

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ НОВЫХ ПРОФИЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ КОЛЕС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

На прикладі порівняння двох типів профілів продемонстровано застосування методів економічної оцінки технічного проекту.

На примере сравнения двух типов профилей продемонстрировано применение метода экономической оценки технического проекта.

On the example of comparison of two types of profiles an application of the method of economical assessment of a technical project is demonstrated.

При рассмотрении возможности использования того или иного технического проекта, как правило, в первую очередь, оценивают технические аспекты, но для принятия правильного решения следует также оценивать новый проект и с учетом экономической эффективности, тем более в такой сложной и многофункциональной отрасли, как железнодорожный транспорт.

Так, в сравнительно недавно вышедшей книге [1], авторами которой являются ученые, представляющие Международную ассоциацию тяжеловесного движения, отмечается, что помимо технических аспектов, характеризующих систему «колесо-рельс», имеются и очень важные экономические аспекты. В процессе обоснования технических решений, отмечают эти авторы, необходимо принять во внимание результаты экономического анализа с учетом предполагаемых затрат и ожидаемого эффекта.

В работах [2, 3] впервые предложен метод, позволяющий на стадии, предшествующей изготовлению опытных образцов, дать экономическую оценку мероприятий, связанных с внедрением в эксплуатацию колес с новым типом профиля поверхности катания.

Ниже, на примере рассмотрения движения полувагона, как наиболее распространенного типа подвижного состава, приведены расчеты по оценке экономических показателей, относящихся к стандартному и предлагаемому профилям поверхности катания колеса. В качестве последнего взят профиль типа МИНТЕК лишь потому, что ранее для него был вычислен ряд параметров.

Экономическую оценку следует выполнять лишь при условии, что в предлагаемом варианте показатели, характеризующие безопасность

движения поезда, соответствуют нормативам и превосходят те, что присущи профилю-эталону. В рассматриваемом случае эти условия выполнены [3].

Для предварительной экономической оценки рассматриваемых профилей поверхности катания колес достаточно сравнить затраты, связанные с их ресурсом, ресурсом рельсов и энергозатратами на тягу поездов при использовании конкретного профиля.

Ресурс колес, рельсов и энергозатраты на тягу поездов рекомендуется вычислять, используя понятие работы A сил трения на площадках контакта гребней колес и боковой поверхности наружного рельса, отнесенной к пройденному вагоном пути L [5]:

$$A = \frac{1}{L} \int_0^L \vec{F} \vec{\varepsilon} ds, \quad (1)$$

где \vec{F} – вектор силы взаимодействия гребня колеса и головки рельса;

$\vec{\varepsilon}$ – вектор относительного проскальзывания гребня колеса по рельсу.

Величина A определяется путем математического моделирования пространственных колебаний грузового вагона при его движении по рельсовому пути (см., например, [4, 5]).

Для выполнения сравнительных расчетов примем следующие исходные данные и допущения:

- единственной причиной попадания колес в обточку является износ гребня;
- расходы, связанные с изготовлением колес и их стоимостью как металлических изделий, и расходы, связанные с технологическими процессами при их смене и обточке (выпрессовка колеса, напрессовка на ось нового

колеса, монтаж буксового узла) и прочие – одинаковы;

- все полувагоны на сети железных дорог оснащены колесами, которые в одном случае имеют стандартный профиль поверхности катания, а в другом – предлагаемый;

- одинаковы расходы, связанные с заменой в кривых 1 км рельсов, по которым в одном случае предполагается эксплуатация вагонов, колеса которых имеют стандартный, а в другом случае – предлагаемый профиль;

- показатель износа Π , равный работе сил трения A , определяется лишь при движении гребня колеса по боковой поверхности головок наружных рельсов радиусом от 300 до 1000 м, где износ оказывается наибольшим;

- при проведении тяговых расчетов величина показателя износа Π оценивается дополнительным сопротивлением движению от кривизны пути W_r [6].

