УДК 338.22.0212
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКОВ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА БОРДЮРНОГО КАМНЯ

В. А. Перегудов[1], И. Г. Перегудова[2]
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.
На основе имитаций чистого потока платежей (NCF_t) и чистой дисконтированной стоимости (NPV_t) проекта по производству бордюрного камня был проведен регрессионно-дисперсионный анализ. Расчеты велись по двум ставкам дисконтирования – 13,3 % и 24,3 %. По итогам данного исследования значимость введенных коэффициентов регрессии полностью подтвердилась.
Ключевые слова: *математическое моделирование; регрессионный анализ; коэффициент регрессии; уровень надежности.*

MATHEMATICAL MODELING OF INNOVATION PROJECTS RISKS OF CURB PRODUC-TION

V. Peregoudov, I. Peregudova
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074
The paper presents the regression-dispersion analysis based on simulations of the net cash flow (NCFt) and net present value (NPVt) of the project on production curbs. The authors have performed the calcula-tions on two discount rates – 13.3% and 24.3%. The results of the study fully confirm the significance of the applied coefficients of regression.
Keywords: mathematical modeling; regression analysis; regression coefficient, reliability level.

Дочернее предприятие ЗАО «Иркутскзолопродукт» рассматривает инвестиционный проект по производству бордюрного камня, получаемого методом полусухого вибропрессования и используемого для обустройства территорий, тротуарных дорожек, дворов, площадок, автомобильных стоянок и дорог.

На основе имитаций чистого потока платежей (NCF_t) и чистой дисконтированной стоимости проекта (NPV_t) был проведен регрессионный анализ (рис. 1).

Метод регрессии включает в себя следующие этапы исследования:

1. Ввод исходных данных.
2. Построение графиков зависимости переменных с указанием коэффициентов детерминации.
3. Добавление линий тренда и уравнений зависимости данных.
4. Нахождение параметров уравнения парной регрессии с помощью ППК Excel.
5. Анализ и выводы результатов.

Целями регрессионного анализа являются:

1. Определение степени детерминированности вариации критериальной (зависимой) переменной предикторами (независимыми переменными).
2. Предсказание значения зависимой переменной с помощью независимой.
3. Определение вклада отдельных независимых переменных в вариацию зависимой.

Терминология зависимых и независимых переменных отражает лишь математическую зависимость переменных, а не причинно-следственные отношения.

Регрессионный анализ нельзя использовать для определения наличия связи между переменными, поскольку наличие такой связи и есть предпосылка для применения анализа. Вывод итогов регрессионного анализа бордюрного камня при ставке дисконта 13,3 % представлен в табл. 1.

[1] Перегудов Владимир Алексеевич, магистрант Института энергетики, гр. ПРЭм-15-1, e-mail: pva8383@mail.ru
Peregoudov Vladimir, a graduate student of Energy Institute, a group of PREm-15-1, e-mail: pva8383@mail.ru
[2] Перегудова Ирина Геннадьевна, кандидит технических наук, доцент кафедры мировой экономики, e-mail: pvew52@mail.ru
Peregudova Irina, Candidate of Technical Science, Associate Professor of World Economics Department, e-mail: pvew52@mail.ru

