

УДК 629.1-46

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_69

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ АВТОМОБИЛЬНЫХ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ

С.А. ГорожанкинORCID: 0000-0001-7093-881X e-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ruДонбасская национальная академия строительства и архитектуры
Макеевка, Донецкая Народная Республика, Россия**Н.В. Савенков**ORCID: 0000-0003-3803-9528 e-mail: n.v.savenkov@donnasa.ruДонбасская национальная академия строительства и архитектуры
Макеевка, Донецкая Народная Республика, Россия**О.О. Золотарев**ORCID: 0000-0002-8631-390X e-mail: o.o.zolotarev@donnasa.ruДонбасская национальная академия строительства и архитектуры
Макеевка, Донецкая Народная Республика, Россия

Разработана аналитическая методика построения рядов передаточных чисел ступенчатых многоблочных автомобильных трансмиссий при их различной конфигурации. Предложены аналитические зависимости для прямого расчета передаточных чисел дополнительных коробок передач с учетом различных законов распределения передаточных чисел основной коробки передач. Предлагаемая методика характеризуется гибкостью в отношении возможности корректирования отдельных передаточных чисел с целью рационального построения ряда общих передаточных чисел трансмиссии при учете: наличия или отсутствия прямой передачи в отдельных агрегатах, количества в них передач переднего хода, наличия заблокированных (невыгодных) передаточных соотношений, желаемого значения передаточного числа главной передачи и т.д. Полученные результаты могут быть применены в образовательной деятельности, например, при выполнении традиционного тягового расчета автотранспортного средства в рамках курсового или дипломного проектирования, а также для решения отдельных инженерных задач по рациональному комплектованию и конфигурированию многоступенчатых многоблочных механических коробок передач автомобилей категории N₃ на этапе проектирования. Приведен пример применения предлагаемой методики.

Ключевые слова: многоблочная коробка передач, механическая ступенчатая трансмиссия, основная коробка передач, делитель, демультипликатор, главная передача, передаточное число, ряд передаточных чисел, выбор передаточных чисел.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Горожанкин, С.А. Аналитическая методика для расчета передаточных чисел автомобильных многоступенчатых механических трансмиссий С.А. Горожанкин, Н.В. Савенков, О.О. Золотарев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 1. С. 69-83. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_69

ANALYTICAL PROCEDURE FOR GEAR RATIO CALCULATION FOR MULTISTEP MECHANICAL TRANSMISSIONS OF MOTOR VEHICLES

S.A. GorozhankinORCID: 0000-0001-7093-881X e-mail: s.a.gorozhankin@donnasa.ruDonbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
Makeevka, Donetsk People's Republic, Russia

N.V. Savenkov

ORCID: **0000-0003-3803-9528** e-mail: **n.v.savenkov@donnasa.ru**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
Makeevka, Donetsk People's Republic, Russia

O.O. Zolotarev

ORCID: **0000-0002-8631-390X** e-mail: **o.o.zolotarev@donnasa.ru**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture
Makeevka, Donetsk People's Republic, Russia

Abstract. The presented are inventions of analytical procedure for composition of gear trains for different configurations of stepped multi-block transmissions of motor vehicles. Analytical dependencies are developed and proposed enabling direct gear ratio calculation for auxiliary gearboxes with regard to different laws of gear ratio distribution in the drive gearbox. The considered procedure allows for flexible adjustments of certain gear ratios in order to efficiently compose common gear trains of transmission with regard to: presence or lack of direct transmission in separate aggregates, number of forward gears within them, presence of locked (disadvantageous) gear ratios, desirable value of drive gearbox ratio, etc. The results obtained may be used both for studying purposes – for example, in performing conventional speed-time-distance calculation for a motor vehicle as part of design work for an or graduation thesis, and for addressing certain engineering tasks for efficient assembling and configuring of multistep multi-block mechanical gearboxes of N_3 motor vehicles at the design stage. Furthermore, an application example for the proposed procedure is given.

Key words: multi-block gearbox, mechanical stepped transmission, drive gearbox, splitter, auxiliary gearbox, drive gear, gear ratio, gear train, gear ratio selection.

FOR CITATION: S.A. Gorozhankin, N.V. Savenkov, O.O. Zolotarev. Analytical procedure for gear ratio calculation for multistep mechanical transmissions of motor vehicles. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 1. Pp. 69-83. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_69

Постановка проблемы

При выборе направления исследования установлено, что в профильной литературе приведены лишь общие рекомендации по построению рядов передаточных чисел (ПЧ) многоступенчатых трансмиссий в соответствии с простейшими зависимостями [1,2]. Что же касается прямых аналитических закономерностей, позволяющих определять передаточные числа дополнительных коробок передач (КП), а также корректировать соответствующие параметры основной КП в соответствии с ее конструктивными особенностями, то они обычно отсутствуют. Это приводит к тому, что на практике, в том числе, при выполнении тягового расчета с целью синтеза рациональных параметров силовой установки автомобиля, приходится определять передаточные числа агрегатов многоступенчатой трансмиссии графическими методами [1] или простым перебором. Под многоступенчатой многоблочной трансмиссией в настоящей работе понимается такая автомобильная механическая ступенчатая трансмиссия, которая имеет несколько установленных последовательно коробок передач – основную и одну или несколько дополнительных (делитель и (или) демультипликатор). Традиционно делитель предназначен для повышения плотности ряда ПЧ трансмиссии. Поэтому обладает сравнительно небольшим диапазоном (сопоставимым с плотностью ряда ПЧ основной КП). При этом обычно агрегат обеспечивает две передачи переднего хода, с нижней прямой передачей и высшей повышающей (ускоряющая, с передаточным числом менее 1), это предохраняет детали основной КП от перегрузки по крутящему моменту. Основное достоинство применения делителя в конструкции – возможность его переключения только при необходимости (например, с целью более полного использования нагрузочно-скоростного диапазона режимов работы двигателя), что упрощает управление автомобилем. Демультипликатором, как правило, называется дополнительная КП многоступенчатой трансмиссии, установленная позади основной КП. Его основное назначение – существенное расширение диапазона ПЧ трансмиссии. Традиционно агрегат обеспечивает две передачи

переднего хода с относительно большим отношением их ПЧ. Основной недостаток – необходимость обязательного переключения на высшую ступень по достижению определенной скорости движения автомобиля, которая, обычно, расположена близко к середине диапазона возможных скоростей движения (исключениями могут быть автомобили повышенной проходимости). Это усложняет управление автомобилем.

