

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 338.45:519:674

Н. Ф. ПАВЛОВА

Архангельский государственный технический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ
МЕТОДАМИ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА**

Методами анализа однофакторных и множественных регрессий произведена оценка уровня конкурентоспособности домов из натуральной древесины по сравнению с домами из других материалов. Выведены показатели конкурентоспособности продукции домостроения. Получено уравнение связи между ценой дома и его основными потребительскими характеристиками (комфортность, долговечность, огнестойкость).

Using methods of single-factor and multiple regressions analysis the valuation of natural wood houses' competitiveness in comparison with houses made of other materials has been carried out. The competitiveness indices of house building products have been deduced. The equation of connection between house cost and its basic consumers' characteristics such as comfort, durability and fire-resistance has been derived.

Конкурентоспособность продукции определяется тремя взаимозависимыми факторами – качеством, ценой, спросом. Успешная реализация зависит от набора определенных потребительских свойств товара, удовлетворяющего покупателя в данный момент времени на данном рынке. Тезис о том, что о конкурентоспособности товара может свидетельствовать наличие требуемого соотношения между ценой и потребительскими характеристиками, позволяет ставить вопрос об изучении этой взаимосвязи математико-статистическими методами.

Методы анализа корреляций и регрессий, первоначально развитые биологом К.Пирсоном, активно использовались в экономических исследованиях с конца 30-х гг. (У.С.Митчелл, Г.Мур, Г.Уэллес – исследования конъюнктуры; Х.Уоркинг, Г.Толлей – сельскохозяйственная экономика; А.Хансен, Д.М.Кейнс, Я.Тинберген – макроэкономика). Типы проблем, решаемых этими методами, разнообразны: зависимость товарных цен от экономических условий, факторы, влияющие на международную торговлю, и т.д. [2].

В последние годы с развитием компьютерной техники методы регрессионного анализа стали использовать при оценке уровня конкурентоспособности продукции. В частности, система КОРТЕР [3] оценивает технический и технико-экономический уровень изделия на основе корреляционных зависимостей между техническими, эстетическими, другими потребительскими и экономическими его параметрами. Метод построен на использовании однофакторных регрессий. Однако при оценке уровня конкурентоспособности могут быть использованы также и множественные регрессии.

Актуальность исследований в области конкурентоспособности деревянных домов, поставляемых на экспорт и на рынок Европейского Севера России, отмечена нами ранее [7,8]. В данной работе предлагается оценить матаматико-статистическими методами уровень конкурентоспособности домов из натуральной древесины, изготовляемых по технологии оцилиндровки бревен фирмы «Макрон» (Финляндия), и сходных отечественных, по сравнению с домами других конструкций, наиболее широко представленных на рынке Севера России.

Товары-конкуренты должны относиться к одному классу, поэтому сравниваем дома общей площадью 94 м² из следующих типов стеновых материалов:

1) оцилиндрованные бревна (сосна, ель). Предлагается рассмотреть два варианта. По сравнению с первым во втором бревна антисептированы, подвергнуты огнезащитной обработке;

2) деревянные панели (фанера, ДВП, утеплитель, стены оштукатурены, имеется пароизоляция);

3) красный кирпич (слой штукатурки, утепляющий пакет из минеральной ваты, обернутой пергамином);

4) силикатный кирпич (штукатурка, утеплитель, как в п.3);

5) бетонные панели (керамзитобетон, утеплитель);

6) арболитовые блоки (офактурены цементом, утеплитель – термолит).

Данные о ценах на дома приведены в наиболее стабильной валюте – долларах США.

Состав и значение показателей качества (потребительских характеристик), по которым сравниваются изделия, определяются запросами потребителей и нормативными требованиями к стеновым материалам в строительстве [4, 5, 7, 9 – 11]. Эти данные приведены в табл. 1, размерность физико-технических показателей для удобства математических расчетов сохранена в соответствии со СНиПами [9 – 11].

В системе КОРТЕР при определении технико-экономического уровня изделия применяют один экономический показатель - цену, однако в экономике домостроения, с точки зрения эффективности производства, большое значение имеют и показатели трудоемкости заводского изготовления и монтажа 1 м² стен. Поэтому их целесообразно включить в состав анализируемых.