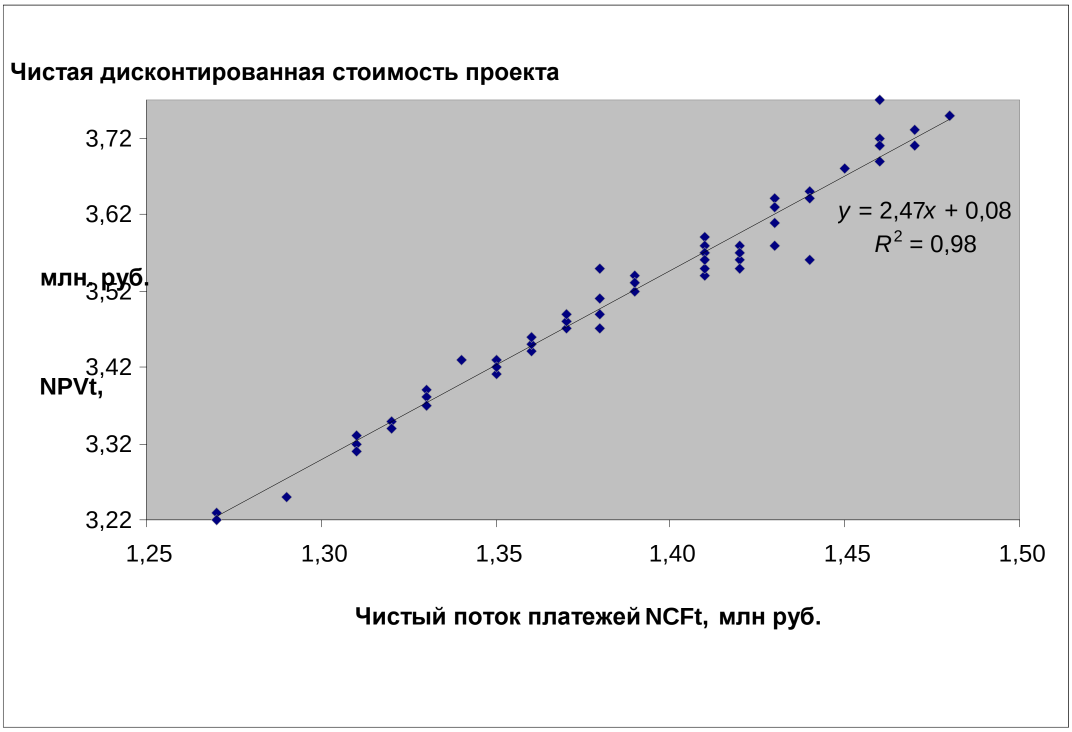

Рис. 1. Бордюрный камень. Зависимость чистой дисконтированной стоимости проекта NPV_t от чистого потока платежей NCF_t. Ставка дисконта 13,3 %

Таблица 1

Бордюрный камень. Вывод итогов регрессионного анализа. Ставка дисконта 13,3 %

Регрессионная статистика								
Множественный R			0,988					
R-квадрат			0,976					
Нормированный R-квадрат			0,976					
Стандартная ошибка			0,021					
Наблюдения			75					
Дисперсионный анализ								
		df	SS	MS	F	*Значимость* F		
Регрессия		1	1,314	1,314	2996,341	5,11E–61		
Остаток		73	0,032	0,000438				
Итого		74	1,346					
	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 98,0%*	*Верхние 98,0%*
b	0,085	0,063	1,353	0,1802	–0,0402	0,2099	–0,064	0,234
a	2,473	0,045	54,739	5,11E–61	2,383	2,563	2,365	2,5803

В частном случае линейной зависимости R^2 является квадратом так называемого множественного коэффициента корреляции между зависимой переменной и объясняющими переменными. В частности, для модели парной линейной регрессии коэффициент детерминации равен квадрату обычного коэффициента корреляции между y и x.

В общем случае коэффициент детерминации может быть и отрицательным – это говорит о крайней неадекватности модели: простое среднее приближает лучше.

Коэффициенты множественной корреляции и детерминации характеризуют совместное влияние всех факторов на результат.

Важное свойство коэффициента детерминации состоит в том, что это неубывающая функция от числа факторов, т. е. включение в модель любого дополнительного фактора не приводит к снижению коэффициента детерминации.

Однако это не означает улучшение качества регрессионной модели. На практике встречаются случаи, когда плохо определенная модель регрессии может дать сравнительно высокий коэффициент детерминации R^2. Поэтому рассчитывается скорректированный коэффициент детерминации (нормированный *R*-квадрат), который может даже уменьшаться при введении в модель новых объясняющих переменных, не оказывающих существенного влияния на зависимую переменную.

Данный показатель всегда меньше единицы, но теоретически может быть и меньше нуля (только при очень маленьком значении обычного коэффициента детерминации и большом количестве факторов). Поэтому теряется интерпретация показателя как «доли». Тем не менее, применение показателя в сравнении вполне обоснованно (рис. 2).

Вывод итогов регрессионного анализа бордюрного камня при ставке дисконта 24,3 % представлен в табл. 2.

Так как $R^2 = 0{,}87,$ то возможно использовать нелинейную парную регрессию. В этом случае коэффициент $R^2 = 0{,}9032$ выше $R^2 = 0{,}87,$ т. е. целесообразно использовать уравнение регрессии вида: $y = -508{,}29x^4 + 3176{,}7x^3 - 6516{,}1x^2 + 5936{,}7x - 2026{,}1$ (белая линия на рис. 2).