Необходимость применения многоступенчатой многоблочной трансмиссии объясняется, как правило, относительно невысокой энерговооруженностью автомобиля, а также необходимостью получения большого диапазона передаточных чисел. Следствием становится усложнение конструкции автомобиля. При этом общее ПЧ многоступенчатой коробки передач определяется выражением (1), которое также в значительной степени ограничивает возможную форму ряда передаточных чисел такой многоблочной КП:

$$U = U_{\text{ДЕЛ}} \cdot U_{\text{КП}} \cdot U_{\text{ДЕМ}}, \quad (1)$$

где $U_{\text{ДЕЛ}}$, $U_{\text{КП}}$ и $U_{\text{ДЕМ}}$ – соответственно текущие ПЧ делителя, основной КП и демультипликатора.

Общее ПЧ такой трансмиссии определяется произведением:

$$U_{\text{T}} = U \cdot U_{\text{Г}} = U_{\text{ДЕЛ}} \cdot U_{\text{КП}} \cdot U_{\text{ДЕМ}} \cdot U_{\text{Г}}, \quad (2)$$

где $U_{\text{Г}}$ – ПЧ главной передачи.

Таким образом, основная цель настоящей статьи – предложить аналитические выражения для прямого расчета передаточных чисел дополнительных коробок передач многоблочной многоступенчатой трансмиссии в соответствии с наиболее распространенными простейшими рядами ПЧ основной КП.

Теоретический анализ

В качестве простейших рядов ПЧ основной КП рассматриваются зависимости (3)-(7): – *геометрическая прогрессия* [2]:

$$U_{\text{КП}(m)} = \sqrt[n_m]{U_{\text{КП}(H)}^{n_m - m} \cdot U_{\text{КП}(B)}^{m-1}}, \quad (3)$$

где $U_{\text{КП}(m)}$ – текущее значение общего ПЧ основной КП при включенной передаче переднего хода с порядковым номером m ; n_m – количество передач переднего хода в основной КП; $U_{\text{КП}(H)}$ – низшее ПЧ основной КП (при $m = 1$); $U_{\text{КП}(B)}$ – высшее (минимальное) ПЧ основной КП (при $m = n_m$);

– *гиперболический ряд (гармонический)* [3]:

$$U_{\text{КП}(m)} = \frac{U_{\text{КП}(H)} \cdot (n_m - 1)}{D_{\text{КП}} \cdot (m - 1) + n_m - m}, \quad (4)$$

где $D_{\text{КП}}$ – диапазон ПЧ основной КП; $D_{\text{КП}} = U_{\text{КП}(H)} / U_{\text{КП}(B)}$;

– *арифметическая прогрессия*:

$$U_{\text{КП}(m)} = \frac{U_{\text{КП}(H)} \cdot (m - n_m) + \frac{U_{\text{КП}(H)}}{D_{\text{КП}}} (1 - m)}{1 - n_m}; \quad (5)$$

– *динамический ряд* [4]:

$$U_{\text{КП}(m)} = \frac{m}{(m - 1)} \cdot U_{\text{КП}(m+1)}; \quad (6)$$

– *прогрессия с переменным знаменателем* [5]:

$$U_{КП(m)} = \sqrt[2]{\varphi^{(m-n_m)(m-1)}} \cdot n_m^{-1} \sqrt{U_{КП(H)}^{n_m-m} \cdot U_{КП(B)}^{m-1}}, \quad (7)$$

где φ – показатель прогрессии, который принимается постоянным при расчете всех значений $U_{КП(m)}$ в пределах одной КП.

При $\varphi = 1$ выражение (7) представляет собой геометрическую прогрессию (с постоянным знаменателем) и позволяет получить результаты, идентичные формуле (3); при $\varphi > 1$ ряд ПЧ КП приближается к гиперболическому ряду, а при $\varphi < 1$ приближается к арифметической прогрессии. Выбор φ в настоящем исследовании рекомендуется осуществлять в соответствии с разработанной диаграммой, которая приведена на рис. 1 (выбираемое значение φ должно находиться выше граничной параболы, соответствующей количеству передач переднего хода КП).

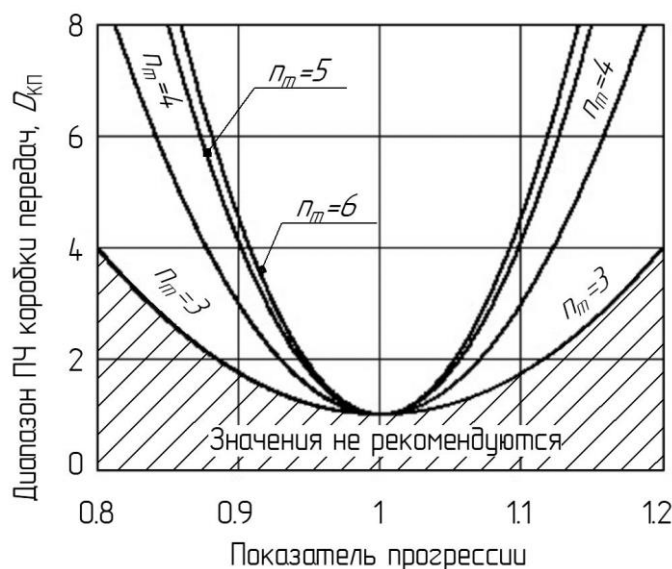


Рис. 1. Рекомендации по выбору показателя прогрессии φ в зависимости от количества передач переднего хода и диапазона ПЧ коробки передач

Fig. 1. Recommendations for choosing φ progression coefficient based on number of forward gears and gear ratio range of a gearbox

Также необходимо отметить, что в настоящее время развиваются более сложные (комплексные) методики по рациональному построению рядов ПЧ, обеспечивающие требуемый баланс между тягово-скоростными и топливно-экономическими эксплуатационными свойствами автомобиля, а также с учетом его экологических качеств и дополнительных частных критериев [6-9]. В общем случае с увеличением плотности ряда передаточных чисел степень влияния принятого закона изменения ПЧ на перечисленные эксплуатационные свойства автомобиля уменьшается [10].