1. Экономическая оценка затрат, связанных с изменением ресурса колес

В работе [3] показано, что отношение ресурса колес с предлагаемым профилем \bar{R}_2 к ресурсу колес со стандартным профилем \bar{R}_1 , с учетом соответствующего количества n обточек за жизненный цикл колеса, равно

$$\frac{\bar{R}_2}{\bar{R}_1} = \frac{A_1}{A_2} \cdot \frac{[a]_2}{[a]_1} \cdot \frac{[H]_2/h_2 + 1}{[H]_1/h_1 + 1}, \quad (2)$$

где $[a]_1$ и $[a]_2$ – предельно допустимые в эксплуатации величины износа гребней, устанавливаемые соответственно для колес с профилями 1 и 2; h_1 и h_2 – вызванные обточкой величины технологического износа гребней, соответствующие колесам 1 и 2; $[H]_2 = [H]_1$ – наибольшие допускаемые в эксплуатации значения h , при достижении которых колеса исключаются из эксплуатации.

В рассматриваемом случае $[a]_1 = 8$ мм, $[a]_2 = 5$ мм, $[H]_2 = [H]_1 = 45$ мм, $h_1 = 16$ мм, $h_2 = 7,5$ мм, поэтому

$$\frac{\bar{R}_2}{\bar{R}_1} = 1,15 \cdot \frac{A_1}{A_2} = 1,15 \cdot \frac{\Pi_1}{\Pi_2}. \quad (3)$$

Согласно [6], значения отношения A_1/A_2 , найденные путем математического моделирования движения поезда по криволинейным участкам пути с различными радиусами R , приведены в табл. 1.

Таблица 1

Численные значения A_1/A_2 при разных величинах радиуса кривой

R , м	A_1/A_2
300	1,71
350	1,69
400	1,67
500	1,64
600	1,62
650	1,61
700	1,60
800	1,59
900	1,56
1000	1,54

Средневзвешенное значение этого отношения равно 1,8, поэтому, с учетом (3) и (4)

$$\bar{R}_2 = 1,8 \bar{R}_1. \quad (4)$$

Согласно данным вагонного депо Нижнеднепровск-Узел (ВЧД-3) Приднепровской железной дороги, в котором ремонтируются грузовые вагоны, новое колесо со стандартным профилем поверхности катания направляется на первую обточку в среднем через 2 года после начала его эксплуатации. Последующие обточки производятся через каждые 2 года. После 4-х обточек эти колеса приходится исключать из эксплуатации, а на оси напрессовывать новые.

Поэтому ресурс \bar{R}_1 можно принять равным 10 годам. Тогда $\bar{R}_2 = 1,8 \cdot 10 = 18$ лет.

В связи с этим, для одного вагона в течение его срока службы (30 лет) понадобится иметь $\frac{30}{10} \cdot 2 \cdot 4 = 24$ колеса со стандартным профилем и $\frac{30}{18} \cdot 2 \cdot 4 \cong 14$ колес с предлагаемым. Согласно

данным ОАО «Мариупольский завод тяжелого машиностроения», стоимость одного колеса по состоянию на январь 2010 г. составляет 3,8 тыс. грн. Поэтому стоимость 24 колес со стандартным профилем будет равна 91,2 тыс. грн, а 14 колес с предлагаемым профилем – 53,2 тыс. грн.

Количество обточек одного колеса за его жизненный цикл, соответственно, с профилями 1 и 2 равно: $n_1 = \frac{[H]_1}{h_1}$, $n_2 = \frac{[H]_2}{h_2}$. Т.к.

$[H]_2 = [H]_1$, то $n_2 = \frac{h_1}{h_2} n_1$. В нашем случае $n_1 = 4$, $h_1 = 16$ мм, $h_2 = 7,5$ мм, поэтому $n_2 \approx 9$ обточек/колесо.

Тогда, за 30 лет количество обточек, приходящихся на одно колесо, составит в случае стандартного профиля $24 \cdot 4 = 96$ обточек и $14 \cdot 9 = 126$ обточек в случае предлагаемого.

