

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УНИФИКАЦИИ ТРАНСМИССИЙ ТРАКТОРОВ «БЕЛАРУС» МТЗ

ЕМЕЛЬЯНОВИЧ И. В.

Академия управления при Президенте Республики Беларусь

Среди многих направлений инвестирования в промышленное производство особое место занимает инвестирование в модернизацию выпускаемой продукции. Это особенно важно в условиях финансовых затруднений, вызванных снижением экономической активности на рынках сбыта, свойственных нынешнему времени. Прежде всего в модернизации нуждается продукция, технический уровень которой датируется многолетней давностью. Так, из запланированного на 2009 г. объема выпуска трансмиссий самых массовых тракторов тягового класса 1,4 мощностью 80–100 л. с. 79 % занимали устаревшие трансмиссии 18×4 с переключением передач подвижными шестернями, спроектированные в 60–70-е гг. прошлого столетия. На синхронизированные трансмиссии приходится только 21 %. Тракторы 800-й серии с трансмиссиями 18×4 испытывают наибольшие затруднения при их реализации на рынках.

Модернизация позволяет оперативно отреагировать на потребности рынков сбыта и относительно меньшими затратами улучшить потребительские свойства продукции. Это подтверждает многолетний опыт МТЗ по выпуску как совершенно новой, так и модернизируемой продукции. Особенность модернизируемой продукции – ее высокий уровень конструкторской и технологической унификации и типизации с предыдущими моделями. Эффект от своевременной модернизации продукции при оптимальном уровне ее унификации оперативно проявляется как у производителя, так и у потребителя [1]. У производителя – это сокращение сроков и снижение стоимости конструкторско-технологической подготовки производства за счет увеличения массовости выпуска унифицированных узлов и деталей, использования типовых и унифицированных технологических процессов и технологической оснастки, высокого уровня их качества и надежности.

Из опыта планомерной унификации и типизации в отечественном тракторостроении видно, что наиболее объективно оценивается уровень унификации по себестоимости унифицированных деталей и узлов [2]

$$K_{уст} = \frac{\Sigma C_{ун}}{C_{сум}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $C_{ун}$, $C_{сум}$ – себестоимость производства унифицированных деталей и суммарная стоимость всех деталей изделия.

Для более объективной оценки унификации нами введена дополнительно оценка по коэффициенту K_{yto} унификации по стоимости технологической оснастки

$$K_{yto} = \frac{\Sigma C_{yo}}{C_o} \cdot 100,$$

где ΣC_{yo} – суммарная стоимость технологической оснастки для изготовления унифицированных деталей; C_o – стоимость технологической оснастки изготовления всех деталей.

Для выявления связи уровня унификации с технико-экономическими показателями производства нами выполнен анализ унификации трансмиссий, их себестоимости и стоимости технологической оснастки для их изготовления. Выбор трансмиссий как объекта исследований обусловлен тем, что трансмиссия является наиболее сложным и трудоемким агрегатом колесного трактора. На ее долю приходится от 17 до 27 % отпускной цены трактора, основная масса расхода легированных сталей. В эксплуатации на ее долю приходится основное количество отказов 3-й группы сложности, трудоемкость техобслуживания и ремонта тракторов, расхода запчастей. Экономика производства и эксплуатации колесных тракторов во многом определяется затратами на производство и эксплуатацию их трансмиссий, и в первую очередь трансмиссий самых массовых тяговых классов – 1,4; 2 и 3 мощностью 80–150 л. с.

В табл. 1 приведены данные по количеству деталей трансмиссий (в том числе оригинальных и унифицированных), их себестоимости, стоимости технологической оснастки для их изготовления и объему производства за 2009 г.