Предлагаемый порядок расчета и оптимизации

Разработанные рекомендации для рационального выбора ПЧ многоблочных многоступенчатых трансмиссий предназначены для их конфигураций, приведенных в табл. 1.

Таблица 1.
Рассматриваемые варианты конфигурирования многоступенчатых трансмиссий

Table 1.
Considered configuration options for multistep transmissions

Конфигурация трансмиссии		Кинематические особенности
1		2
А. Делитель и основная КП		$U_H = U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{КП(Н)}$ $U_B = U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)}$
A1*	Делитель повышающий, высшая передача основной КП прямая	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1, U_{КП(В)} = 1$
A2*	Делитель повышающий, высшая передача основной КП непрямая	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$)
A3	Делитель понижающий, высшая передача основной КП прямая	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1, U_{КП(В)} = 1$
A4	Делитель понижающий, высшая передача основной КП непрямая	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$)
Б. Основная КП и демультипликатор		$U_H = U_{КП(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)}; U_B = U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)}$
B1*	Высшие передачи демультипликатора и основной КП прямые	$U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1, U_{КП(В)} = 1$
B2*	Высшая передача демультипликатора прямая, высшая передача основной КП непрямая	$U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$)
B3**	Высшая передача демультипликатора непрямая, высшая передача основной КП прямая	$U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1, U_{КП(В)} = 1$
B4**	Высшие передачи демультипликатора и основной КП не прямые	$U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$)
В. Делитель, основная КП и демультипликатор (рис. 2)		$U_H = U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{КП(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)}$ $U_B = U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)}$
V1*	Делитель повышающий, высшие передачи \ основной КП и демультипликатора прямые	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1, U_{КП(В)} = 1$ $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1$
V2*	Делитель повышающий, высшая передача основной КП непрямая, высшая передача демультипликатора прямая	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$) $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1$
V3	Делитель понижающий, высшие передачи основной КП и демультипликатора прямые	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1, U_{КП(В)} = 1$ $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1$
V4	Делитель понижающий, высшая передача основной КП непрямая, высшая передача демультипликатора прямая	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$) $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} = 1$
V5**	Делитель повышающий, высшая передача основной КП прямая, высшая передача демультипликатора непрямая	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1, U_{КП(В)} = 1$ $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1.$
V6**	Делитель повышающий, высшие передачи основной КП и демультипликатора не прямые	$U_{ДЕЛ(В)} < 1, U_{ДЕЛ(Н)} = 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$) $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1.$
V7**	Делитель понижающий, высшая передача основной КП прямая, высшая передача демультипликатора непрямая	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1, U_{КП(В)} = 1$ $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1.$
V8**	Делитель понижающий, высшие передачи основной КП и демультипликатора не прямые	$U_{ДЕЛ(В)} = 1, U_{ДЕЛ(Н)} > 1,$ $U_{КП(В)} \neq 1$ (для соосных КП $U_{КП(В)} < 1$) $U_{ДЕМ(Н)} > 1, U_{ДЕМ(В)} \neq 1.$

* – предпочтительные конфигурации; ** – конфигурации при $U_{ДЕМ(В)} \neq 1$ характерны в большей степени для автомобилей повышенной проходимости (оснащенных раздаточной коробкой с несоосным расположением входного и выходного валов); условные обозначения в табл. 1: U_H – низшее ПЧ многоступенчатой КП; U_B – высшее ПЧ многоступенчатой КП; $U_{ДЕЛ(Н)}$ – ПЧ нижней передачи делителя; $U_{ДЕЛ(В)}$ – ПЧ высшей передачи делителя; $U_{ДЕМ(Н)}$ – ПЧ нижней передачи демультипликатора; $U_{ДЕМ(В)}$ – ПЧ высшей передачи демультипликатора.

Для делителя с низшей прямой и высшей повышающей передачами ($U_{ДЕЛ(Н)} = 1$, $U_{ДЕЛ(В)} < 1$ – конфигурации А1, А2, В1, В2, В5, В6, табл. 1), ПЧ высшей передачи предлагается определять на основании зависимости:

$$U_{ДЕЛ(В)} = D_T^{\wedge} \left[\frac{1 - \xi}{\xi + n_{ДЕМ} \cdot n_m - 2} \right], \quad (8)$$

где D_T – диапазон ПЧ трансмиссии ($D_T = U_H / U_B$); $n_{ДЕМ}$ – количество передач в демультипликаторе (для конфигураций А1-А4, $n_{ДЕМ} = 1$; для остальных конфигураций, содержащих 2-х ступенчатый демультипликатор, $n_{ДЕМ} = 2$); ξ – показатель распределения ПЧ многоступенчатой трансмиссии при включенном делителе, табл. 2 (с уменьшением ξ ряд высших передач сближается с рядом низших и наоборот, рис. 3).

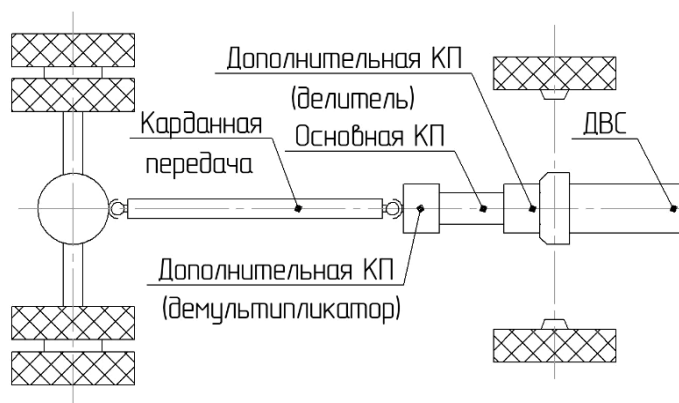


Рис. 2. Схема многоблочной многоступенчатой трансмиссии с делителем и демультипликатором

Fig. 2. Schematic view of a multiblock multistep transmission with a splitter and an auxiliary gearbox

В выражении (8) и далее по тексту работы знак « \wedge » означает возведение в степень. Для понижающего делителя ($U_{ДЕЛ(Н)} > 1$, $U_{ДЕЛ(В)} = 1$, варианты А3, А4, В3, В4, В7, В8, табл. 1) определение $U_{ДЕЛ(Н)}$ может быть выполнено с помощью формулы:

$$U_{ДЕЛ(Н)} = D_T^{\wedge} \left[\frac{\xi - 1}{\xi + n_{ДЕМ} \cdot n_m - 2} \right]. \quad (9)$$

