

## Имитационное моделирование работы трансмиссии трактора МТЗ-82 в среде Simulink

*М.В. Сидоров<sup>1</sup>, В.Н. Сидоров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Калужский филиал «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», Калуга*

<sup>2</sup>*Калужский филиал «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Калуга*

**Аннотация:** Приведены результаты исследования работы трансмиссии трактора МТЗ-82 на различных передачах. Для автоматизации расчетов при исследовании применено имитационное моделирование в среде Simulink.

**Ключевые слова:** трансмиссия, трактор, имитационное моделирование, среда Simulink.

### Введение

При проведении актуальных исследований динамических процессов машинно-тракторных агрегатов (МТА) при выполнении технологических операций появляется острая потребность в моделировании отдельных агрегатов и узлов, а также изменение заданной передачи в процессе моделирования [1, 2]. Имитационное моделирование, получившее в последнее время широкое распространение в среде Simulink позволяет воспроизвести наглядно и достаточно просто любой агрегат или узел, входящий в состав МТА [3-4].

### Материалы и методы

Одним из узлов, имеющих наиболее многочисленные вариации выходных значений, является трансмиссия трактора [5]. Понижающий редуктор и коробка передач с редуктором трактора МТЗ-82 позволяют получать восемнадцать вариантов изменения числа пар зацеплений. Все шестерни, входящие в трансмиссию трактора МТЗ-82 приведены на рис. 1, а их количество зубьев в таблице 1.

