	0,3	0	0	0	0,3
V	Ф2Т1		-0,315	0	-1,291	0,922	0,931	1,828	0,406
VI	Ф2Т2		0	0,24	-0,743	0,701	0,709	1,39	0,548
VII	Ф2Т3		0,115	0,152	0	0,782	0,11	0,798	0,741
VIII	Ф2Ф1		1	1	1	0	0	0	1
Відносні моменти на вході, виході і фрикціонах									
	$M_{вх}$	$M_{вих}$	MT1	MT2	MT3	MФ1			
I	1	8,215	4,882	0	0	0			
II	1	6,08	0	2,747	0	0			
III	1	4,5	0	0	1,167	0			
IV	1	3,333	0	0	0	1,506			
V	1	2,466	1,464	0	0	0			
VI	1	1,822	0	0,823	0	0			
VII	1	1,35	0	0	0,35	0			
VIII	1	1	0	0	0	0,453			

Слід зазначити, що, незважаючи на зміну схеми компонування, габаритні розміри коробки передач за попередніми міцнісними розрахунками не були збільшені.

Доцільність наведених синтезованих схем БКП підтверджується результатами розрахунків, які наведені на рис. 5 та рис. 6.

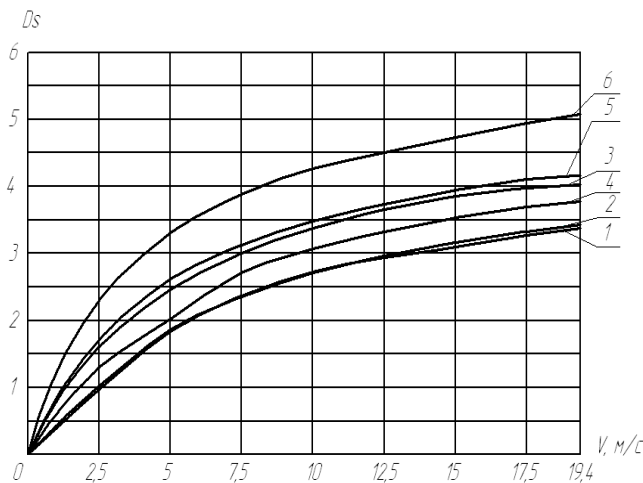


Рис. 5. Графіки інтегрального динамічного фактора машин із серійною і пропонованими коробками передач

1, 2, 4 - графіки інтегрального динамічного фактора машин із серійною і пропонованими шестиступінчастою і восьмиступінчастою коробками передач відповідно при руханні із другої передачі; 3, 5 - при руханні з першої передачі; 6 - інтегральний динамічний фактор ідеальної трансмісії.

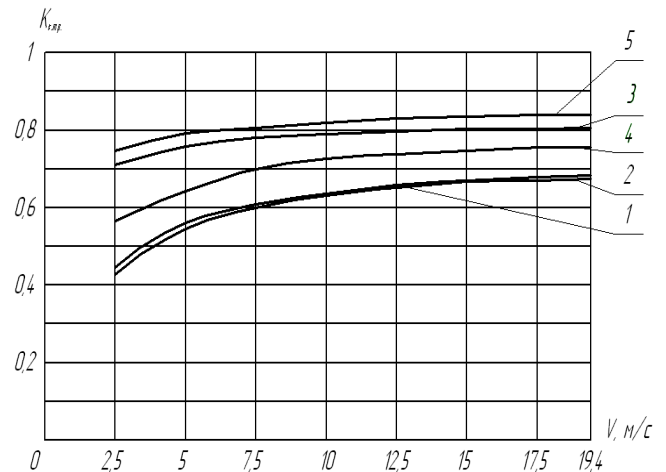


Рис. 6. Графіки критерію якості трансмісії для машин із серійною і пропонованими коробками передач

1, 2, 4 - критерій якості трансмісії для машин із серійною і пропонованими шестиступінчастою та восьмиступінчастою коробками передач відповідно при руханні із другої передачі; 3, 5 - при руханні з першої передачі.