**Таблица 2.
Рекомендации по выбору показателя ξ для многоступенчатой трансмиссии**

**Table 2.
Recommendations for choosing ξ coefficient for a multistep transmission**

Тип ряда ПЧ основной КП	Количество передач, n_m	Рекомендуемое значение ξ	Диапазон допустимых значений ξ
Геометрический	$n_m \geq 3$	1,5	1,25...1,75
Арифметический	3	1,5	1,3...1,7
	4	1,5	1,4...1,6
	5	1,4	1,25...1,5
	6	1,4	1,2...1,5
Гиперболический	$n_m \geq 3$	1,35	1,3...1,4

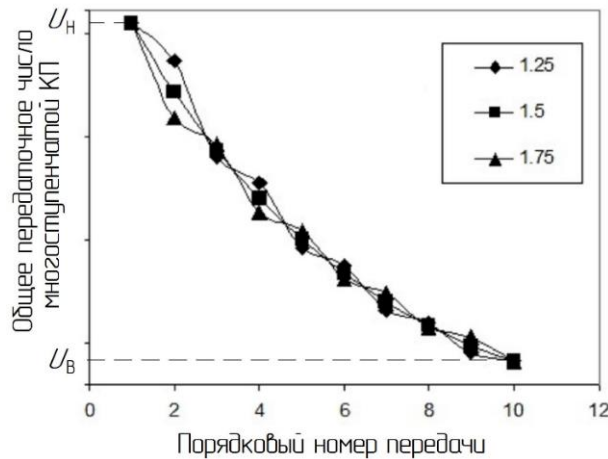


Рис. 3. Влияние показателя ζ на ряд ПЧ многоступенчатой КП (на примере многоступенчатой КП, содержащей основную 5-ступенчатую КП и повышающий делитель)

Fig. 3. Effect of ζ coefficient on gear train of a multistep gearbox (by the example of multistep gearbox containing a 5-step gearbox and a stepping up splitter)

Для многоступенчатых трансмиссий конфигураций Б1-Б4 и В1-В8 (табл. 1) ПЧ нижней ступени демультипликатора может быть определено на основании разработанной зависимости (для конфигураций Б1-Б4 $\zeta = 1$):

$$U_{ДЕМ(Н)} = U_{ДЕМ(В)} \cdot D_T \wedge \left[\frac{n_m \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\zeta + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]. \quad (10)$$

Значение высшего ПЧ демультипликатора $U_{ДЕМ(В)}$ выбирается на основании отдельных конструктивных особенностей многоступенчатой трансмиссии различных конфигураций (табл. 1). Например, для Б1 и Б2, а также для В1-В4 $U_{ДЕМ(В)} = 1$. $U_{ДЕМ(В)}$ для конфигураций Б3, Б4 может быть рассчитано на основании разработанных и приведенных ниже корректирующих зависимостей (т.к. отсутствует делитель, то $\zeta = 1$) – формулы (11)-(14). Также эти зависимости могут быть применены для конфигураций В5-В8. Необходимая для расчета рационального значения $U_{ДЕМ(В)}$ формула выбирается в зависимости от выбранного закона построения ряда ПЧ основной КП:

- при геометрическом ряде ПЧ основной КП:

$$U_{ДЕМ(В)} = n_m^{-1} \sqrt{\frac{U_H^{n_m - m_p} \cdot U_B^{m_p - 1}}{U_{ДЕЛ(Н)}^{n_m - m_p} \cdot U_{ДЕЛ(В)}^{m_p - 1}} \cdot D_T \wedge \left[\frac{n_m \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1) \cdot (m_p - n_m)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\zeta + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]}, \quad (11)$$

где m_p – порядковый номер прямой передачи в основной КП (например, если в основной КП прямой является предпоследняя передача, то $m_p = n_m - 1$);

- при гармоническом ряде ПЧ основной КП:

$$U_{ДЕМ(В)} = \frac{U_H \cdot (n_m - 1)}{D_T \cdot U_{ДЕЛ(В)} \cdot (m_p - 1) + U_{ДЕЛ(Н)} \cdot (n_m - m_p) \cdot D_T \wedge \left[\frac{n_m \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\zeta + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]}; \quad (12)$$

- при арифметическом ряде ПЧ основной КП:

$$U_{ДЕМ(В)} = \frac{1}{1-n_m} \cdot \left[\frac{U_H \cdot (m_p - n_m)}{U_{ДЕЛ(Н)} \cdot D_T \wedge \left[\frac{n_m \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\xi + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]} + \frac{U_B \cdot (1 - m_p)}{U_{ДЕЛ(В)}} \right]; \quad (13)$$

- при ряде ПЧ основной КП, основанном на прогрессии (10):

$$U_{ДЕМ(В)} = \sqrt[2]{\varphi^{(n_m - m_p) \cdot (m_p - 1)}} \cdot n_m^{-1} \cdot \sqrt{\frac{U_H^{n_m - m_p}}{U_{ДЕЛ(Н)}^{n_m - m_p}} \cdot \frac{U_B^{m_p - 1}}{U_{ДЕЛ(В)}^{m_p - 1}} \cdot D_T \wedge \left[\frac{n_m \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1) \cdot (m_p - n_m)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\xi + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]}. \quad (14)$$

Расчет рационального значения $U_{ДЕМ(В)}$ по зависимостям (11)-(14) позволяет как обеспечить соответствие ПЧ прямой передачи основной КП выбранному ряду ее передаточных чисел, так и не прибегать к необходимости корректирования ПЧ главной передачи.

В общем случае диапазон ПЧ основной КП может быть определен из соотношений:

$$D_{КП} = \frac{U_{КП(Н)}}{U_{КП(В)}} = \frac{U_H \cdot U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)}}{U_B \cdot U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)}} = D_T \cdot \frac{U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)}}{U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)}} = \frac{D_T}{D_{ДЕЛ} \cdot D_{ДЕМ}}, \quad (15)$$

где $D_{ДЕЛ}$ – диапазон ПЧ делителя ($D_{ДЕЛ} = U_{ДЕЛ(Н)} / U_{ДЕЛ(В)}$); $D_{ДЕМ}$ – диапазон ПЧ демультипликатора ($D_{ДЕМ} = U_{ДЕМ(Н)} / U_{ДЕМ(В)}$).