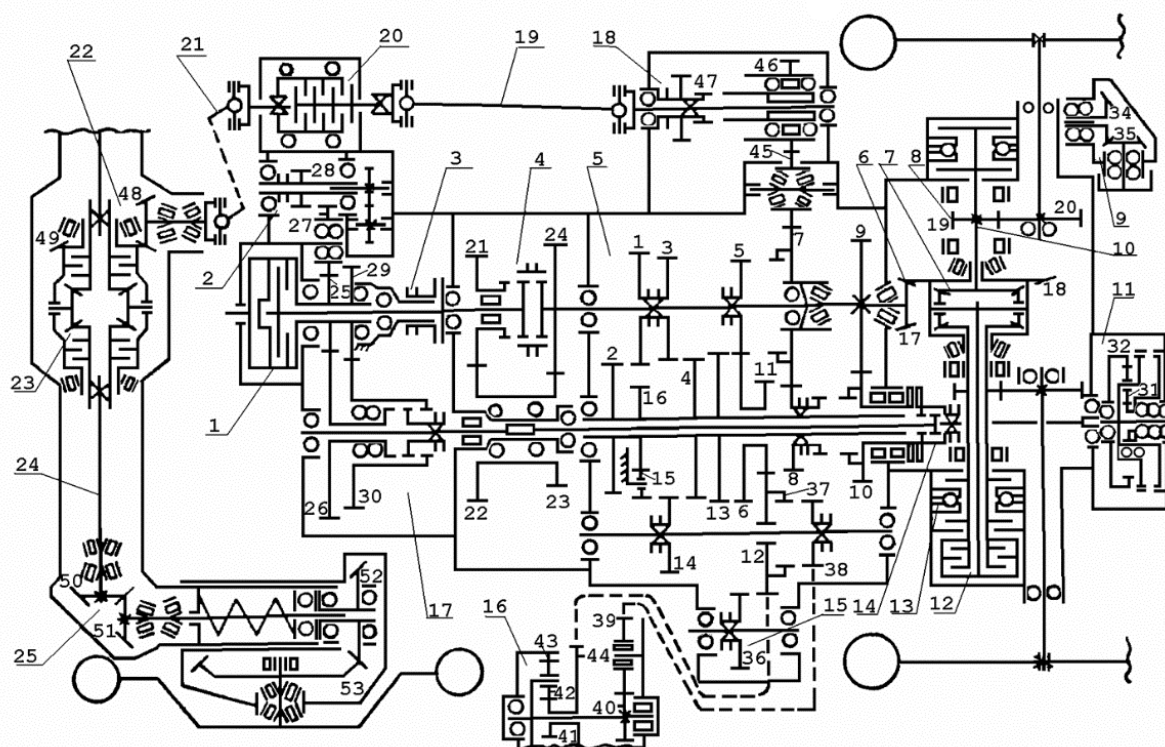


Рис. 1. – Кинематическая схема трансмиссии трактора МТЗ-82

Таблица № 1

Шестерни трансмиссии трактора МТЗ-82, входящие в зацепление по передачам и количество их зубьев

Передача	Шестерни, входящие в зацепление															
	Шестерни	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Число зубьев	27	38	24	40	21	43	45	20	37	28	26	32	43	17	31	
Шестерни	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Число зубьев	19	12	41	13	69	30	35	30	34	18	47	27	25	26	38	
Шестерни	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44		
Число зубьев	16	63	30	22	14	37	20	20	25	10	18	15	48	31		

Для моделирования в среде Simulink разобьем рассматриваемый участок трансмиссии на четыре подсистемы (рис. 2) [6-8]: а) подсистема gear\_1 – понижающий редуктор-удвоитель числа передач (рисунок 1), с помощью него можно крутящий момент передавать через редуктор (подсистема gear\_11) или минуя его (подсистема gear\_h1). На выходе из

подсистемы gear\_1 будут значения, соответствующие режимам: редуктор включен – 1 и редуктор выключен - 2; б) подсистема gear\_2 – понижающий редуктор коробки передач, с помощью которого можно включить понижающий ряд (подсистема gear\_12) или повышающий ряд (подсистема gear\_2). На выходе будут значения, соответствующие режимам: включен редуктор коробки передач с подключением 1, 3, 4 и 5 передач – 1 и соответственно с переключением 2, 6, 7 и 8 передач - 2; в) подсистема gear\_3 – имитирует переключение каретки первичного вала для соединения напрямую с вторичным валом или для включения рабочего ряда передач. На выходе из подсистемы gear\_3 будут значения, соответствующие режимам: подключены 1 - 8 передачи – 1 и подключена прямая 9 передача - 2; г) подсистема gear\_4 – имитирует работу четырехступенчатого редуктора коробки передач, с помощью которого переключаются попарно передачи с первой по восьмую. На выходе из подсистемы gear\_4 будут значения, соответствующие режимам: подключены 1 и 2 передачи – 1; 3 и 6 передачи – 2; 4 и 7 передачи – 3; 5 и 8 передачи – 4.

Для автоматизированного определения передаточных чисел и КПД трансмиссии трактора смоделированы подсистемы itr\_Transmissin и ktr\_Transmissin (рис. 3) [9-10].

Подсистема itr\_Transmissin включает в себя ряд подсистем (рис. 4.1): а) подсистема gear ratio 1 – при входном сигнале равном 1 выдает передаточное число подключенного понижающего редуктора, при значении 2 - передаточное число, равное единице; б) подсистема gear ratio 2 – при входном сигнале, равном 1, выдает передаточное число понижающего ряда редуктора коробки передач, при значении 2 - передаточное число повышающего ряда; в) подсистема gear ratio 3 – при входном сигнале, равном 1, выдает передаточное число передач от 1 до 8 с учетом всех включенных редукторов и при значении 2 - передаточное число 9; г) подсистема gear ratio

---

4 – выдает передаточное число четырехступенчатого редуктора коробки передач, соответственно при входном сигнале равном 1– 1 и 2 передач, при 2 –3 и 6 передач, при 3 – 4 и 7 передач и при 4 – 5 и 8 передач; д) в данном блоке определяется полное передаточное число трансмиссии с учетом главной передачи и бортовых редукторов.

