

УДК 338.22.0212

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РИСКА ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ПРОИЗВОДСТВА ВИБРОПРЕССОВАННОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

**В.А. Перегудов<sup>1</sup>, И.Г. Перегудова<sup>2</sup>**

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматривается имитационная модель риска инновационного проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки на золошлаковой основе. Автором было разработано три различных варианта проекта: 1) вероятный; 2) оптимистичный; 3) пессимистичный. Определены ключевые переменные и возможные диапазоны их изменения. Расчёты велись по двум ставкам дисконтирования – 13,3% и 24,3%. По итогам имитационного моделирования для производства вибропрессованной тротуарной плитки на золошлаковой основе подходит вероятный вариант инновационного проекта с учетом регионального риска, обеспечивающий максимально возможную прибыль при отсутствии дополнительных затрат.

Ключевые слова: *имитационное моделирование; чистая дисконтированная стоимость проекта; ключевые параметры; эмпирическая оценка; корреляционный анализ.*

### RISK SIMULATION MODEL OF INNOVATION PROJECT FOR PRODUCING VIBROCOMPRESSED PAVING TILES

**V. Peregoudov, I. Peregudova**

Irkutsk National Research Technical University,  
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074

The paper considers risk simulation model of an innovative project on the production of vibro-pressed bottom ash-based paving tile. The authors have developed three different versions of the draft: plausible, optimistic and pessimistic ones; identified their key variables and possible ranges of their shifts. The calculations were performed on the base of two discount rates – 13,3% and 24,3%. According to the results of the simulation for the production of vibro-pressed bottom ash-based paving tile, the authors conclude that the appropriate variant is the probable one of the innovation project taking into account regional risk that provides the maximum possible profit without extra charges.

*Keywords: simulation; net present value of the project; key parameters; empirical assessment; correlation analysis.*

В Иркутской области на золоотвалах ТЭЦ находятся 80 млн т золошлаковых отходов (ЗШО), ежегодный выход которых достигает 1,8 млн т. Площадь, занятая золоотвалами ТЭЦ, составляет около 2000 га. Ежегодно в реконструкции золоотвалов вкладываются миллионы рублей. Кроме того, часть золоотвалов находится в водоохранной зоне, так что проблема утилизации ЗШО стоит достаточно остро.

Для увеличения объемов утилизации ЗШО и тем самым сокращения затрат на реконструкции золоотвалов в 2005 году было создано ЗАО «Иркутскзолопродукт».

Основными задачами ЗАО «Иркутскзолопродукт» являются:

- обеспечение комплексного решения проблемы утилизации ЗШО ТЭЦ ОАО «Иркутскэнерго» для максимального сокращения затрат ОАО «Иркутскэнерго» на строительство золоотвалов;
- прекращение инвестиционных затрат ОАО «Иркутскэнерго» на строительство золоотвалов;
- максимально расширение рынков сбыта и получение выручки от продаж золы-уноса;
- эффективное использование выделенных средств на вывоз золошлаковых материалов (ЗШМ);
- продажи ЗШМ ОАО «Иркутскэнерго» как потребителю (теплоизоляция, обратная засыпка трубопроводов).

В настоящее время одним из приоритетных направлений деятельности Компании является производство строительных материалов, в том числе с использованием ЗШМ.

<sup>1</sup> Перегудов Владимир Алексеевич, магистрант гр. ПРЭм-15-Института энергетики 1, e-mail: [pva8383@mail.ru](mailto:pva8383@mail.ru)  
Peregoudov Vladimir, a graduate student a group of PREm-15-1of Energy Institute, e-mail: [pva8383@mail.ru](mailto:pva8383@mail.ru)

<sup>2</sup> Перегудова Ирина Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры мировой экономики, e-mail: [pview52@mail.ru](mailto:pview52@mail.ru)

Peregudova Irina, Candidate of Technical Science, Associate Professor of World Economics Department, e-mail: [pview52@mail.ru](mailto:pview52@mail.ru)

Дочернее предприятие ЗАО «Иркутскзоллопродукт» рассматривает инвестиционный проект по производству вибропрессованной тротуарной плитки.