Для рационального выбора ПЧ низшей (первой) передачи основной КП рекомендуются разработанные зависимости:

- если для основной КП выбран геометрический ряд ПЧ:

$$U_{КП(Н)} = D_{КП}^{\frac{m_p - 1}{n_m - 1}}, \quad (16)$$

- если для основной КП выбран гиперболический ряд ПЧ:

$$U_{КП(Н)} = \frac{D_{КП} \cdot (m_p - 1) + n_m - m_p}{n_m - 1}. \quad (17)$$

- если для основной КП выбран арифметический ряд ПЧ:

$$U_{КП(Н)} = \frac{1 - n_m}{m_p - n_m + \frac{1 - m_p}{D_{КП}}}. \quad (18)$$

- если для основной КП выбран динамический ряд с предпоследней прямой передачей ($m_p = n_m - 1$):

$$U_{КП(Н)} = D_{КП} \frac{n_m - 2}{n_m - 1}. \quad (19)$$

Полезный эффект от применения зависимостей (16)-(19) аналогичен таковому от зависимостей (11)-(14) в отношении обеспечения соответствия ПЧ прямой передачи основной КП выбранному ряду ее передаточных чисел.

Результаты

Далее приведена последовательность выполнения расчета в соответствии с разработанной методикой (табл. 3-6) и пример выполненного расчета на основании выбранных произвольных исходных данных табл. 7.

Таблица 3.
Последовательность расчета передаточных чисел конфигурации «А»

Table 3.
Procedure for calculation of gear ratios for A configuration

Этап	A1	A2	A3	A4
I	$U_{ДЕЛ(В)}, (8)$	$U_{ДЕЛ(Н)}, (9)$	$U_{ДЕЛ(В)}, (8)$	$U_{ДЕЛ(Н)}, (9)$
II	Расчет диапазона ПЧ основной КП, $D_{КП}, (15)$			
III	Расчет ПЧ нижней передачи основной КП (16)-(19) ¹			
IV	$U_{КП(В)} = 1$	$U_{КП(В)} = 1$	$U_{КП(В)} = U_{КП(Н)} / D_{КП}$	$U_{КП(В)} = U_{КП(Н)} / D_{КП}$
V	Расчет ПЧ промежуточных передач основной КП, (3)-(7)			
VI	Расчет общих ПЧ многоступенчатой КП, (1)			
VII	Корректирование ПЧ главной передачи ²			
VIII	Расчет общих передаточных чисел трансмиссии $U_T, (2)$			
¹ этап, в частности, для случая $m_p < n_m$ позволяет обеспечить принадлежность прямой передачи выбранному ряду ПЧ основной КП; ² скорректированное ПЧ главной передачи $U_{Г(КОР)}$ рассчитывается, если $U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕЛ(В)} \neq$ заданному по условию U_B ; $U_{Г(КОР)} = U_G \cdot U_B / (U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕЛ(В)})$				

Таблица 4.
Последовательность расчета передаточных чисел конфигурации «Б»

Table 4.
Procedure for calculation of gear ratios for B configuration

Этап	Б1	Б2	Б3	Б4
I	Расчет низшего ПЧ демультипликатора $U_{ДЕМ(Н)}, (10)$			
II	$U_{ДЕМ(В)} = 1$	$U_{ДЕМ(В)} = 1$	$U_{ДЕМ(В)}, (11)-(14)$	$U_{ДЕМ(В)}, (11)-(14)$
III	Расчет диапазона ПЧ основной КП, $D_{КП}, (15)$			
IV	(16)-(19) ¹	(16)-(19) ¹	$U_{КП(Н)}^3$	$U_{КП(Н)}^3$
V	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$
VI	Расчет ПЧ промежуточных передач основной КП, (3)-(7)			
VII	Расчет общих ПЧ многоступенчатой КП, (1)			
VIII	Корректирование ПЧ главной передачи ²			
IX	Расчет общих передаточных чисел трансмиссии $U_T, (2)$			
¹ аналогично соответствующей сноске табл. 3; ² скорректированное ПЧ главной передачи $U_{Г(КОР)}$ рассчитывается, если $U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)} \neq$ заданному по условию U_B ; $U_{Г(КОР)} = U_G \cdot U_B / (U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)})$; ³ – выполняется расчет без корректирования ($U_{КП(Н)} = U_N / U_{ДЕМ(Н)}$), т.к. ряд КП уже скорректирован за счет значения $U_{ДЕМ(В)}$				

Таблица 5.

**Последовательность расчета передаточных чисел конфигураций «B1-B4»
(при прямой высшей передаче демультипликатора $U_{ДЕМ(В)}=1$)**

Table 5.

**Procedure for calculation of gear ratios for B1 to B4 configurations (at the forward high gear
of an auxiliary gearbox $U_{AUG(B)}=1$)**

Этап	B1	B2	B3	B4
I	$U_{ДЕЛ(В)}, (8)$		$U_{ДЕЛ(Н)}, (9)$	
II	Расчет низшего ПЧ демультипликатора $U_{ДЕМ(Н)}, (10)$			
III	Расчет диапазона ПЧ основной КП, $D_{КП}, (15)$			
IV	Расчет ПЧ низшей передачи основной КП (16)-(19) ¹			
V	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$
VI	Расчет ПЧ промежуточных передач основной КП, (3)-(7)			
VII	Расчет общих ПЧ многоступенчатой КП, (1)			
VIII	Корректирование ПЧ главной передачи ²			
IX	Расчет общих передаточных чисел трансмиссии $U_T, (2)$			
¹ аналогично соответствующей сноске табл. 3 и 4; ² скорректированное ПЧ главной передачи $U_{Г(КОР)}$ рассчитывается, если $U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)} \neq$ заданному по условию U_B ; $U_{Г(КОР)} = U_G \cdot U_B / (U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)})$				

Таблица 6.

**Последовательность расчета передаточных чисел конфигураций «B5-B8»
(высшая передача демультипликатора непрямая)**

Table 6.