Таблица 1

Показатели унификации трансмиссий тракторов «Беларус» типовых классов 1,4–3

Номер трансмиссии	Количество деталей			Стоимость деталей, руб.			Стоимость оснастки, руб.			Коэффициент унификации, %			Программа выпуска, шт.
	всех Z_c	оригинальных Z_o	унифицированных Z_y	всех C_c	оригинальных C_{op}	унифицированных C_{oy}	всех C_{oc}	оригинальных C_{oo}	унифицированных C_{oy}	по количеству деталей K_y	по стоимости деталей, $K_{уст}$	по стоимости оснастки $K_{уто}$	
70-0002000	266	262	4	6265511	5754334	511177	10321531899	10132280842	189251057	1,5	8,15	1,83	1500
72-0002000	267	145	122	6312201	4007102	2305099	9996187068	7852918851	2143268217	45,7	36,5	21,4	1550
74-0002000	353	126	227	7302565	2506981	4795584	11189607870	6309296256	4880311624	64,3	65,7	43,6	90
74-0002000/15	356	62	294	7404806	1706673	5698133	11240538678	4472447764	6768090914	82,6	76,95	60,2	24
78-0002000/1	368	71	297	7399952	1452032	5947920	11174300808	3952007358	7222293450	80,7	80,4	64,6	558
78-0002000/6	367	37	330	7470851	1232528	6238323	10937736988	2059496792	8878240196	89,9	83,5	81,17	60
78-0002000/13	386	21	365	7952309	1401793	6550516	11261133647	2117941971	9143191676	94,6	82,4	81,2	346
78-0002000/62	371	60	311	7417032	1659632	5757400	11486008431	4452966038	7033042393	83,8	77,6	61,2	743
78-0002000/64	371	60	311	7417032	1659632	5757400	11486008431	4452966038	7033042393	83,8	77,6	61,2	915
78-0002000/69	364	61	303	7456933	1663873	5793060	11370092159	4452966038	6917126121	83,2	77,7	60,08	913
80-0002000	267	124	143	6357918	2586357	3771561	9762153953	6287031425	3475122528	53,6	59,3	35,6	363
80-0002000/2	267	124	143	6357918	2586357	3771561	9762153953	6287031425	3475122528	53,6	59,3	35,6	1832

При унификации в пределах одного семейства тракторов (унификация по «горизонтали») заметной разницы в себестоимости не выявлено. У трансмиссий 70/72 и 80/80, выполненных по одной и той же схеме (18×4), себестоимость изменяется от 6,26 до 7,0 млрд руб. При этом большему уровню унификации соответствует большая себестоимость. Аналогичная закономерность наблюдается у трансмиссий 74-го и 78-го семейств тракторов 900 серии. Модификации трансмиссий внутри одного семейства отличаются между собой и количеством деталей и объемом выпуска. Так, трансмиссия 82-0002000/2 общим количеством деталей 275 шт. выпускается в объеме 10463 шт., а трансмиссия 82-0002000/61 с количеством деталей 277 шт. и таким же уровнем унификации производится в объеме 150 шт. При этом себестоимость второй на 2 % выше первой.

Трансмиссия 74-0002000/15 (356 деталей, $K_{уст} = 79,95$ % производится серией 24 шт., а трансмиссия 78-0002000/64 (371 дет., $K_{уст} = 77,6$ %) – в объеме 915 шт. Их себестоимость практически равная.

Трансмиссия 923-0002000 (382 дет., $K_{уст} = 73,8$ %) имеет объем производства 781 шт., трансмиссия 923-0002000/4 (398 дет., $K_{уст} = 90,7$ %) производится в объеме только

2 шт. Себестоимость второй выше первой в 1,33 раза.

В табл. 2 приведены средние расчетные стоимости одной детали трансмиссий C_d как отношение суммарной стоимости C деталей (всех, оригинальных и унифицированных) к их численности:

$$C_d = \frac{C}{Z}. \quad (2)$$

Независимо от общего количества деталей в трансмиссии и уровня их унификации средняя стоимость одной детали внутри семейства за исключением трансмиссий 80X и 82P практически одинакова. Трансмиссии 80X и 82P являются трансмиссиями специализированных тракторов и имеют в своей кинематической схеме дополнительные бортовые редукторы, и поэтому средняя стоимость их одной детали выше.