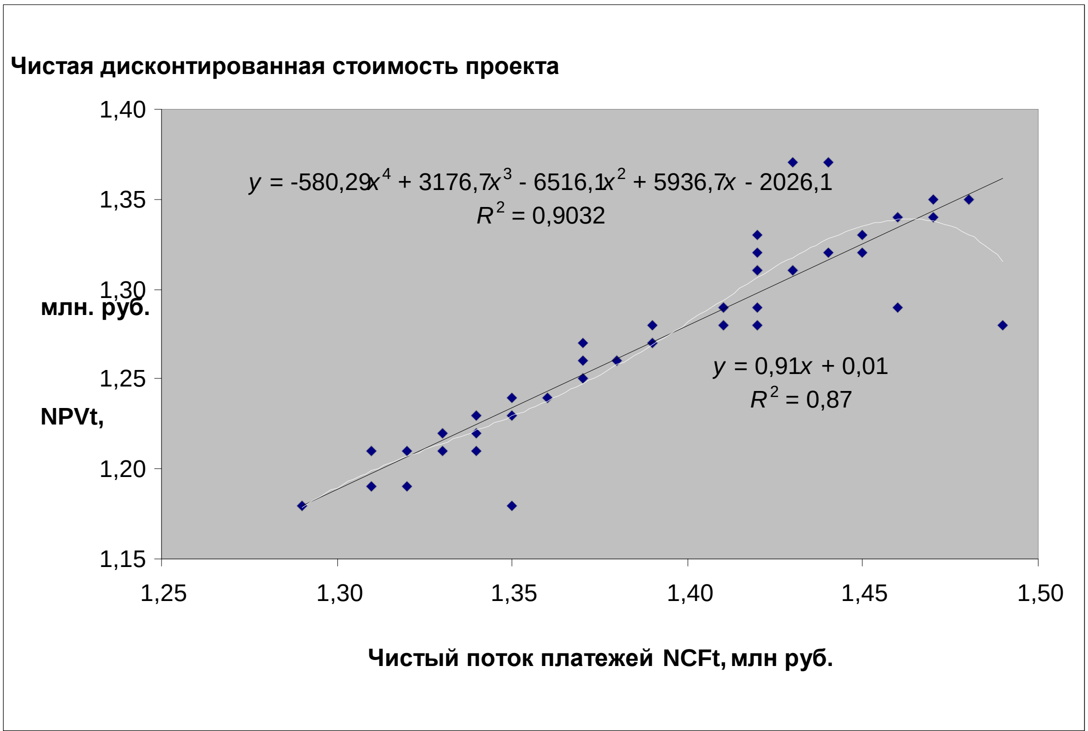

Рис. 2. Бордюрный камень. Зависимость чистой дисконтированной стоимости проекта NPV_t от чистого потока платежей NCF_t. Ставка дисконта 24,3 %

Таблица 2

Бордюрный камень. Вывод итогов регрессионного анализа. Ставка дисконта 24,3 %

Регрессионная статистика								
Множественный R				0,933				
R-квадрат				0,8701				
Нормированный R-квадрат				0,868				
Стандартная ошибка				0,018				
Наблюдения				75				
Дисперсионный анализ								
			df	SS	MS	F	*Значимость* F	
Регрессия			1	0,158	0,158	488,993	4,41E–34	
Остаток			73	0,024	0,000323			
Итого			74	0,182				
	Коэффициенты	*Стандартная ошибка*	*t-статистика*	*P-Значение*	*Нижние 95%*	*Верхние 95%*	*Нижние 98,0%*	*Верхние 98,0%*
b	0,008	0,057	0,135	0,893	–0,106	0,122	–0,128	0,144
a	0,908	0,041	22,113	4,41E–34	0,827	0,9903	0,811	1,006

В табл. 3 указаны доверительные интервалы (интервалы варьирования) для коэффициентов a и b линейной регрессии $y = ax + b$; $x - NCF_t$, $y - NPV_t$.

Таблица 3

Доверительные интервалы (интервалы варьирования)
для коэффициентов a и b линейной регрессии $y = ax + b$

Ставка дисконта 13,3 %		Ставка дисконта 24,3 %	
Уровень надежности $\gamma_1 = 0{,}95$	Уровень надежности $\gamma_2 = 0{,}98$	Уровень надежности $\gamma_1 = 0{,}95$	Уровень надежности $\gamma_2 = 0{,}98$
$-0{,}0402 < b < 0{,}2099$	$-0{,}064 < b < 0{,}234$	$-0{,}106 < b < 0{,}122$	$-0{,}128 < b < 0{,}144$
$2{,}383 < a < 2{,}563$	$2{,}365 < a < 2{,}5803$	$0{,}827 < a < 0{,}9902$	$0{,}811 < a < 1{,}006$

При ставке дисконта 13,3 % имеем уравнение регрессии

$$y = 2{,}47x + 0{,}08, \tag{1}$$

где $x - NCF_t$, $y - NPV_t$, $R^2 = 0{,}98$.

Выражение $R^2 = 0{,}98$ означает, что 98% вариации NPV_t объясняются уравнением линейной регрессии (1), а $100\% - 98\% = 2\%$ вариации NPV_t обусловлено влиянием неучтенных в модели факторов.

Чтобы проверить, значимы ли коэффициенты a и b, используются статистические методы проверки гипотез. Так как число наблюдений достаточное $(n = 75)$, а R^2 близко к единице, то целесообразнее использовать подход, предложенный американским статистом Рональдом Эйлмером Фишером.