По данным упомянутого депо (по состоянию на сентябрь 2009 г.), стоимость обточки двух колес одной колесной пары с учетом перепрессовки, оцениваемой в 587 грн, и монтажа буксового узла (200 грн) можно считать равной 787 грн. В этом случае, в течение 30 лет в расчете на 1 вагон затраты на обточку колес со стандартным профилем составят $\frac{1}{2} \cdot 787 \cdot 96 = 37776$ грн/вагон, а с предлагаемым – будут равны $\frac{1}{2} \cdot 787 \cdot 126 = 49581$ грн/вагон.

Таким образом, приходящиеся на 1 вагон затраты в течение 30 лет составят $91200 + 37776 = 128976$ грн в случае стандартного профиля и $53200 + 49581 = 102781$ грн – в случае предлагаемого профиля без учета инвестиций на его разработку и внедрение.

Согласно Комплексной программе [7], рабочий парк грузовых вагонов в 2008 г. состоял из 115921 вагона, к 2020 г. он должен вырасти до 141761 вагона.

Если принять в расчет данные 2008 г., то суммарные затраты по отрасли в течение 30 лет в случае колес со стандартным профилем составят $14487 \cdot 10^6$ грн и $11914 \cdot 10^6$ грн – с предлагаемым.

Следовательно, экономия за счет внедрения предлагаемого профиля в течение 30 лет составит в целом по отрасли

$$(14487 - 11914) \cdot 10^6 = 2573 \cdot 10^6 \text{ грн}$$

и $124976 - 102781 = 22195$ грн – в расчете на 1 вагон.

В случае предлагаемого профиля, к затратам следует еще отнести инвестиции на научный поиск, разработку проекта, проведение расчетов и испытаний, в том числе натурных в опытных маршрутах, которые ориентировочно можно принять равными $5 \cdot 10^6$ грн.

2. Экономическая оценка энергозатрат на тягу поездов

Эта оценка может быть получена путем сравнения результатов тяговых расчетов, соот-

ветствующих движению поезда, вагоны которого в одних случаях имеют колеса со стандартным профилем, а в других – с предлагаемым. Поезд с одним и тем же локомотивом должен иметь одно и то же количество однотипных, одинаково загруженных вагонов.

Участок пути должен иметь характеристики, близкие к среднесетевым, за исключением случая, когда сравниваются типы профилей поверхности катания колес, предназначенных для горных участков.

Ниже, в качестве примера, приведены результаты тяговых расчетов, выполненных в связи с оценкой того, каковы энергозатраты на тягу поезда в случае, когда колеса имеют стандартный профиль катания или предлагаемый (типа МИНТЕК). В работе [6] приведены результаты тяговых расчетов, в которых рассматривалось движение поезда, сформированного из электровоза серии ВЛ8 и 60 полувагонов массой 80 т брутто по участку Днепропетровск – Пятихатки протяженностью 125 км, характеристика которого близка к среднесетевой. Каждому из сравниваемых типов профилей соответствовало 12 поездов. Данные о расходе энергии в каждой из поездов указаны в табл. 2.

Таблица 2

Расход энергии на ведение состава из 60 грузовых вагонов по участку длиной 125 км

Время хода, мин	Расход энергии, кВт·ч		Экономия энергии, кВт·ч
	стандартный профиль	профиль МИНТЕК	
90,5	6398	6301	97
100,6	5317	5176	141
107,2	5062	4938	124
114,5	4897	4750	147
119,3	4819	4663	156
130,3	4674	4525	149
149,1	4458	4344	114
169,0	4325	4211	114
180,5	4269	4151	118
199,7	4207	4091	116
219,9	4168	4052	116
238,8	4151	4034	117
Средние значения за одну поездку	4913	4784	129

Из данных табл. 2 следует, что расход электроэнергии на 1 км пути при ведении одного поезда равен 39,30 кВт·ч/км в случае, когда все

вагоны имеют стандартный профиль, и 38,27 кВт·ч/км в случае предлагаемого профиля.