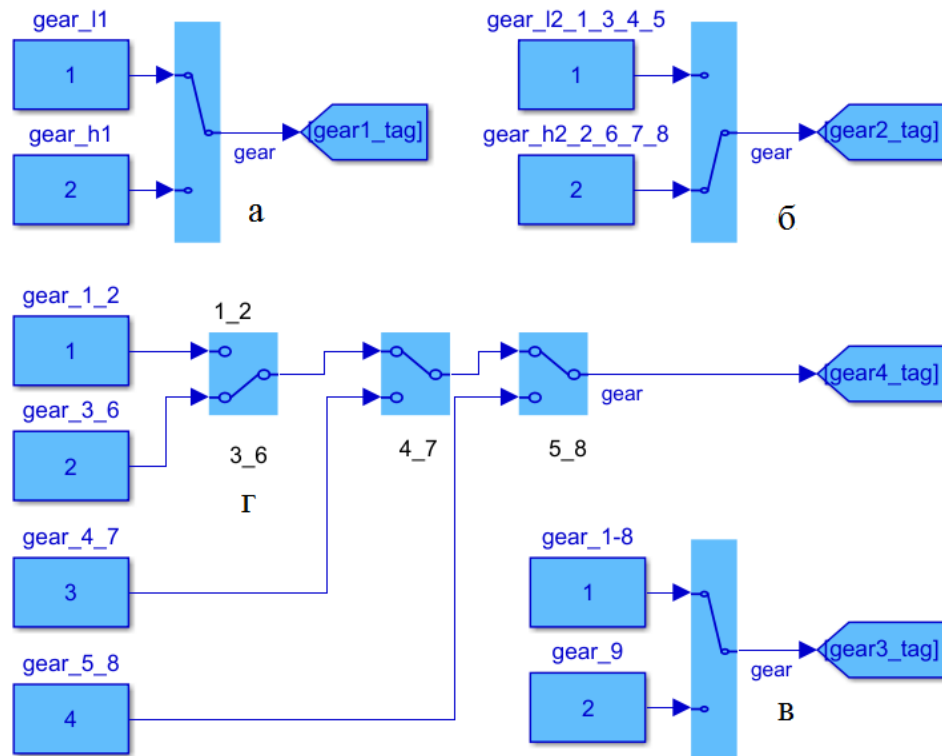


Рис. 2. – Подсистема переключения понижающего редуктора и коробки передач в среде Simulink

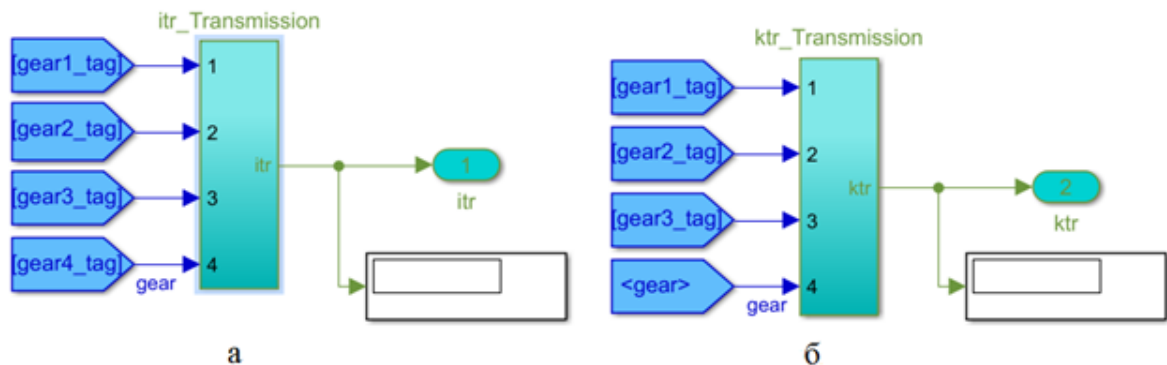


Рис. 3. – Подсистемы модели трансмиссии трактора МТЗ - 82:  
 а - подсистема itr\_Transmissin;  
 б - подсистема ktr\_Transmissin