При модернизации унифицированных трансмиссий для передачи более высоких мощностей (с 80 до 150 л. с.) и внедрения новых средств переключения передач (синхронизаторов, фрикционных муфт и др.) увеличивается общая численность их деталей и снижается программа их выпуска. При этом себестоимость трансмиссий резко увеличивается.

Таблица 2

Средняя себестоимость деталей трансмиссий и их технологической оснастки

Номер трансмиссии	Стоимость деталей трансмиссии, руб.			Стоимость технологической оснастки, руб.		
	по всем деталям $C_{ср}$	оригинальные, $C_{срор}$	унифицированные $C_{сру}$	по всей оснастке, $C_{срос}$	оригинальные, $C_{срор}$	унифицированные, $C_{сру}$
70-0002000	23555	21963	127794	38802752	38672828	47312764
72-0002000	23641	27635	18894	37438903	54158061	17567772
74-0002000	20687	19897	21126	31698606	50073780	21499170
74-0002000/15	20800	27527	19381	31574547	72136254	23020717
78-0002000/1	20109	20451	20027	30364948	55662075	24317486
78-0002000/6	20357	33312	18904	29803098	55662075	26903758
78-0002000/13	20602	66752	17947	29173921	100854380	25049840
78-0002000/62	19992	27661	18513	30959591	74216101	22614284
78-0002000/64	19992	27661	18513	30959591	74216101	22614284
78-0002000/69	20486	27277	19119	31236517	72999443	22828799
80-0002000	23812	20858	26375	36562374	50701866	24301556
80-0002000/2	23812	20858	26375	36562374	50701866	24301556
82-0002000	23303	27746	18347	36792632	53627531	18015245
82-0002000/2	23326	22937	23581	35821076	54998216	23228857
82-0002000-001	23411	22659	23685	34980701	53706381	28154591
82-0002000-013	22403	24165	21929	33432915	62599065	25584995
82-0002000/61	23411	22659	23685	34980701	53706381	28154591
82-0002000/66	23411	22659	23685	34980701	53706381	28154591

Трансмиссия 72-0002000 (267 дет., $K_{уст} = 36,5\%$) при объеме производства 1550 шт. имеет себестоимость в 6,312 млрд руб., а трансмиссия 1523-0002000 (546 дет., $K_{уст} = 65,6\%$) при объеме производства 1378 шт. имеет себестоимость 21,602 млрд руб., или в 3,42 раза больше. Особенно резко возросла себестоимость трансмиссии 1525 с переключением передач фрикционными муфтами. У этой трансмиссии при унификации $K_{уст} = 65,6\%$ и объеме производства 25 шт. себестоимость в 1,67 раза выше, чем у трансмиссии 1523. Сравнение объемов выпуска трансмиссий различных схем приведено в табл. 3.

При сравнении трансмиссий с разными объемом производства, количеством деталей и передаваемой мощностью однозначно выяснить влияние унификации на себестоимость производства трансмиссии не представляется возможным.

Косвенно влияние унификации на себестоимость изготовления можно выявить по удельной себестоимости трансмиссий C_y и средней удельной себестоимости одной детали $C_{ду}$, при-

ходящихся на единицу номинальной мощности трактора N :

$$C_y = \frac{C}{N} \text{ и } C_{ду} = \frac{C_{лср}}{N}. \quad (3)$$

Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 3

Сравнение объемов выпуска в 2009 г. тракторов различных серий

Серия	Объем выпуска	
	шт.	% к годовому производству тракторов
800 (трансмиссия 18×4)	26041	65
900 (трансмиссия 14×4)	4797	11,95
1000 (трансмиссия 14×4) синхро	379	0,94
1000 (трансмиссия 16×8) синхро	2032	5
1200 (трансмиссия 16×8) синхро	5465	13,62
1500 (трансмиссия 16×8) синхро	1378	3,43
1500 (трансмиссия 16×8) фрик. муфты	25	0,06