## Висновки

Відповідно до поставлених цілей і завдань за результатами проведеної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Запропонована нова шестиступінчаста бортова планетарна коробка передач для основних танків дозволяє більш повно використовувати підведену від двигуна потужність та забезпечує використання потужності на рівні з серійною коробкою передач. Таким чином, ця схема дозволяє скоротити кількість розгінних передач до п'яти.

2. Запропонована нова восьмиступінчаста бортова планетарна коробка передач для основних танків. Завдяки дільнику на вході полегшується холодний запуск двигуна. Завдяки розбивці

передатних відносин за законом геометричної прогресії полегшується автоматизація трансмісії і керування машиною в повороті навіть без установки автоматизованої системи керування поворотом.

З порівняльного аналізу серійної і нової трансмісії видно, що більш правильно підібрані передаточні числа в новій восьмиступінчастій коробці передач дозволяють більш повно використовувати потужність двигуна при розгоні (на 12% при початку руху із другої передачі і на 6% – з першої). Це дозволяє більш повно використовувати підведену від двигуна потужність, поліпшує динамічні показники машини при розгоні.

### Список літератури

1. Методика расчета тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля на стадии проектирования: Учебное пособие // Д.Е. Вохминов, В.В. Коновалов, В.В. Московкин и др. – М.: МГТУ «МАМИ», 2000. – 43 с.

2. Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. –

М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

3. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.

4. Волонцевич Д.О., Веретенников А.И., Веретенников Е.А., Муцинский Ю.М. Оценка показателей динамичности армейских колесных машин и совершенства их трансмиссий по критерию максимального использования мощности двигателя // Вісник НТУ «ХПІ». Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2009. №47. – С. 80-87.

5. Волонцевич Д.О., Веретенников С.О., Антропов Ю.В. Синтез нової кінематичної схеми бортових планетарних коробок передач основного танку на базі розроблених критеріїв оцінки динамічності машин // Механіка та машинобудування. – №2, 2009. – С. 20-31.

6. Анализ планетарных коробок передач транспортных и тяговых машин / Филликин Н.В. Учебное пособие. Компьютерная версия исправленная и дополненная. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 178 с.

**Рецензент:** д.т.н., проф. М.А. Ткачук, завідувач кафедри ТММ і САПР НТУ "ХПІ", Харків.

### СИНТЕЗ КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМ БОРТОВЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ КОРОБОК ПЕРЕДАЧ ОСНОВНОГО ТАНКА НА БАЗЕ РАЗРАБОТАННЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ДИНАМИЧНОСТИ МАШИНЫ

Д.О. Волонцевич, Е.А. Веретенников

В работе на основе анализа существующих танковых трансмиссий синтезированы новые бортовые планетарные коробки передач для основных танков типа Т-64, Т-72, Т-80УД и Т-84, которые частично устраняют недостатки серийной коробки передач и улучшают динамику разгона. Также с помощью ранее разработанных авторами инструментов, которые дают возможность исследователю проводить в автоматизированном режиме сравнительный анализ динамических качеств транспортного средства в целом и качества его трансмиссии в частности, проведен сравнительный анализ существующей танковой трансмиссии и предлагаемых.

**Ключевые слова:** военные гусеничные и колесные машины, трансмиссии, бортовые планетарные коробки передач, критерий качества трансмиссии, динамика, разгон.

### SYNTHESIS OF KINEMATIC PATTERNS ONBOARD PLANETARY GEARBOXES MAIN TANK ON THE BASIS OF CRITERIA DEVELOPED BY THE DYNAMISM OF THE MACHINE

D. Volontsevych, Ye. Veretennikov

In-process on the basis of analysis existent tank transmissions new side planetary gear-boxes are synthesized for the basic tanks of type of T-64, T-72, T-80UD and T-84, which partly remove the lacks of serial gear-box and improve the dynamics of acceleration. Also by the instruments which enable a researcher to conduct in the automated mode the comparative analysis of dynamic qualities of transport vehicle on the whole and qualities of his transmission in before developed authors.

**Key words:** military tracked and wheeled vehicles, transmission, onboard planetary gearbox, transmission quality criterion, dynamics, acceleration.