*Вибропрессование* – способ уплотнения полусухой (жесткой) бетонной смеси, заключающийся в том, что бетонная смесь в пресс-форме подвергается воздействию вибрирующей силы снизу или сбоку пресс-формы при одновременном давлении сверху вибропрессов различной конструкции, мощности и назначения. Данный метод достаточно высокопроизводителен, предусматривает высокую степень автоматизации, дает возможность использовать жесткую бетонную смесь (жесткость 30 с и более), что обеспечивает высокую прочность (М 100 и более) и морозостойкость (МРЗ 200 и более циклов) бетонных изделий.

В процессе предварительного анализа автором были выявлены три ключевых параметра проекта и определены возможные диапазоны их изменений (табл. 1). Прочие параметры проекта считаются постоянными величинами (табл. 2). Наиболее низкие показатели вошли в пессимистический сценарий реализации проекта, наиболее высокие величины составили оптимистический сценарий. Показатели, определенные бизнес-планом проекта, вошли в наиболее вероятный сценарий.

**Таблица 1**

**Ключевые параметры проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки**

Показатель	Сценарий		
	Вероятный	Оптимистичный	Пессимистичный
Переменные затраты ( $V$ ), руб.	61 003 000	57 951 000	64 055 000
Объем выпуска ( $Q$ ), тыс. $m^3$	79	82	77
Цена за $m^3$ ( $P$ ), руб.	2067	3465	1932

**Таблица 2**

**Неизменяемые параметры проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки**

Показатель	Наиболее вероятное значение
Постоянные затраты ( $F$ ), руб.	3 201 000
Амортизация ( $A$ ), руб.	492 000
Налог на прибыль ( $T$ ), руб.	2850
Ставка дисконта $\otimes$ , %	13,3 или 24,3
Срок проекта ( $n$ ), лет	11
Начальные инвестиции ( $I_0$ ), руб.	21 478 000

*Имитационное моделирование* представляет собой серию численных экспериментов, призванных получить эмпирические оценки степени влияния различных факторов (исходных величин) на некоторые зависящие от них результаты (показатели).

Проведение имитационного анализа должно включать следующие этапы:

1) установление взаимосвязи между исходными и выходными показателями в виде математического уравнения;

2) задание законов распределения вероятностей для ключевых параметров модели;

3) проведение компьютерной имитации значений ключевых параметров модели;

4) расчет основных характеристик распределений исходных и выходных показателей;

5) проведение анализа полученных результатов и представление их для принятия решения.

Первый этап анализа согласно сформулированному алгоритму состоял в определении зависимости результирующего показателя от исходных. При этом в качестве результирующего показателя

целесообразно брать один из критериев эффективности: чистую дисконтированную стоимость проекта ( $NPV$ ), норму рентабельности инвестиций ( $IRR$ ) или индекс рентабельности инвестиций ( $PI$ ).

Используемым критерием для настоящего исследования стала чистая дисконтированная стоимость проекта ( $NPV$ ):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (1)$$

где  $NCF_t$  – величина чистого потока платежей в периоде  $t$ ,  $r$  – ставка дисконта,  $I_0$  – начальные инвестиции.

В целях упрощения мы полагали, что генерируемый проектом поток платежей имеет вид аннуитета. Тогда величина потока платежей  $NCF_t$  для любого периода  $t$  одинакова и может быть определена из соотношения, отражающего математическую модель нашего имитационного эксперимента:

$$NCF = ([Q(P - V) - (F + A)](1 - T)) - A, \quad (2)$$

где  $Q$  – объем выпуска;  $P$  – цена продукта;  $V$  – переменные расходы;  $F$  – постоянные расходы;  $A$  – амортизация;  $T$  – налог на прибыль.

В данном исследовании расчёты велись по двум ставкам дисконтирования – 13,3 % (без учета регионального риска) и 24,3 % (с учетом регионального риска).

Фрагмент результатов имитации вибропрессованной тротуарной плитки, полученных автором при ставке дисконта 13,3 %, приведен в табл. 3 и 4.