Подсистема  $ktr\_Transmissia$  включает в себя такие подсистемы, как (рис. 4.2): а) подсистема gear ratio 1 – при входном сигнале, равном 1, выдает КПД подключенного понижающего редуктора, при значении 2 – КПД, равное единице; б) подсистема gear ratio 2 – при входном сигнале, равном 1, выдает КПД понижающего ряда редуктора коробки передач, при значении 2 – КПД повышающего ряда редуктора коробки передач; в) подсистема gear ratio 3 – при входном сигнале, равном 1, выдает КПД передач от 1 до 8 с учетом всех включенных редукторов и при значении 2 – КПД 9 передачи; г) подсистема gear ratio 4 – выдает КПД четырех ступенчатого редуктора коробки передач соответственно при входном сигнале, равном 1 – 1 и 2 передач, при 2 – 3 и 6 передач, при 3 – 4 и 7 передач и при 4 – 5 и 8 передач; д) в данном блоке определяется полное КПД трансмиссии с учетом главной передачи и бортовых редукторов.

В последнем блоке д) подсистема  $ktr\_Transmissia$  общий КПД трансмиссии определяется по формуле:

$$\eta_{тр} = \eta_1 \cdot K_{N1} + \eta_2 \cdot K_{N2},$$

где  $K_{N1}, K_{N2}$  – коэффициенты передачи мощности от двигателя до ведущих колес соответственно первого и второго мостов, при этом  $K_{N1} + K_{N2} = 1$ ;  $\eta_1, \eta_2$  – КПД участка трансмиссии от двигателя до ведущих колес соответственно первого и второго мостов.

КПД участка трансмиссии от двигателя до ведущих колес соответственно одного из мостов определяется по известному выражению:

$$\eta_i = (1 - \zeta) \cdot \eta_{hi},$$

где  $\zeta$  – коэффициент, учитывающие потери холостого хода;  $\eta_{hi}$  – КПД, учитывающие потери от нагрузки.