При использовании в течение года 92 тыс. поездов на полигоне длиной 9752 км и цене электрической энергии 358,61 грн/МВт·ч [8], затраты на ведение поездов составят:

$39,30 \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 358,61 \cdot 10^{-3} \cdot 9752 \approx 1264 \cdot 10^6$ грн в год в случае стандартного профиля и $38,27 \cdot 92 \cdot 10^3 \cdot 358,61 \cdot 10^{-3} \cdot 9752 \approx 1231 \cdot 10^6$ грн в год в случае предлагаемого профиля.

В течение 30 лет эти затраты на полигоне составят, соответственно, $37920 \cdot 10^6$ грн. и $36930 \cdot 10^6$ грн. Экономия по отрасли составит 33 млн грн/год и 990 млн грн – за 30 лет.

3. Сравнение затрат, связанных с ресурсом рельсов

В работе [9] показано, что отношение ресурсов рельсов T_1 и T_2 в случае использования колес, соответственно, с профилями 1 и 2 может быть определено как:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{A_1}{A_2}. \quad (5)$$

Для сравниваемых нами профилей значения правой части выражения (5) содержатся в табл. 1. Поэтому, зная величину ресурса T_1 , можно найти величину T_2 .

Ресурс рельсов, уложенных в криволинейных участках пути радиусом R , может быть найден с использованием эмпирической формулы, предложенной профессором Г. М. Шахуняцем [10]. Найденные с использованием этой формулы величины T_1 были предоставлены профессором В. В. Рыбкиным, которому автор приносит глубокую благодарность за помощь и консультации в вопросах путевого хозяйства. В табл. 3 для разных значений радиусов R приведены значения T_1 и, согласно выражению (6), соответствующие значения ресурса рельсов T_2 (величины отношения A_1/A_2 приведены в табл. 1).

Зная для каждого из криволинейных участков величину ресурса T , можно найти длину рельсов, подлежащих смене на данном участке в течение года. Это можно сделать следующим образом.

По величине освоенного за год на сети железных дорог Украины грузооборота Q и величине развернутой длины L их главных путей находим грузонапряженность Γ одного километра пути в течение одного года:

$$\Gamma = \frac{Q}{L} \quad (6)$$

и срок t службы рельсов, подлежащих замене на участке длиной l :

$$t = \frac{l}{\Gamma}. \quad (7)$$

Длина ежегодно заменяемых рельсов на криволинейном участке пути длиной l будет равна:

$$L = \frac{l}{t}. \quad (8)$$

Таблица 3

Зависимость ресурса рельсов от радиуса кривых

R , м	T_1 , млн т	T_2 , млн т
300	67,7	116
350	84,1	142
400	101	169
500	136	223
600	172	279
650	190	310
700	209	334
800	246	391
900	284	446
1000	322	502

Согласно [7], в 2007 г. величина $Q = 262,6$ млрд т·км. С учетом развернутой длины L главных путей, величина Γ будет равна $8,63 \cdot 10^6$ т/год.

Ниже приведены найденные с учетом этого длины заменяемых рельсов по участкам пути в случае использования стандартного (табл. 4) и предлагаемого (табл. 5) профилей поверхности катания.

Заметим, что суммарная длина приведенных в этих таблицах кривых составляет 5121 км.

Из данных, приведенных в табл. 4 и 5, следует, что на участках кривых, радиусы которых могут изменяться от 300 до 1000 м, потребуется ежегодно производить замену рельсов на длине 248,7 км в случае использования на вагонах колес со стандартным профилем поверхности катания и 151,6 км – в случае предлагаемого профиля.

По данным Приднепровской железной дороги, стоимость всего объема работ по сплошной замене рельсов на 1 км пути равна 977 тыс. грн (по состоянию на 01.10.2009 г.).