Таблица 4

Удельная себестоимость изготовления трансмиссий и средняя удельная себестоимость одной детали

Номер трансмиссии	Удельная себестоимость C_y , руб./кВт	Средняя удельная себестоимость одной детали $C_{дy}$, руб./кВт	Коэффициент унификации по стоимости $K_{уст}$, %
1	2	3	4
70-0002000	105130	395,2	8,15
72-0002000	105910	396,7	36,5
74-0002000	111660	316,3	65,7
74-0002000/15	113220	318	76,95
78-0002000/1	113150	307,5	80,4
78-0002000/6	114230	311,25	83,5
78-0002000/13	121590	315	82,4
78-0002000/62	113410	305,7	77,6
78-0002000/64	113410	305,7	77,6
78-0002000/69	114020	313,2	77,7
80-0002000	106680	399,5	59,3
80-0002000/2	106680	399,5	59,3
82-0002000	107520	391	37,2
82-0002000/2	107620	391,3	61
82-0002000-001	108810	392,8	74,1
82-0002000-013	118780	375,9	77,1
82-0002000/61	108800	392,8	74,1
82-0002000/66	108800	392,8	74,1
80X-0002000	214410	693,9	69,2
80P-0002000	193400	657,8	45,9
92П-0002000	108336	341,7	80,4
923-0002000	123923	324,4	73,8
923-0002000-02	123923	324,4	73,8

Себестоимость изготовления детали параболически зависит от объемов производства, особенно это касается сложных деталей с высокой трудоемкостью изготовления [2]. В табл. 5 и на рис. 1 в качестве примера приведена зависимость себестоимости от объема производства для некоторых трудоемких и металлоемких тракторных деталей.

Зависимость себестоимости от объемов выпуска

Вид деталей	Себестоимость при объеме выпуска, %										
	1 А	2 А	3 А	4 А	5 А	10 А	20 А	30 А	40 А	50 А	100 А
Трудоемкие	100	74	65	61	58	53	50,6	49,7	49,3	49	48,5
Металлоемкие	100	82	76	73	71,2	67,6	65,8	65,2	64,9	64,7	64,3

В табл. 5 величина А – минимальный уровень серийности, различный для разного типа деталей, график на рис. 1 построен для $A = 10$ [2]. Из таблицы и графика видно, что с некоторого объема производства (примерно 50 А) се-

бестоимость производства детали практически не понижается. Поэтому для достоверной экономической оценки унификации необходимо в будущем определить такую зависимость для основных типов деталей трансмиссии – зубчатых колес, валов, корпусных деталей и др.

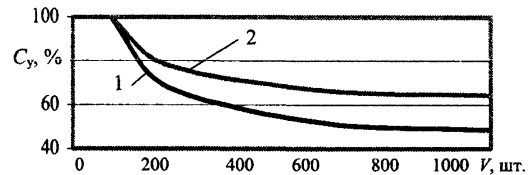


Рис. 1. Зависимость себестоимости C_y от объемов выпуска V : 1 – трудоемкие; 2 – металлоемкие

Унификация в типоразмерном ряду трансмиссий, равно как и унификация в типоразмерном ряду тракторов, должна предусматриваться на ранних стадиях проектирования при разработке кинематических и компоновочных решений. В первую очередь на возможность унификации должны прорабатываться наиболее сложные и трудоемкие детали с высокой себестоимостью. Корпусные детали, являющиеся одновременно элементами остова трактора, должны унифицироваться на трансмиссиях смежных классов. Итоговая оценка уровня унификации проводится по себестоимости изготовления деталей и стоимости их оснастки. Поиск решений по унификации необходимо направлять на повышение потребительских свойств тракторов и сопровождать оптимизацией структуры трансмиссий и их скоростных рядов, а также технико-экономическим анализом принятых решений.