---

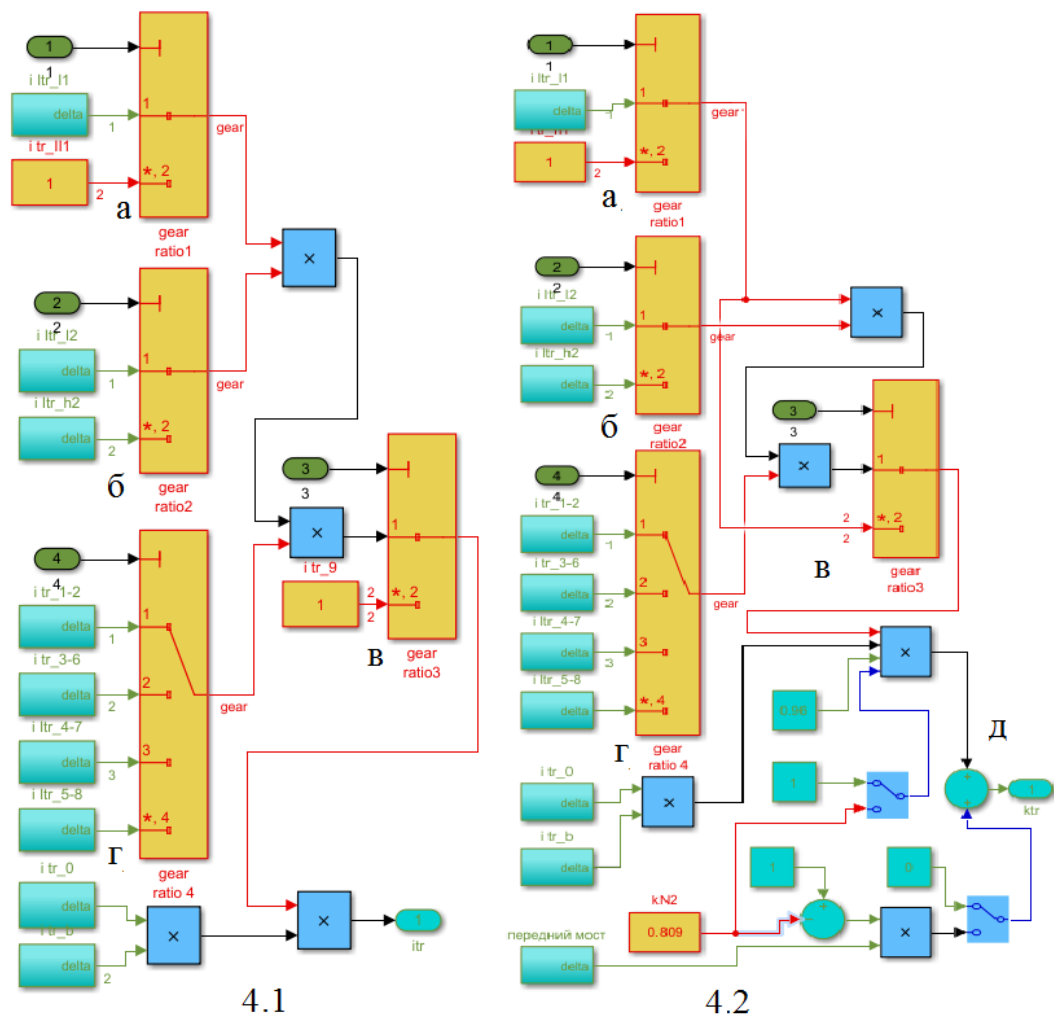


Рисунок 4 – Структура подсистем модели трансмиссии трактора МТЗ - 82:

- 4.1 - подсистема itr\_Transmissin;
- 4.2 - подсистема ktr\_Transmissin

Расчет передаточных чисел рассмотрим на примере подсистемы itr\_11 понижающего редуктора с шестернями 22/21 и 24/23 (рис. 4.1), которая включает блоки постоянных значений, равных количеству зубьев шестерен, входящих в зацепление и блоков арифметических действий: деление и умножение. Данный блок воспроизводит расчет передаточного числа понижающего редуктора:

$$U_p = U_{p1} U_{p2}, U_{p1} = z_{22}/z_{21} \text{ и } U_{p2} = z_{24}/z_{23},$$

где  $U_{p1}, U_{p2}$  - передаточные числа с ведущего на ведомый вал понижающего редуктора и с ведомого вала понижающего редуктора на первичный вал коробки передач;  $Z_{22}, Z_{30}, Z_{24}, Z_{23}$  – число зубьев шестерен понижающего редуктора (рис. 1).

Расчет КПД рассмотрим на примере подсистемы  $itr\_11$  понижающего редуктора с шестернями 22/21 и 24/23 (рис. 4.2), которая включает блоки постоянных значений КПД пар шестерен, входящих в зацепление и блока умножения. Данный блок воспроизводит расчет КПД понижающего редуктора под нагрузкой:

$$\eta_{hi} = \eta_{ц}^n \cdot \eta_{к}^m,$$

где  $\eta_{ц}$  – КПД цилиндрической пары шестерен;  $\eta_{к}$  – КПД конической пары шестерен;  $n, m$  – количество пар шестерен соответственно цилиндрических и конических шестерен.

**Результаты исследований.** С помощью рассмотренной модели в среде SIMULINK были получены значения передаточных чисел и КПД трансмиссии на каждой передаче с использованием редуктора и без него (таблице 2).