Весомость каждого из параметров качества для потребителей приведена для условий рынка северной и центральной России, стран Западной Европы. В сейсмоопасных районах с теплым климатом (юг России и Дальний Восток; Япония, США) повышается вес показателя сейсмостойкости [12].

Показатели качества в системе КОРТЕР оценивают по двум критериям: изменению качества в зависимости от параметров и относительному весу последних. Уровень конкурентоспособности определяется как набор регрессионных функций, со значениями которых сравниваются параметры анализируемого изделия [3].

Один из параметров изделия определяется как главный; он служит независимой переменной. Применительно к рынку Европейского Севера России в качестве главного показателя в домостроении согласно табл. 1 выступает коэффициент теплопроводности.

Представим зависимость между параметрами в виде простой регрессионной функции

$$\bar{Y}_x = f(X_i), \quad (1)$$

где \bar{Y}_x – теоретические значения;

X_i – главный параметр i -го изделия, $i = \overline{1, n}$;

n – число наблюдений в выборке.

В случае предположения прямолинейной зависимости между Y и X :

$$\bar{Y}_x = a + b X \quad (2)$$

Параметры	Оцилиндрованные бревна		Деревянные панели
	Вариант 1	Вариант 2	
1. Экономические:			
Цена дома, доллары США	14 000	14 300	11 578
Трудоемкость заводского изготовления 1м ² стен, чел.-ч	1,8	1,8	3,62
Трудоемкость сборки 1м ² , чел.-ч	21	21	15
2. Физико-технические:			
2.1. Теплотехнические:			
Коэффициент теплопроводности, кКал/(м·ч·°С)	0,15	0,15	0,115
Коэффициент паропроницаемости, г/(м·ч·мм рт.ст.)	0,008	0,008	0,010
Сопротивление воздухопроницанию, м ² ·ч·мм вод.ст./кг	0,96	0,96	15,96
2.2. Статические:			
Сейсмостойкость, доли ед.	0,7	0,7	1,4
Нормативное значение ветрового давления, Па	230	230	230

Таблица 1

Кирпич		Бетон- ные панели	Арболи- товые блоки	Вес параме- тра для потреби- теля, %	Харак- тер изме- нения
красный	силикат- ный				
42 300	39 000	35 250	9 195	-	-
2,5	2,5	3,29	12,8	-	-
37	37	19,6	15	-	-
0,574	0,614	0,478	0,19	18	-1
0,014	0,014	0,013	0,014	14	-1
2	2	242	186	14	-1
1,3	1,3	1,2	1,2	1,5	-1
320	320	350	300	1,5	+1

Параметры	Оцилиндрованные бревна		Деревянные панели	Кирпич		Бетонные панели	Арболитовые блоки	Вес параметра для потребителя, %	Характер изменения
	Вариант 1	Вариант 2		красный	силикатный				
2.3. Акустические – коэффициент звукоизоляции, дБ	38	38	34	44	44	48	48	10	+1
2.4. Защита от радиации – толщина слоя половинного ослабления γ -излучения, см	28	28	32	19	19	10	15	7	-1
2.5. Противопожарные – минимальный предел огнестойкости, ч	0,25	0,5	0,5	2	2	2	0,5	10	+1
2.6. Долговечность – срок службы, лет	50	100	30	200	200	200	75	10	+1
3. Привлекательность для жизни – комфортность, балл	1	1	4	7	11	18	14	14	-1

Примечание. Значение +1 в последней графе характеризует прямую связь с изменением уровня конкурентоспособности; -1 – обратную.

задачу определения параметров уравнения решают методом наименьших квадратов. Тесноту линейной зависимости устанавливают с помощью коэффициента корреляции r .

Нелинейные функции более точно характеризуют зависимость Y от X . Способами, известными в математической статистике, приводим нелинейную функцию к линеаризованному виду

$$\bar{Y}_x = a + bX \quad (3)$$

и решаем это уравнение, составляя систему нормальных уравнений.

Для определения тесноты криволинейной связи между признаками рассчитываем корреляционное отношение.