Procedure for calculation of gear ratios for B5 to B8 configurations

Этап	B5	B6	B7	B8
I	$U_{ДЕЛ(В)}, (8)$		$U_{ДЕЛ(Н)}, (9)$	
II	Расчет рационального высшего ПЧ демультипликатора $U_{ДЕМ(В)}, (11)-(14)$			
III	Расчет низшего ПЧ демультипликатора $U_{ДЕМ(Н)}, (10)$			
IV	Расчет диапазона ПЧ основной КП, $D_{КП}, (15)$			
V	$U_{КП(Н)}^3$	(16)-(19) ¹	$U_{КП(Н)}^3$	(16)-(19) ¹
VI	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$	$U_{КП(В)}=1$	$U_{КП(В)}= U_{КП(Н)} / D_{КП}$
VII	Расчет ПЧ промежуточных передач основной КП, (3)-(7)			
VIII	Расчет общих ПЧ многоступенчатой КП, (1)			
IX	Корректирование ПЧ главной передачи ²			
X	Расчет общих передаточных чисел трансмиссии $U_T, (2)$			
¹ аналогично соответствующей сноске табл. 3 и 4; ² скорректированное ПЧ главной передачи $U_{Г(КОР)}$ рассчитывается, если $U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)} \neq$ заданному по условию U_B ; $U_{Г(КОР)} = U_G \cdot U_B / (U_{ДЕЛ(В)} \cdot U_{КП(В)} \cdot U_{ДЕМ(В)})$; ³ – выполняется расчет без корректирования ($U_{КП(Н)} = U_N / (U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)})$).				

В дополнение к данным табл. 3-6 необходимо отметить следующее.

1. Для конфигураций A2, A4, B2, B4, B2, B4, B6 и B8 (при $U_{КП(В)} < 1$) заданное в качестве исходных данных к расчету ПЧ главной передачи возможно в общем случае оставить без корректирования, если в качестве ряда ПЧ основной КП выбрать прогрессию с переменным знаменателем (7), а соответствующее рациональное значение φ рассчитать по формуле:

$$\varphi = U_{КП(Н)}^{\frac{2}{(n_m-1) \cdot (m_p-1)}} \cdot U_{КП(В)}^{\frac{2}{(1-n_m) \cdot (m_p-n_m)}} \quad (20)$$

В ходе этого расчета $U_{КП(Н)}$ определяется в общем случае как $U_{КП(Н)} = U_H / (U_{ДЕЛ(Н)} \times U_{ДЕМ(Н)})$, а $U_{КП(В)}$ как $U_{КП(В)} = U_{КП(Н)} / D_{КП}$. Помимо этого, при расчете также необходимо проверить согласованность показателей φ и ζ по диаграмме, приведенной на рис 3. Нижний предел допустимых значений показателя прогрессии φ (φ_{\min}) рассчитывается по формуле: $\varphi_{\min} = 2 - \varphi_{\max}$; при этом: для конфигураций А1-А4 (в случае $n_m=3$ или $n_m=4$), $\varphi_{\min} = 0,8$, а $\varphi_{\max} = 1,2$; для конфигураций В1-В8 при $n_m=3$ также $\varphi_{\min} = 0,8$, а $\varphi_{\max} = 1,2$.

2. Для многоблочных трансмиссий, имеющих заблокированные сочетания передаточных чисел, например, КП модели МАЗ-239, величины $U_{ДЕМ(Н)}$ и $U_{ДЕМ(В)}$ могут быть рассчитаны при помощи разработанных соотношений (при условии применения в основной КП гиперболического ряда ПЧ):

$$U_{ДЕМ(Н)} = U_{ДЕМ(В)} \cdot D_T \wedge \left[\frac{(n_m - 1) \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\xi + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right], \quad (21)$$

$$U_{ДЕМ(В)} = \frac{U_H \cdot (n_m - 1)}{D_T \cdot U_{ДЕЛ(В)} \cdot (m_p - 1) + U_{ДЕЛ(Н)} \cdot (n_m - m_p) \cdot D_T \wedge \left[\frac{(n_m - 1) \cdot (n_{ДЕМ} \cdot n_m - 1)}{(2 \cdot n_m - 1) \cdot (\xi + n_m \cdot n_{ДЕМ} - 2)} \right]}. \quad (22)$$

3. После выполнения расчета передаточных чисел основной и дополнительных коробок передач следующим шагом необходимо выполнить подбор геометрических параметров зубчатых передач с целью обеспечения приемлемых габаритов редукторов, требуемых запасов прочности деталей (в том числе, валов и подшипников), их ресурса, показателей эффективности рабочего процесса и т.д. Безусловно, механическая ступенчатая КП характеризуется определенной дискретностью в отношении как числа передач, так и возможных значений их передаточных чисел. В выборе значений ПЧ (в пределах одной передачи) она обусловлена показателями геометрии, прочности и долговечности зубчатых передач, применяемых в конструкции. Такие особенности автомобильной КП, как равное для всех зубчатых пар межосевое расстояние, зависимость механических напряжений в зубьях от габаритной длины редуктора и приоритетность компенсации результирующих осевых сил на валах, накладывают определенные ограничения на возможные значения ПЧ. В силу рассмотренных факторов, фактические ПЧ многоступенчатой КП в некоторой степени будут отличаться от значений, рассчитанных по рассмотренной методике.

Таблица 7.

Исходные данные для выполнения расчета

Table 7.

Baseline data for calculation

№	Параметр	Обозначение	Значение
1	Конфигурация трансмиссии	-	В6
2	Низшее ПЧ многоступенчатой КП	U_H	10,5
3	Высшее ПЧ многоступенчатой КП	U_B	0,65
4	Диапазон ПЧ многоступенчатой КП	$D_T = U_H/U_B$	16,15
5	Тип основной КП	-	соосная, трехвальная
6	Количество передач переднего хода в основной КП	n_m	5
7	Тип ряда ПЧ основной КП	-	геометрический
8	ПЧ главной передачи	U_T	5,125

Приведенный ниже пример расчета выполнен для группы исходных данных табл. 7. Этот выбор параметров обусловлен необходимыми для тягового расчета автомобиля исходными данными [2], которые определяются на стадии проработки конструкции – необходимые значения высшего ПЧ коробки передач U_B и ПЧ главной передачи U_T (например, по критерию достижения максимальной скорости при номинальной/максимальной частоте вращения коленчатого вала или по критерию обеспечения крейсерской скорости при заданной частоте вращения коленчатого вала), ПЧ нижней передачи коробки передач U_H (например, по условию преодоления максимального сопротивления при начале движения с учетом контроля буксования или по условию реализации минимальной скорости движения), а также общая схема трансмиссии, количество передач переднего хода, закон построения ряда ПЧ в основной коробке передач.