**Таблица 3**

**Фрагмент результатов десяти имитаций вибропрессованной тротуарной плитки**

	Минимум	Максимум	Ставка дисконта ( $r$ )	0,133
Переменные расходы, руб.	57 951 000	64 055 000	Постоянные расходы ( $F$ ), руб.	3 201 000
Объем продукции, м <sup>3</sup>	77 000	82 000	Амортизация ( $A$ ), руб.	492 000
Цена за м <sup>3</sup> , руб.	1932	3465	Налог на прибыль ( $T$ ), руб.	2850
			Срок ( $n$ ), лет	11
Число экспериментов	500		Начальные инвестиции ( $I$ ), руб.	21 478 000
			Номер строки	508
Переменные расходы ( $V$ )	Объем продукции ( $Q$ )	Цена ( $P$ )	$NCF_t$	$NPV_t$
63 698 154	78 080	3249	14 168 937 042	35 876 350 599
60 906 087	78 618	2304	13 641 403 181	34 540 612 440
59 224 831	77 472	2277	13 071 478 086	33 097 537 876
63 366 058	78 766	2503	14 219 066 880	36 328 148 016
61 477 809	79 984	2500	14 660 657 659	35 470 523 980
59 479 767	77 310	3367	13 105 577 978	33 169 897 811
63 709 763	81 965	3348	14 876 623 295	37 668 242 270
60 295 330	77 193	2259	13 259 834 952	33 574 465 468
62 065 232	78 176	3290	13 822 658 743	34 999 559 227
58 012 891	79 397	3274	13 121 904 980	33 225 220 915

Таблица 4

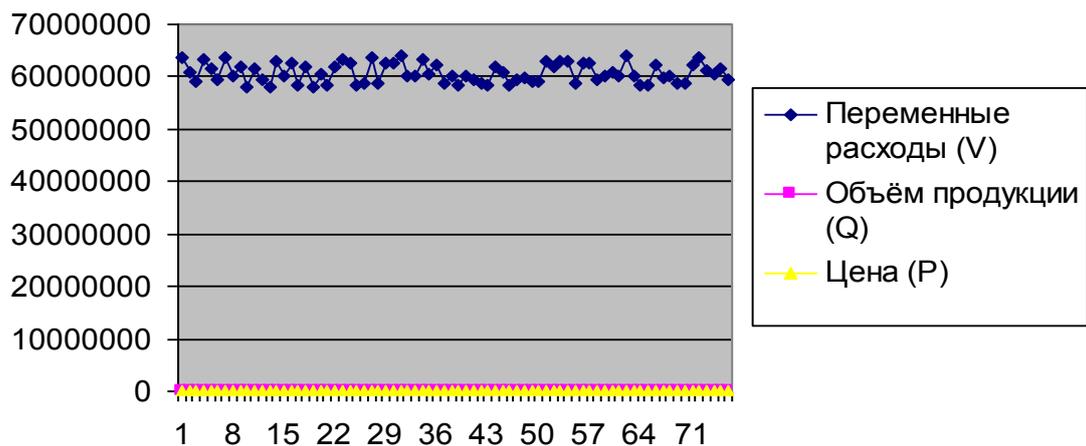
**Результаты имитационного анализа вибропрессованной тротуарной плитки (метод Монте-Карло)**

Начальные инвестиции ( $I$ ), руб.	21 478 000	Ставка дисконта ( $r$ )	0,133		
Постоянные расходы ( $F$ ), руб.	3 201 000	Налог на прибыль ( $T$ ), руб.	2850		
Амортизация ( $A$ ), руб.	492 000	Срок ( $n$ ), лет	11		
Показатели	Переменные расходы ( $V$ ), руб.	Объем продукции ( $Q$ ), $m^3$	Цена за $m^3$ ( $P$ ), руб.	$NCF_t$	$NPV$
Среднее значение	59024467,5	78643	2970,5	13 223 452 954	33 482 344 701
Стандартное отклонение	892476,5	218	427,5	1 634 014 403	4 137 393 920
Коэффициент вариации	0,0151	0,0028	0,1439	0,0124	0,0124
Минимум	58131991	78425	2543	13 060 515 137	33 068 605 309
Максимум	59916944	78861	3398	13 386 854 394	33 896 084 093
Число случаев $NPV < 0$					0
Сумма убытков					0
Сумма доходов					66 964 689 403
Вероятность $p(NPV \leq X)$					
			Вел. $X$	Нормал. $X$	$p(NPV \leq X)$
				-80,93	0