При криволинейной зависимости может быть дополнительно найден коэффициент линейной корреляции. Из нескольких регрессионных функций выбираем ту, которой соответствуют наибольшее корреляционное отношение (нелинейная зависимость) и коэффициент корреляции (линейная). Это трудоемкий процесс в оценке конкурентоспособности, поэтому мы использовали программу STAT 13 [6], а вид зависимости выбирали на компьютере.

После расчета значений регрессионных функций необходимо определить уровень технических характеристик по формуле

$$TU_j = \left(\frac{Y_j}{\bar{Y}_x}\right)^S, \quad (4)$$

где Y_i - значения технических и экономических параметров i -го изделия, $i = \overline{1, n}$ (эмпирическая функция);

S - характер изменения параметра (по табл.1), $S = \{-1; 1\}$;

j - номер параметра i -го изделия, $j = \overline{1, m}$.

Уровень качества изделия в целом (I_k):

$$TU = I_k = \sum_{j=1}^m TU_j R_j, \quad (5)$$

где

$$R_j = \frac{V_j \eta_j}{\sum_{j=1}^m V_j \eta_j}, \quad (6)$$

V_j - вес параметра для потребителя (табл.1).

В методике [3] введено понятие ориентировочной цены, которую мы назовем конкурентной (C_0):

$$C_0 = C_T I_k, \quad (7)$$

где C_T - теоретическая цена (значение регрессионной функции).

Методика сводится к определению технико-экономического уровня изделия, который мы обозначим I_1 :

$$I_1 = \frac{C_T}{C_D} I_K, \quad (8)$$

где C_D - действительная цена изделия.

Применительно к продукции домостроения интегральный показатель конкурентоспособности, как отмечалось выше, должен быть дополнен оценкой трудоемкости заводского изготовления и сборки 1 м² стѐн:

$$I_2 = \frac{T'_T}{T'_D} I_K; \quad (9)$$

$$I_3 = \frac{T''_T}{T''_D} I_K; \quad (10)$$

$$I_4 = \frac{T_T}{T_D} \frac{C_T}{C_D} I_K, \quad (11)$$

где I_2, I_3 - технико-экономические уровни продукции домостроения, рассчитанные на основе показателей трудоемкости;

T', T'' - соответственно трудоемкость заводского изготовления и сборки 1 м² стѐны;

I_4 - интегральный показатель конкурентоспособности применительно к домостроению.

Оценка потребительских характеристик домов различных конструкций с использованием корреляции от главного параметра - коэффициента теплопроводности (по двум вариантам) - приведена в табл.2.

Результаты корреляционного анализа показали, что с точки зрения технических, эстетических и других потребительских характеристик наиболее конкурентоспособны дома из оцилиндрованных бревен, наименее - из арболитовых блоков. С применением антисептиков и антипиренов показатель уровня качества домов из натуральной древесины увеличился на 12,8 пункта.

С учетом анализа цен (табл.3) деревянные дома также наиболее конкурентоспособны, но разница между экстремальными значениями показателя I_1 здесь уменьшается по сравнению с уровнем качества из-за применения менее дорогих изделий. Конкурентная цена дома из бревен составляет 20 231 доллар США, что больше действительной в 1,4 раза.