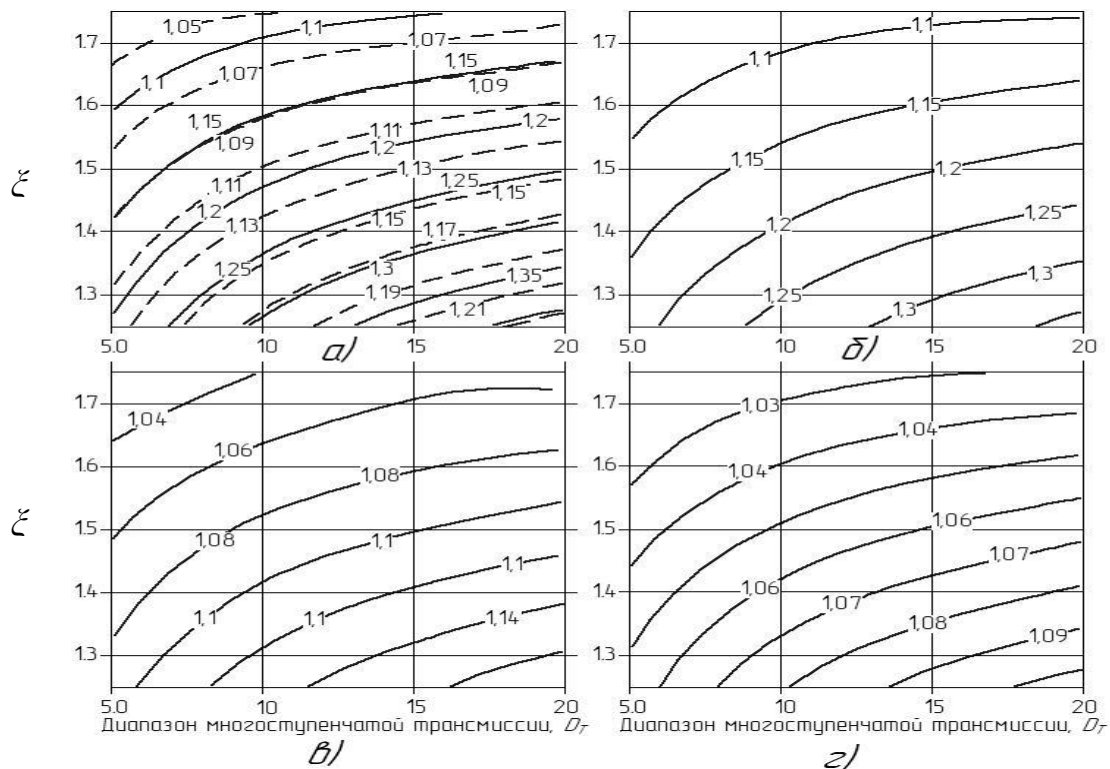


Рис. 3. Зависимость верхнего предела допустимых значений показателя прогрессии φ_{\max} от диапазона многоступенчатой трансмиссии D_T и показателя распределения ПЧ многоступенчатой трансмиссии ζ :

- а) для конфигураций А1-А4 (сплошные линии для $n_m=5$, пунктирные для $n_m=6$);
 б) для конфигураций В1-В8 при $n_m=4$;
 в) для конфигураций В1-В8 при $n_m=5$; г) для конфигураций В1-В8 при $n_m=6$

Fig. 3. Curve for allowed upper limit for progression coefficient φ_{\max} against range of multistep transmission D_T and gear ratio distribution coefficient of multistep transmission ζ :

- а) for A1 to A4 configurations (solid lines for $n_m = 5$, dashed lines for $n_m = 6$); б) for B1 to B8 configurations at $n_m = 4$; в) for B1 to B8 configurations at $n_m = 5$; г) for B1 to B8 configurations at $n_m = 6$

В соответствии с порядком расчета для выбранной в качестве примера конфигурации трансмиссии В6 (табл. 6), расчет выполняется в последовательности:

- этап I, расчет высшего ПЧ делителя $U_{\text{ДЕЛ(В)}}$ по формуле (8); при этом ζ для ряда ПЧ основной КП (геометрическая прогрессия) принимается равным 1,5 (в соответствии с рекомендациями табл. 2); так как конфигурация В6 (табл. 1) содержит демультипликатор, то количество его передач принимаем 2 ($n_{\text{ДЕМ}}=2$);

- этап II, расчет рационального высшего ПЧ демумультипликатора $U_{ДЕМ(В)}$ по формуле (11), так как основная КП имеет геометрический ряд ПЧ; при этом $m_P = 4$, так как для конфигурации В6 прямой является предпоследняя передача основной КП; $U_{ДЕЛ(Н)} = 1$, так как для В6 делитель является повышающим (табл. 1);
- этап III, расчет ПЧ низшей ступени демумультипликатора $U_{ДЕМ(Н)}$ по формуле (10);
- этап IV, расчет диапазона ПЧ основной КП $D_{КП}$ по формуле (15);
- этап V, расчет рационального значения ПЧ низшей передачи основной КП $U_{КП(Н)}$; для расчета может быть применена как корректирующая формула (16), так и зависимость ($U_{КП(Н)} = U_N / (U_{ДЕЛ(Н)} \cdot U_{ДЕМ(Н)})$); это связано с тем, что ранее уже было применена корректирующая формула (11) при расчете $U_{ДЕМ(В)}$;
- этап VI, расчет высшего ПЧ основной КП $U_{КП(В)}$ выполняется по формуле $U_{КП(В)} = U_{КП(Н)} / D_{КП}$;
- этап VII, расчет ПЧ промежуточных передач основной КП осуществляется по формуле (3), так как основная КП имеет геометрический ряд ПЧ.

Соответствующие результаты расчета по этапам I-VII приведены в табл. 8.

Таблица 8.

Результаты расчета ПЧ агрегатов трансмиссии конфигурации В6

Table 8.