Поэтому затраты на ежегодную сплошную замену рельсов в кривых радиусом от 300 до 1000 м составляют $248,7 \cdot 977 \cdot 10^3 \approx 243 \cdot 10^6$ грн в случае стандартного профиля и $151,6 \cdot 977 \cdot 10^3 = 148 \cdot 10^6$ грн – в случае предлагаемого. За 30 лет эти затраты будут равны, соответственно, $7290 \cdot 10^6$ и $4440 \cdot 10^6$ млн грн.

Ниже приведены суммарные по отрасли затраты за год и за 30 лет в случае стандартного и предлагаемого профилей поверхности катания колес грузовых вагонов (табл. 6) и соответствующие экономические эффекты (табл. 7).

Приходящиеся на 1 вагон суммарные затраты и экономический эффект приведены, соответственно, в табл. 8 и 9.

Таблица 4

Длина заменяемых рельсов по участкам в случае стандартного профиля поверхности катания колеса

Наименование параметров	Обозначение	Номера i участков, величины радиуса кривой R , м				
		1	2	3	4	5
		300...349	350...499	500...649	650...799	800...1000
Средняя по участку величина ресурса рельсов, млн т	T_{1i}	75,9	118	181	227	284
Срок службы рельсов, год	$t_{1i} = T_{1i} / \Gamma$	8,79	13,7	21,0	26,0	32,9
Длина участка, м	l_i	280	592	2189	879	1181
Длина ежегодно заменяемых рельсов, км	$L_{1i} = l_i / t_{1i}$	31,8	43,2	104	33,8	35,9
Длина рельсов, подлежащих замене за 30 лет	$L_{30i} = 30L_{1i}$	564	782	1926	630	645

Таблица 5

Длина заменяемых рельсов по участкам в случае предлагаемого профиля поверхности катания колеса

Наименование параметров	Обозначение	Номера i участка, величины радиуса кривой R , м				
		1	2	3	4	5
		300...349	350...499	500...649	650...799	800...1000
Средняя по участку величина ресурса рельсов, млн. т	T_{2i}	129	196	294	362	474
Срок службы рельсов, год	$t_{2i} = T_{2i} / \Gamma$	14,9	22,7	34,1	41,9	54,9
Длина участка, м	l_i	280	592	2189	879	1181
Длина ежегодно заменяемых рельсов, км	$L_{2i} = l_i / t_{2i}$	18,8	26,1	64,2	21,0	21,5
Длина рельсов, подлежащих замене за 30 лет	$L_{30i} = 30L_{2i}$	564	782	1926	630	645

Следует заметить, что найденные экономические эффекты получены при указанных выше допущениях, поэтому необходимо обратить внимание не столько на их абсолютные значения, сколько на то различие в показателях, которое вносит предлагаемый профиль. При этом следует также заметить, что не учитываются сопутствующие расходы, связанные с внедрением новых профилей: затраты на контрольно-

измерительный инструмент, шаблоны, фрезы, обучение персонала и т.д.

Выводы

1. Тип профиля поверхности катания колеса подвижного состава существенно влияет на эксплуатационные расходы отдельных хозяйств и отрасли в целом.

Таблица 6

Показатели	Стандартный профиль	Предлагаемый профиль		
	Затраты, млн грн			
	за год	за 30 лет	за год	за 30 лет
Ресурс колес	482,9	14487	397,1	11914
Топливо-энергетический ресурс	1264	37920	1231	36930
Ресурс рельсов	243	7290	148	4440
Инвестиции на создание колёс с новым профилем	-	-	0,16	5
Всего	1989,9	59697	1776,3	53289

Таблица 7

Экономический эффект по отрасли за счет замены колёс со стандартным профилем на колёса с предлагаемым профилем поверхности катания

Показатели	Экономический эффект, млн грн	
	годовой	за 30 лет
Ресурс колёс	85,8	2573
Топливо-энергетический ресурс	33	990
Ресурс рельсов	95	2850
Всего	213,8	6413

2. Предлагаемый метод позволяет еще на стадии, предшествующей изготовлению опытных образцов, определить экономическую целесообразность замены существующего профиля на предлагаемый.

3. Наибольший экономический эффект в рассматриваемом случае связан с заменой рельсов в кривых, а наименьший – за счет экономии электроэнергии на тягу поезда.