Постановка новых тракторов на производство требует разработки на каждую оригинальную деталь новых технологических процессов

и новой технологической оснастки. Таблица 5 Это в свою очередь требует больших временных, трудовых и финансовых затрат. Стоимость технологической оснастки в сотни и тысячи раз может превышать стоимость изготавливаемых с помощью этой оснастки одного комплекта деталей трансмиссий.

В табл. 1 приведена стоимость технологической оснастки по всем производимым трансмиссиям, на рис. 2 – соотношение себестоимости деталей трансмиссий базовых моделей

и стоимости технологической оснастки для их изготовления.

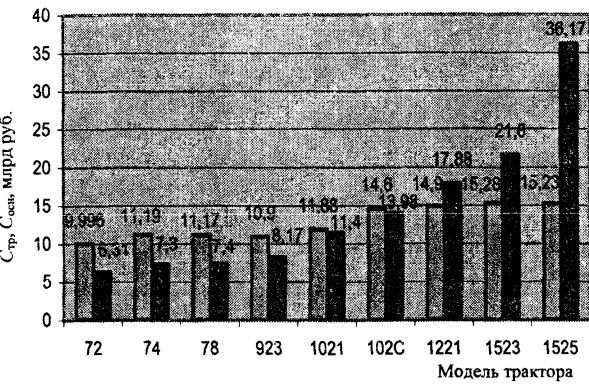


Рис 2. Соотношение себестоимости деталей трансмиссий $C_{тр}$ базовых моделей и стоимости технологической оснастки $C_{осн}$ для их изготовления

Для моделей трансмиссий 70/72, 80/82, 74, 78, 923 и 1021 стоимость оснастки находится практически на одном уровне. По мере увеличения количества деталей в трансмиссии стоимость оснастки возрастает, но темпы роста ее стоимости ниже темпов роста себестоимости деталей. Так, себестоимость деталей трансмиссий при повышении мощности с 80 до 150 л. с. возрастает в 5,7 раза, стоимость же оснастки увеличивается только в 1,5 раза. Это значит, что стоимость оснастки не зависит от объема выпуска деталей трансмиссии, передаваемой деталями мощности, а зависит только от их количества. Чтобы выявить, как изменяется сравнительная стоимость технологической оснастки разных моделей тракторов, определена средняя стоимость оснастки для изготовления одной детали по формулам:

$$C_{оср} = \frac{C_o}{Z_c}; \quad (4)$$

$$C_{оср} = \frac{C_{ор}}{Z_{ор}}; \quad (5)$$

$$C_{уср} = \frac{C_y}{Z_y}, \quad (6)$$

где $C_{оср}$, $C_{оср}$, $C_{уср}$ – средняя стоимость технологической оснастки для изготовления одной детали трансмиссии, одной оригинальной детали и одной унифицированной детали соответ-

ственно; Z_c , $Z_{ор}$, Z_y – количество всех деталей трансмиссии, всех оригинальных и всех унифицированных.

Результаты расчета приведены в табл. 2. Из таблицы видно, что средние стоимости технологической оснастки по всем деталям по мере освоения новых моделей трансмиссий снижаются. Так, для трансмиссий 70/72 и 80/82 средняя стоимость технологической оснастки одной детали составляет 38,8–36,5 млн руб., для трансмиссий 74/78 – 31,7 млн руб., а для трансмиссии 1523 – 27,99 млн руб.

Средняя стоимость унифицированной оснастки в 1,5–4,0 раза ниже стоимости оригинальной оснастки. Эта закономерность заметна для большинства трансмиссий кроме трансмиссий 70 и 102С. Трансмиссия 70-0002000 принята за базу отсчета унификации, так как ее предшественница трансмиссия 50-0002000 давно снята с производства. Абсолютное большинство деталей трансмиссии 70-0002000 представлено как оригинальных и только 1,5 % деталей – как унифицированных.