Таблица 2

Параметры	Оцилиндрованные бревна	Деревянные панели	Кирпич		Бетонные панели	Арболитовые блоки
			красный	силикатный		
Комфортность:						
Y_i	1	4	7	11	18	14
\bar{Y}_x	2,433	1,867	9,202	9,833	7,683	3,078
$I_k, \%$	243,30	46,68	131,46	89,39	42,68	21,99
$\eta; R$			$\eta = 0,826; R = 0,170$			
Влагоизоляция:						
Y_i	0,008	0,010	0,014	0,014	0,013	0,014
\bar{Y}_x	0,0107	0,0093	0,0139	0,0139	0,0136	0,0116
$I_k, \%$	133,75	93,00	99,29	99,29	104,62	82,86
$\eta; R$			$\eta = 0,754; R = 0,156$			
Воздухопроницаемость:						
Y_i	0,96	15,96	2	2	242	186
\bar{Y}_x	2,829	2,821	2,850	2,850	2,848	2,835
$I_k, \%$	294,69	17,68	142,50	142,50	1,18	1,52
$\eta; R$			$\eta = 0,721; R = 0,149$			
Долговечность						
вариант 1						
вариант 2						
Y_i	$\frac{50}{100}$	$\frac{30}{30}$	$\frac{200}{200}$	$\frac{200}{200}$	$\frac{200}{200}$	$\frac{75}{75}$
\bar{Y}_x	$\frac{54,366}{70,340}$	$\frac{25,009}{44,080}$	$\frac{202,640}{202,806}$	$\frac{210,083}{209,420}$	$\frac{182,419}{184,742}$	$\frac{80,484}{93,630}$
$I_k, \%$	$\frac{91,97}{142,20}$	$\frac{119,96}{68,06}$	$\frac{98,70}{98,62}$	$\frac{95,20}{95,50}$	$\frac{109,64}{108,26}$	$\frac{93,19}{80,10}$
$\eta; R$			$\eta = 0,993; R = 0,146$			
			$\eta = 0,969; R = 0,143$			
Огнестойкость						
вариант 1						
вариант 2						
Y_i	$\frac{0,25}{0,50}$	$\frac{0,5}{0,5}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{0,5}{0,5}$
\bar{Y}_x	$\frac{0,449}{0,531}$	$\frac{0,318}{0,407}$	$\frac{2,031}{2,030}$	$\frac{2,180}{2,171}$	$\frac{1,673}{1,690}$	$\frac{0,598}{0,672}$
$I_k, \%$	$\frac{55,68}{94,16}$	$\frac{157,23}{122,85}$	$\frac{98,47}{98,55}$	$\frac{91,74}{92,12}$	$\frac{119,55}{118,34}$	$\frac{83,61}{74,40}$
$\eta; R$			$\eta = 0,970; R = 0,143$			
			$\eta = 0,975; R = 0,144$			

Продолжение табл. 2

Параметры	Оцилиндрованные бревна	Деревянные панели	Кирпич		Бетонные панели	Арболитовые блоки
			красный	силикатный		
Звукоизоляция: Y_i	38	34	44	44	48	48
\bar{Y}_x	38,61	36,07	46,58	46,80	45,91	40,59
$I_k, \%$ $\eta; R$	98,42	94,26	94,46	94,02	104,55	118,26
$\eta = 0,826; R = 0,122$						
Защита от радиации: Y_i	28	32	19	19	10	15
\bar{Y}_x	25,41	29,71	14,98	14,74	15,72	22,44
$I_k, \%$ $\eta; R$	90,75	92,83	78,84	77,58	157,21	149,58
$\eta = 0,773; R = 0,080$						
Сейсмостойкость: Y_i	0,7	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2
\bar{Y}_x	1,011	0,994	1,274	1,306	1,203	1,031
$I_k, \%$ $\eta; R$	144,43	71,00	98,00	100,46	100,25	85,92
$\eta = 0,602; R = 0,0133$						
Ветровое давление: Y_i	230	230	320	320	350	300
\bar{Y}_x	254,2	230,5	339,2	341,8	331,3	273,8
$I_k, \%$ $\eta; R$	90,47	99,80	94,35	93,62	105,64	109,58
$\eta = 0,965; R = 0,021$						
Уровень качества по вариантам:						
1	1,506	0,870	1,087	0,999	0,857	0,723
2	1,634	0,745	1,086	0,999	0,852	0,689

Применение высокопроизводительной технологии оцилиндровки бревен выражается в том, что показатель $I_2=2,595$ (вариант 1), или в 3,5 раза больше, чем у бетонно-панельного дома. При анализе показателя I_3 , который учитывает трудоемкость сборки домов, выигрышно выглядят дома из бетонных панелей, но во втором варианте наиболее конкурентоспособны все-таки дома из натурального дерева (табл.4).

Интегральный показатель конкурентоспособности (I_4) также наиболее высок для домов из оцилиндрованных бревен (табл.5):

Применение экологически чистого и недорогого утеплителя в изготовлении дома из бревен снизит коэффициент теплопроводности в 1,9 раза [4], а уровень конкурентоспособности такого дома еще увеличится.