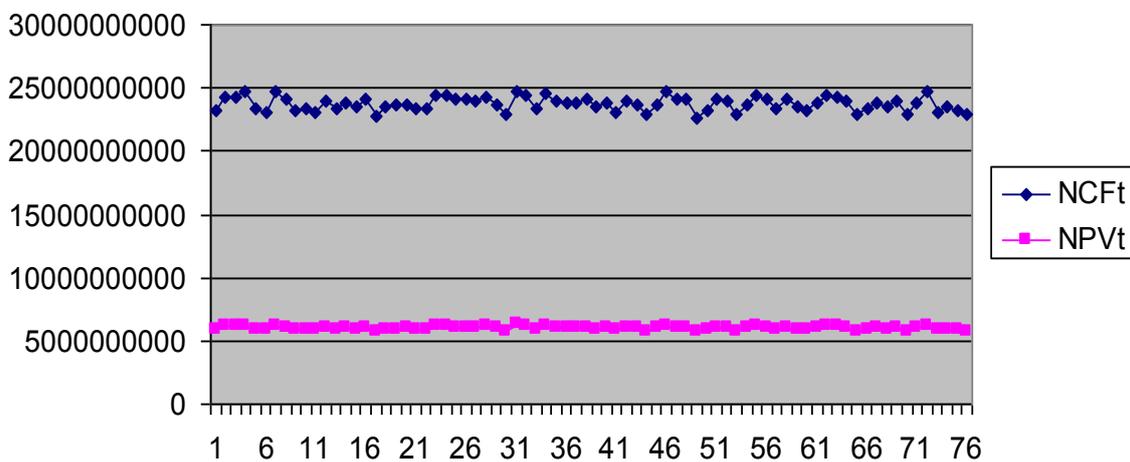
Нетрудно заметить, что по результатам имитационного анализа риск проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 13,3 % практически нулевой. Величина ожидаемой  $NPV$  составляет примерно 33 482 344 701 руб. Величина стандартного отклонения не превышает значения  $NPV$  (4 137 393 920 руб.). Коэффициент вариации (0,0124) меньше 1. Таким образом, риск данного проекта в целом ниже среднего риска инвестиционного портфеля фирмы. Результаты вероятностного анализа показывают, что шансов получить отрицательную величину  $NPV$  просто нет. Еще больший оптимизм внушают результаты анализа распределения чистых поступлений от проекта  $NCF$ . Величина стандартного отклонения здесь составляет всего 1,24 % от среднего значения. Таким образом, можно смело утверждать, что поступления от проекта будут положительными величинами.

На рис. 1 приведен график распределения значений ключевых параметров  $V$ ,  $P$  и  $Q$ , построенный на основании 75 имитаций вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 13,3 %. Нетрудно заметить, что в целом вариация значений всех трех параметров носит случайный характер, что подтверждает принятую ранее гипотезу об их независимости.

Для сравнения ниже приведен график распределений потока платежей  $NCF$  и величины  $NPV$  по производству вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 13,3 % (рис. 2). Как и следовало ожидать, направления колебаний здесь в точности совпадают и между этими величинами существует сильная корреляционная связь, близкая к функциональной. Дальнейшие расчеты показали, что величина коэффициента корреляции между полученными распределениями  $NCF$  и  $NPV$  оказалась равной 1



**Рис. 1. Вибропрессованная тротуарная плитка. Зависимость между V, P, Q.**  
Ставка дисконта 13,3 %



**Рис. 2. Вибропрессованная тротуарная плитка. Зависимость между NCF и NPV.**  
Ставка дисконта 13,3 %

Фрагмент результатов имитации вибропрессованной тротуарной плитки, полученных автором при ставке дисконта 24,3 %, приведен в табл. 5 и 6. Результаты корреляционного анализа вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконта 13,3 % даны в табл. 7.

Нетрудно заметить, что по результатам имитационного анализа риск проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 24,3 % практически нулевой. Величина ожидаемой NPV составляет примерно 12 353 899 585 руб. Величина стандартного отклонения не превышает значения NPV (2 338 202 628). Коэффициент вариации (0,0189) меньше 1. Таким образом, риск данного проекта в целом ниже среднего риска инвестиционного портфеля фирмы. Результаты вероятностного анализа показывают, что шансов получить отрицательную величину NPV просто нет. Еще больший оптимизм внушают результаты анализа распределения чистых поступлений от проекта NCF. Величина стандартного отклонения здесь составляет всего 1,89 % от среднего значения. Таким образом, можно смело утверждать, что поступления от проекта будут положительными величинами.