Gear ratio calculation results obtained on aggregates of В6 transmission

Агрегат	Делитель		Основная КП, $D_{КП} = 3,227$					Демумультипликатор	
Параметр	$U_{ДЕЛ(Н)}$	$U_{ДЕЛ(В)}$	$U_{КП(Н)}$	$U_{КП(2)}$	$U_{КП(3)}$	$U_{КП(4)}$	$U_{КП(В)}$	$U_{ДЕМ(Н)}$	$U_{ДЕМ(В)}$
Значение	1	0,864	2,4	1,796	1,34	1	0,746	4,361	1,009

Результаты выполнения этапа VIII, расчет общих ПЧ многоступенчатой КП по формуле (1), приведены в табл. 9.

Таблица 9.

Результаты расчета общих ПЧ многоступенчатой КП конфигурации В6

Table 9.

Common gear ratio calculation results obtained on multistep В6 gearbox

В демумультипликаторе включена низшая передача										
Параметр	$U_{(1)}$	$U_{(2)}$	$U_{(3)}$	$U_{(4)}$	$U_{(5)}$	$U_{(6)}$	$U_{(7)}$	$U_{(8)}$	$U_{(9)}$	$U_{(10)}$
Значение	10,5	9,07	7,834	6,767	5,845	5,049	4,361	3,767	3,254	2,811
В демумультипликаторе включена высшая передача										
Параметр	$U_{(11)}$	$U_{(12)}$	$U_{(13)}$	$U_{(14)}$	$U_{(15)}$	$U_{(16)}$	$U_{(17)}$	$U_{(18)}$	$U_{(19)}$	$U_{(20)}$
Значение	2,428	2,097	1,812	1,565	1,352	1,168	1,009	0,871	0,753	0,65

В корректировании ПЧ главной передачи (этап IX) необходимости нет, поскольку заданное (в табл. 6) U_B и рассчитанное значение высшего ПЧ многоступенчатой КП $U_{(20)}$ совпадают; это обусловлено тем, что на II этапе рассчитано и принято рациональное значение $U_{ДЕМ(В)}$ (необходимости в корректировании нет по той же самой причине, как и на этапе V).

На этапе IX расчет общих передаточных чисел трансмиссии выполняется по формуле (2); соответствующие результаты приведены в табл. 10.

Таблица 10.

Результаты расчета общих ПЧ трансмиссии конфигурации В6

Table 10.

Common gear ratio calculation results obtained on B6 transmission

№ передачи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_T	53,81	46,48	40,15	34,68	29,96	25,88	22,35	19,31	16,68	14,41
№ передачи	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
U_T	12,44	10,75	9,28	8,02	6,93	5,98	5,17	4,46	3,86	3,33

Выводы

Разработанная методика расчетов основана на классификации многоблочной многоступенчатой механической трансмиссии с последовательным расположением агрегатов и построении ее по трем группам конфигураций (А, Б, В) и 16-ти конфигурациям (табл. 1). Она включает применение предложенных зависимостей для:

- 1) определения передаточных чисел делителя (8), (9);
- 2) расчета передаточных чисел демультипликатора (10)-(14), включая зависимости для их рационального выбора (11)-(14);
- 3) выбора рационального низшего передаточного числа основной коробки передач (16)-(19);
- 4) корректирования ряда передаточных чисел за счет применения прогрессии с переменным знаменателем (20);
- 5) расчета рациональных передаточных чисел демультипликатора многоступенчатой коробки передач с блокировкой невыгодных передаточных соотношений (21)-(22).

Кроме того, методика позволяет: выполнять прямой аналитический расчет передаточных чисел дополнительных коробок передач, принимать различные законы построения рядов ПЧ основной КП в зависимости от количества передач переднего хода, а также учитывать введенный в расчет показатель распределения передаточных чисел в делителе ζ .

Результаты предназначены для дополнения общей теории автомобиля и теории эксплуатационных свойств, а также применения в образовательных и инженерных целях при конфигурировании и выборе параметров многоступенчатых многоблочных механических коробок передач автомобилей категории N₃.

Библиографический список

1. **Дьяков, И.Ф.** Ступенчатые и планетарные коробки передач механических трансмиссий / И.Ф. Дьяков, В.А. Кузнецов, В.И. Тарханов. – Ульяновск: УлГТУ, 2003. – 120 с.
2. **Литвинов, А.С.** Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
3. **Токарев, А.А.** Гиперболический ряд передаточных чисел трансмиссии / А.А. Токарев // Автомобильная промышленность. 1975. № 10. С.16-18.
4. **Куликов, Н.К.** Динамический ряд передаточных чисел коробки передач / Н.К. Куликов // Автомобильная промышленность. 1958. № 12. С. 19-22.
5. **Newman, K.** Modeling the Effects of Transmission Gear Count, Ratio Progression, and Final Drive Ratio on Fuel Economy and Performance Using ALPHA / K. Newman and P. Dekraker // SAE Technical Paper. 2016. 01-1143.
6. **Адясов, А.Ю.** Разработка методики выбора передаточных чисел трансмиссии автомобиля на основе рационального сочетания тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и токсичности выхлопных газов: дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 / Адясов Александр Юрьевич. Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2002. – 200 с.

7. **Блохин, А.Н.** Разработка методики поиска рациональных передаточных чисел трансмиссии с учетом эксплуатационных свойств и назначения автомобиля: дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 : защищена 28.12.06 / Блохин Александр Николаевич. Нижегородский государственный технический университет. – Нижний Новгород, 2006. – 256 с.
8. **Русаков, С.С.** Разработка методики оптимизации передаточных чисел механической ступенчатой трансмиссии легкового автомобиля с учетом режимов работы его двигателя: дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 : защищена 18.05.07 / Русаков Сергей Сергеевич. Ижевский государственный технический университет. – Ижевск, 2007. – 134 с.
9. **Савенков, Н.В.** Метод выбора передаточных чисел силовой установки автомобиля категории N_1 на основе ездового цикла: дис. ... канд. тех. наук : 05.05.03 : защищена 06.06.17 / Савенков Никита Владимирович. Моск. автомобил.-дорож. гос. техн. ун-т (МАДИ). – Москва, 2017. – 206 с.
10. **Heisler Heinz.** Advanced Vehicle Technology / H. Heisler. – Butterworth-Heinemann, 2002. – 663 p.

*Дата поступления
в редакцию: 20.10.2022*

*Дата принятия
к публикации: 03.03.2023*