Таблица 3

Стеновой материал дома	Уровень качества	Цена, доллары США			Уровень ценовой конкурентоспособности
		теоретическая	конкурентная	действительная	
Оцилиндрованные бревна	1,506	12286	18502	14000	1,322
	1,634	12381	20231	14300	1,415
Деревянные панели	0,870	11460	9970	11578	0,861
	0,745	11559	8611	11578	0,744
Кирпич: красный	1,087	39613	43059	42300	1,017
	1,086	39613	43020	42300	1,017
силикатный	0,999	43843	43799	39000	1,123
	0,999	43828	43785	39000	1,123
Бетонные панели	0,857	30623	26244	35250	0,745
	0,852	30654	26117	35250	0,741
Арболитовые блоки	0,723	13496	9758	9195	1,061
	0,689	13588	9362	9195	1,018

Примечание. В числителе данные для первого варианта бревен; в знаменателе – для второго.

Анализ логической связи между ценой дома и его потребительскими характеристиками можно выполнить с помощью множественной корреляции на основе выборки данных о домах различных конструкций (см. табл.1). Рассмотрим уравнение множественной линейной регрессии

$$X_1 = a_{1.234} + b_{12.34} X_2 + b_{13.24} X_3 + b_{14.23} X_4, \quad (12)$$

где

X_1 - цена дома, доллары США;

X_2 - комфортность, балл;

X_3 - долговечность, лет;

X_4 - огнестойкость, ч;

$a_{1.234}$ - свободный член уравнения;

$b_{12.34}$ (b_2), $b_{13.24}$ (b_3), $b_{14.23}$ (b_4) - чистые коэффициенты регрессии.

Для определения коэффициентов регрессии составляют систему нормальных уравнений. Она решается методом Дулитла [2], могут быть использованы также матричные методы. В результате получаем уравнение

$$X_1 = 6035,74 - 546,13 X_2 + 26,80 X_3 + 16922,32 X_4. \quad (13)$$

Коэффициент множественной корреляции $R_{1.234} = 0,9935$; коэффициент множественной детерминации $R_{1.234}^2 = 0,987$. Коэффициенты частной корреляции $r_{12.34} = -0,868$; $r_{13.24} = 0,312$; $r_{14.23} = 0,9193$.

Таблица 4

Стеновой материал дома	Уровень качества		Трудоемкость, чел.-ч/м ²		I/I ₃	
	Вариант 1	Вариант 2	теоретическая	фактическая	Вариант 1	Вариант 2
Оцилиндрованные бревна	1,506	1,634	3,102	1,80	2,595	2,815
			16,012	21	1,148	1,245
Деревянные панели	0,870	0,745	3,218	3,62	0,773	0,662
			15,496	15	0,899	0,770
Кирпич: красный	1,087	1,086	2,852	2,5	1,240	1,239
			33,10	37	0,973	0,972
силикатный	0,999	0,999	2,847	2,5	1,138	1,138
			35,745	37	0,965	0,965
Бетонные панели	0,857	0,852	2,868	3,29	0,747	0,743
			27,478	19,6	1,202	1,195
Арболитовые блоки	0,723	0,689	3,026	12,8	0,171	0,163
			16,769	15	0,808	0,770

Примечание. В числителе показатели трудоемкости изготовления; в знаменателе – сборки.

Интерпретация результатов может быть такой. Уравнение регрессии (13) показывает, что цена, определяемая спросом на дома, в значительной мере зависит от трех факторов: комфортности, долговечности, огнестойкости. Исходя из значений коэффициентов регрессии, делаем вывод, что цена дома имеет тенденцию уменьшаться на 546,13 доллара при снижении уровня комфортности на 1 балл при неизменных сроке службы здания и огнестойкости. Увеличение предела огнестойкости стенового материала на 0,25 ч вызывает рост цены в среднем на 4231 доллар (при исключении влияния двух других факторов). Если срок службы здания больше исходного, его цена теоретически должна быть выше (при элиминировании влияния уровня комфортности и огнестойкости).

Коэффициенты частной корреляции свидетельствуют, насколько понижается определяемая часть вариации после того, как исключено влияние двух других независимых переменных [2]. Например, $r_{12,34}^2 = 0,753$ означает, что после элиминирования влияния долговечности и огнестойкости определяемая часть вариации понижается на $100,0 - 75,3 = 24,7\%$.