График распределения значений ключевых параметров и построенный на основании 75 имитаций вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 24,3 % (рис. 3), мало отличается от предыдущего. То же самое можно сказать и о графике распределений потока платежей и величины (рис. 4).

Таблица 5

Фрагмент результатов десяти имитаций вибропрессованной тротуарной плитки

Переменные расходы, руб.	Минимум	Максимум	Ставка дисконта ( $r$ )	0,243
	57 951 000	64 055 000	Постоянные расходы ( $F$ ), руб.	3 201 000
Объем продукции, $m^3$	77 000	82 000	Амортизация ( $A$ ), руб.	492 000
Цена за $m^3$ , руб.	1932	3 465	Налог на прибыль ( $T$ ), руб.	2850
			Срок ( $n$ ), лет	11
Число экспериментов	500		Начальные инвестиции ( $I$ ), руб.	21 478 000
			Номер строки	508
Переменные расходы ( $V$ )	Объем продукции ( $Q$ )	Цена ( $P$ )	$NCF_t$	$NPV_t$
61 817 439	81 428	3391	14 340 150 883	13 103 016 825
58 029 356	79 535	3001	13 148 504 907	12 141 748 987
59 656 324	78 758	2943	13 385 128 135	12 230 384 491
62 791 311	80 143	3197	14 336 257 780	13 994 595 839
58 412 519	80 850	3329	13 454 797 206	12 293 387 580
60 942 799	77 179	2206	13 399 809 164	12 243 798 978
63 749 100	81 119	2313	14 732 404 947	13 461 430 884
63 378 409	79 400	2078	14 336 408 382	13 995 971 927
63 918 001	78 291	2983	14 256 322 971	13 264 208 112
59 004 165	79 770	2807	13 408 938 216	12 252 140 461

Таблица 6

Результаты имитационного анализа вибропрессованной тротуарной плитки (метод Монте-Карло)

Начальные инвестиции ( $I$ ), руб.	21 478 000	Ставка дисконта ( $r$ )	0,243		
Постоянные расходы ( $F$ ), руб.	3 201 000	Налог на прибыль ( $T$ ), руб.	2850		
Амортизация ( $A$ ), руб.	492 000	Срок ( $n$ ), лет	11		
Показатели	Переменные расходы ( $V$ ), руб.	Объем продукции ( $Q$ ), $m^3$	Цена за $m^3$ ( $P$ ), руб.	$NCF_t$	$NPV$
Среднее значение	59 909 133	79216	3090,5	13 520 305 244	12 353 899 585
Стандартное отклонение	79 423	1394	242,5	2 558 966 258	2 338 202 628
Коэффициент вариации	0,0013	0,0176	0,0785	0,0189	0,0189
Минимум	59 829 710	77 822	2848	13 264 408 398	12 120 793 225
Максимум	59 988 556	80 610	3333	13 776 201 650	12 587 719 848
Число случаев $NPV < 0$					0
Сумма убытков					0
Сумма доходов					72 470 779 917
Вероятность $p(NPV \leq X)$			Вел. $X$	Нормал. $X$	$p(NPV \leq X)$
				-52,84	0

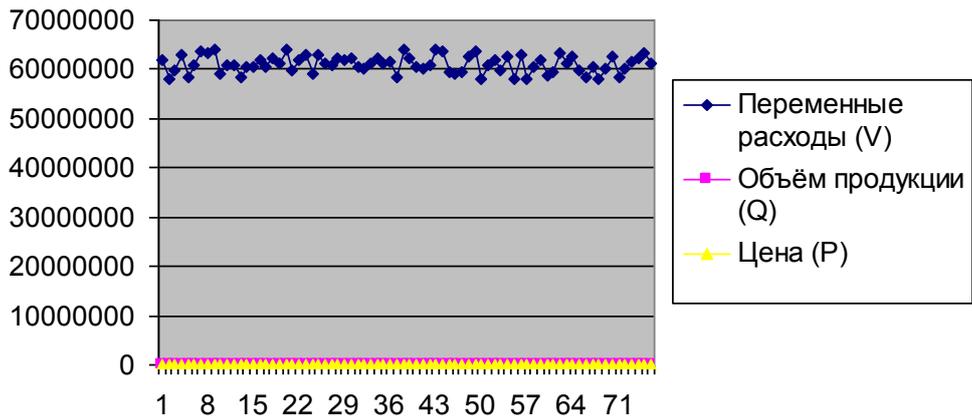


Рис. 3. Вибропрессованная тротуарная плитка. Зависимость между  $V$ ,  $P$ ,  $Q$ . Ставка дисконта 24,3 %