Таблица № 2

Результаты расчетов передаточных чисел и КПД трансмиссии трактора МТЗ-82

Привод задних колес	Передача	Передаточные числа:		КПД:	
		без редуктора / с редуктором	без редуктора / с редуктором	без редуктора / с редуктором	без редуктора / с редуктором
	1	242	319,9	0,669	0,603
	2	142,1	187,9	0,669	0,603
	3	83,55	110,5	0,741	0,669
	4	68	89,92	0,741	89,92
	5	57,43	75,93	0,741	0,669
	6	49,06	64,88	0,741	0,669

---

---

	7	39,94	52,81	0,741	0,669
	8	33,73	44,59	0,741	0,669
	9	18,13	23,98	0,821	0,741

Разработанная в среде SIMULINK модель трансмиссии трактора МТЗ-82 позволяет для необходимых передач получать значения передаточных чисел и КПД трансмиссии трактора МТЗ-82, а также наглядно демонстрировать принцип расчета передаточных чисел и КПД трансмиссии. Предлагаемая модель трансмиссии трактора МТЗ-82 может использоваться как отдельно, так и в составе более сложной программы, позволяющей моделировать динамические процессы трактора.

### Литература

1. Поливаев О.И., Гребнев В.П., Ворохобин А.В. Теория трактора и автомобиля: учебник. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 232 с.
2. Кутьков Г.М. Тяговая динамика трактора. М.: Машиностроение, 1980. 215 с.
3. Полковникова Н.А. Научные и инженерные расчёты в среде Matlab: учебное пособие. М.: Изд-во «МОРКНИГА», 2019. 143 с.
4. Кулаев Н.А., Зубко П.С. Использование динамического программирования для повышения энергоэффективности гибридных транспортных средств // Инженерный вестник Дона. 2019. № 9. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6177](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6177)
5. Darus Rosheila Binti Modeling and control of active suspension for a full car model. A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Electrical – Mechatronics and Automatic Control). 2008.
6. Жилейкин М.М., Котиев Г.О. Моделирование систем транспортных средств: учебник. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 280 с.



7. Документация MATLAB. URL: [docs.exponenta.ru/documentation-center.html](https://docs.exponenta.ru/documentation-center.html).
8. Сидорова А.В., Степин П.И., Сидоров В.Н. Имитационное моделирование колебаний центра масс колесной машины с помощью программы Simulink // Инженерный вестник Дона. 2020. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395).
9. Заруцкий С.А., Власенко Е.А. Автоматизация анализа данных экспериментальных исследований // Инженерный вестник Дона. 2018. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753)
10. Imine H., Delanne Y., M'Sirdi N.K. Road profile input estimation in vehicle dynamics simulation // Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2006, 44:4, pp. 285-303.

### References

1. Polivaev, O.I., Grebnev V.P., Vorohobin A.V. Teorija traktora i avtomobilja: uchebnik [Tractor and car theory]. Sankt-Peterburg: Lan', 2016. 232 p.
  2. Kut`kov G.M. Tyagovaya dinamika traktora. M.: Mashinostroenie, 1980. 215 p.
  3. Polkovnikova N.A. Nauchnye i inzhenernye raschjoty v srede Matlab: uchebnoe posobie [Scientific and engineering calculations in Matlab environment] M.: Izd-vo «MORKNIGA», 2019. 143 p.
  4. Kulaev N.A., Zubko P.S. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 9. URL: [URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6177](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N9y2019/6177)
  5. Darus Rosheila Binti Modeling and control of active suspension for a full car model. A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the degree of Master of Engineering (Electrical – Mechatronics and Automatic Control). 2008.
-



6. Zhilejkin M.M., Kotiev G.O. Modelirovanie sistem transportnyh sredstv: uchebnyk [Simulation of vehicle systems]. M.: Izdatel'stvo MGTU im. N.Je. Baumana, 2018. 280 p.
7. Dokumentacija MATLAB: URL:[exponenta.ru/documentation-center.html](http://exponenta.ru/documentation-center.html).
8. Sidorova A.V., Stepin P.I., Sidorov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2020/6395).
9. Zaruckij S.A., Vlasenko E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2018. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4753)
10. Imine H., Delanne Y., M'Sirdi N.K. Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 2006, 44:4, pp. 285-303.