У трансмиссий модели 102С средняя стоимость унифицированной оснастки выше стоимости оригинальной, равно как и средняя стоимость унифицированных деталей этой трансмиссии выше стоимости оригинальных деталей. Приведенные данные указывают на то, что в первом случае унификацией охвачены более простые детали, требующие простой оснастки, а у трансмиссий 102С унификацией охвачены более сложные детали, требующие для изготовления сложной оснастки.

В сельскохозяйственном машиностроении известна методика технико-экономической оценки уровня унификации машин [3]. Методика основана на зависимости уровня унификации от относительной экономической эффективности, за которую принято отношение годового экономического эффекта $\mathcal{E}_r$ от внедрения машины к ее отпускной цене $\Pi_{от}$

$$K_y = 100e^{-a \frac{\mathcal{E}_r}{\Pi_{от}}}, \quad (7)$$

где e – основание натуральных логарифмов; a – эмпирический коэффициент,

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\ln 100 - \ln K_{yi}}{\frac{\Xi_r}{\Pi_{от}}} \quad (8)$$

Однако эта методика широкого распространения в отрасли не получила. Так, по данным НАТИ конца 1970-х гг., для тракторной отрасли $a \approx 4,87$ [4]. По имеющимся данным МТЗ, коэффициент a можно подсчитать по двум сравниваемым серийным тракторам 510 и 512. Годовой экономический эффект трактора 512 по сравнению трактором с 510 составил $\Xi_r = 43816$ руб. при его цене 14437000 руб. и унификации его с предшественником $K_y = 97\%$

$$a = \frac{\ln 100 - \ln 97}{\frac{43816}{14437000}} = 10,036. \quad (9)$$

Значения a , по данным НАТИ и МТЗ, отличаются в два раза. По этой причине выражением (8) необходимо пользоваться для ориентировочных расчетов.

В условиях рыночной экономики народнохозяйственный экономический эффект не определяется, отпускная цена не рассчитывается в плановом порядке с учетом интересов производителя и покупателя, а определяется конъюнктурой рынков сбыта. Современные цены на тракторы на рынках на 65 % зависят от мощности двигателя.

С математической точки зрения, технико-экономическая оценка уровня унификации серийно производимых машин представляет собой задачу линейного программирования с несколькими переменными. В нашем случае в качестве переменных выступают коэффициент унификации $K_{уст}$, количество выпускаемых изделий в год Z_r , себестоимости унифицирован-

ных $C_{ду}$ и оригинальных $C_{пор}$ деталей. Однако на данный момент готовые математические модели технико-экономической эффективности изделий при различной величине упомянутых факторов еще не созданы. Это задача ближайшего будущего.

ВЫВОДЫ

Выполненный технико-экономический анализ унификации трансмиссий позволяет сделать следующие выводы:

- уровень унификации трансмиссий наиболее достоверно оценивать по себестоимости изготовления унифицированных деталей и стоимости их технологической оснастки;
- с целью получения большего эффекта от унификации в первую очередь необходимо унифицировать детали, влияющие на основные компоновочные решения, и с более высокой себестоимостью изготовления;
- уровень унификации изделий и их технико-экономическая эффективность представляют собой задачу линейного программирования с несколькими переменными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование универсально-пропашных тракторов / И. П. Ксенович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1980.
2. Котляр, Э. И. К вопросу об определении уровня унификации / Э. И. Котляр // Тракторы и сельхозмашины. – 1971. – № 2.
3. Трофимов, В. А. Техничко-экономическая оценка уровня унификации машин / В. А. Трофимов, С. В. Барамзин // Стандарты и качество. – 1977. – № 3.
4. Геряев, И. П. Методика обоснования нормативов уровней унификации тракторов и двигателей / И. П. Геряев // Тракторы и сельхозмашины. – 1979. – № 11.

Поступила 22.02.2010