Критическое значение $t_{стат.} - t_{кр.}$ находят по таблице стандартного нормального распределения по доверительной вероятности $\gamma = 1 - \alpha = 0{,}95;\ 0{,}98.$ Наблюдаемое же значение находят по формуле

$$F_{набл.} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-h}{h-1},$$

где n – число наблюдений $(n = 75),$ $h = 2$ – число оцениваемых параметров $(a, b),$ $R^2 = 0{,}98$ (данное значение берётся из табл. 1).

$$F_{набл.} = \frac{0{,}98}{1-0{,}98} \cdot \frac{75-2}{2-1} = 2996{,}3406.$$

Данная статистика имитирует распределение Фишера–Снедоккора.

$F_{кр}$ берётся из таблицы F-распределения для $\alpha = 0{,}05.$

$F_{кр} = F_{\alpha_1, k_1, k_2} = F_{0{,}05, 1, 73} = 3{,}98,$

$\alpha_1 = 1 - \gamma_1 = 1 - 0{,}95 = 0{,}05,$

$\alpha_2 = 1 - \gamma_2 = 1 - 0{,}98 = 0{,}02,$

$k_1 = h - 1 = 2 - 1 = 1,$

$k_2 = n - h = 75 - 2 = 73.$

Так как $F_{набл} > F_{кр}$ $(2996{,}3406 > 3{,}98),$ коэффициенты регрессии a и b значимы.

При ставке дисконта 24,3 % уравнение регрессии принимает вид

$$y = -508{,}29x^4 + 3176{,}7x^3 - 6516{,}1x^2 + 5936{,}7x - 2026{,}1, \quad (2)$$

где $x - NCF_t,$ $y - NPV_t,$ $R^2 = 0{,}9032.$

Выражение $R^2 = 0{,}9032$ означает, что 90% вариации NPV_t объясняются уравнением нелинейной регрессии (2), а $100\% - 90\% = 10\%$ вариации NPV_t обусловлено влиянием неучтённых в модели факторов, т. е. вводить дополнительные факторы в данном случае нецелесообразно.

Чтобы проверить, значимы ли коэффициенты $a_1, a_2, a_3, a_4, b,$ используются статистические методы проверки гипотез. Так как число наблюдений достаточное $(n = 75),$ а R^2 близко к единице, то целесообразнее использовать подход, предложенный американским статистом Рональдом Эйлмером Фишером.

Критическое значение $t_{стат.} - t_{кр.}$ находят по таблице стандартного нормального распределения по доверительной вероятности $\gamma = 1 - \alpha = 0{,}95;\ 0{,}98.$ Наблюдаемое же значение находят по формуле

$$F_{набл.} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-h}{h-1},$$

где n – число наблюдений $(n = 75),$ $h = 6$ – число оцениваемых параметров $(a_1, a_2, a_3, a_4, b),$ $R^2 = 0{,}9$ (данное значение берется из табл. 2).

$$F_{набл.} = \frac{0{,}9}{1-0{,}9} \cdot \frac{75-5}{5-1} = 157{,}5.$$

Данная статистика имитирует распределение Фишера–Снедоккора.

$F_{кр}$ берётся из таблицы F-распределения для $\alpha = 0{,}05.$

$$F_{кр} = F_{\alpha_1, k_1, k_2} = F_{0,05, 4, 70} = 2{,}5,$$
$$\alpha_1 = 1 - \gamma_1 = 1 - 0{,}95 = 0{,}05,$$
$$\alpha_2 = 1 - \gamma_2 = 1 - 0{,}98 = 0{,}02,$$
$$k_1 = h - 1 = 5 - 1 = 4,$$
$$k_2 = n - h = 75 - 5 = 70.$$

Так как $F_{набл} > F_{кр}$ $(157{,}5 > 2{,}5)$, коэффициенты регрессии a_1, a_2, a_3, a_4, b значимы.

В ходе регрессионно-дисперсионного анализа впервые теоретически получен комплекс математических моделей под общим названием «Функциональная зависимость чистой дисконтированной стоимости проекта NPV_t от чистого потока платежей NCF_t», что доказывает возможность применения методов математического моделирования для оценки рисков инновационных проектов.

Библиографический список

1. *Большаков А. С.* Моделирование в менеджменте: учеб. пособие. – М.: ИД «Филинъ»; Рилант, 2000. – 464 с.
2. *Волженский А. В., Иванов И. А., Виноградов Б. Н.* Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов: учебник. – М.: Стройиздат, 2008. – 255 с.
3. *Лукасевич И. Я.* Анализ финансовых операций. – М.: Финансы, 2009. – 402 с.
4. *Перегудов В. А., Перегудова И. Г.* Математическое моделирование рисков инновационных проектов производства безобжигового зольного гравия // Вестник ИрГТУ. – 2015. – № 4. – С. 323–327.