4. Наибольшие экономические затраты связаны с расходом топлива-энергетических ресурсов на ведение поезда, и они значительно превышают те, что связаны с затрата-

ми в паре «колесо-рельс». Следует заметить, что эти данные согласуются с теми, что опубликованы Международной ассоциацией тяжеловесного движения. Это обстоятельство свидетельствует о достоверности расчетов, выполненных по предлагаемому методу.

5. Достоверность приведенных расчетов подтверждается еще и тем, что полученные теоретическим путем данные о дополнительном количестве обточек колес с предлагаемым профилем и связанными с этим дополнительными расходами согласуются с результатами наблюдений.

6. Приведенные показатели экономической эффективности проекта могут быть уточнены с учетом расчетного срока службы вагона, возможно дополнительных эксплуатационных расходов.

Таблица 8

Суммарные затраты, приходящиеся на 1 вагон

Показатели	Стандартный профиль	Предлагаемый профиль		
	Затраты, тыс. грн			
	за год	за 30 лет	за год	за 30 лет
Ресурс колес	4,17	125	3,43	103*
Топливо-энергетический ресурс	10,9	327	10,6	318
Ресурс рельсов	2,1	62,9	1,28	38,3
Всего	17,17	514,9	15,31	459,3

Таблица 9

Приходящийся на 1 вагон экономический эффект за счет замены колёс со стандартным профилем на колёса с предлагаемым профилем поверхности катания

Показатели	Экономический эффект, тыс. грн	
	годовой	за 30 лет
Ресурс колёс	0,74	22
Топливо-энергетический ресурс	0,30	9
Ресурс рельсов	0,82	24,6
Всего	1,86	55,6

* Включены 5 млн грн инвестиций, что составляет примерно 43 грн на один вагон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса [Текст] : [пер. с англ.] / У. Дж. Харрис [и др.]; под ред. С. М. Захарова и В. М. Богданова. – М.: Интекст, 2002. – 408 с.
2. Бараш, Ю. С. К вопросу экономического обоснования выбора рационального профиля поверхности железнодорожного колеса [Текст] / Ю. С. Бараш, А. Г. Рейдемейстер, А. С. Блохина // Зб. наук. пр. «Економіка: проблеми теорії та практики». – Вип. 46. – Д.: Дніпропетр. нац. ун-т, 2000. – С. 17-20.
3. Блохина, А. С. Метод оценки профилей колес подвижного состава [Текст] / А. С. Блохина // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна (розділ «Економіка транспорту»). – 2009. – Вип. 26. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2009. – С. 176-181.
4. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С. В. Мямлин. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
5. Данович, В. Д. Математическая модель взаимодействия колеса и рельса [Текст] / В. Д. Данович, А. Г. Рейдемейстер // Транспорт : зб. наук. пр. ДІТУ. – Вип. 2. – Д.: Наука і освіта, 1999. – С. 17-22.
6. Влияние профиля поверхности катания колес вагонов на затраты, связанные с тягой поездов [Текст] / А. Г. Рейдемейстер [и др.] // Залізн. трансп. України. – 2000. – № 3. – С. 24-25.
7. Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 рр. [Текст] / Міністерство транспорту та зв'язку України, Державна адміністрація залізничного транспорту України. – К., 2009. – 299 с.
8. Аналіз роботи господарств електрифікації та електропостачання в 2008 році [Текст] // Нормативно-технічне видання Укрзалізниці. – К., 2009. – 244 с.
9. Рейдемейстер, А. Г. К вопросу о влиянии профиля колеса на ресурс рельсов [Текст] / А. Г. Рейдемейстер, А. С. Блохина // Залізн. трансп. України. – 2004. – № 4. – С. 10-11.
10. Шахуняц, Г. М. Железнодорожный путь [Текст] / Г. М. Шахуняц. – М.: Транспорт, 1969. – 535 с.

Поступила в редколлегию 12.01.2010.

Принята к печати 18.01.2010.