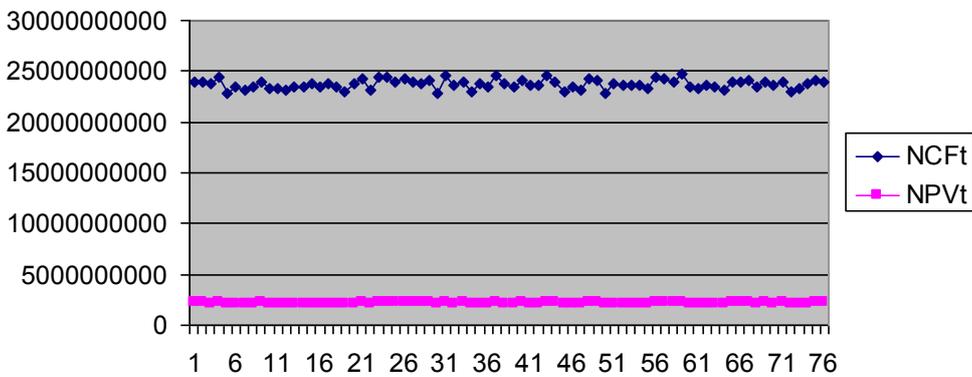


Рис. 4. Вибропрессованная тротуарная плитка. Зависимость между  $NCF_t$  и  $NPV_t$ . Ставка дисконта 24,3 %

Результаты проведенного имитационного эксперимента с вибропрессованной тротуарной плиткой при ставке дисконтирования 24,3 % ненамного отличаются от предыдущих. Величина ожидаемой  $NPV$  равна 12 584 694 954 руб. при стандартном отклонении 1 937 434 431 руб. Коэффициент вариации (0,0154) меньше 1. Таким образом, риск данного проекта в целом ниже среднего риска инвестиционного портфеля фирмы.

Результаты вероятностного анализа показывают, что шансов получить отрицательную величину  $NPV$  просто нет. Отрицательные значения  $NPV$  в выборке отсутствуют. Таким образом, можно смело утверждать, что чистая дисконтированная стоимость проекта будет больше 0. При этом вероятность того, что величина  $NPV$  окажется больше, чем  $M(NPV) + \sigma$ , равна 7,21 %. Вероятность попадания значения  $NPV$  в интервал  $[M(NPV) - \sigma; M(NPV)]$  равна 34,13 %.

Таблица 7

Результаты корреляционного анализа вибропрессованной тротуарной плитки. Ставка дисконта 13,3 %

	Переменные расходы ( $V$ )	Объем продукции ( $Q$ )	Цена ( $P$ )	$NCF_t$	$NPV$
Переменные расходы ( $V$ )	1				
Объем продукции ( $Q$ )	-0,004468501	1			
Цена ( $P$ )	-0,023866245	-0,06682403	1		
$NCF_t$	0,84514401	0,530396145	-0,055524539	1	
$NPV$	0,84514401	0,530396145	-0,055524539	1	1

Как следует из результатов корреляционного анализа вибропрессованной тротуарной плитки при ставке дисконтирования 24,3 %, выдвинутая в процессе решения предыдущего примера гипотеза о независимости распределений ключевых переменных  $V$ ,  $Q$ ,  $P$  в целом подтвердилась. Значения коэффициентов корреляции между переменными расходами  $V$ , количеством  $Q$  и ценой  $P$  достаточно близки к 1.

В свою очередь, величина показателя  $NPV$  напрямую зависит от величины потока платежей ( $R = 1$ ). Кроме того, существует корреляционная зависимость средней степени между  $Q$  и  $NPV$  ( $R = 0,7634$ ),  $P$  и  $NPV$  ( $R = 0,0487$ ). Как и следовало ожидать, между величинами  $V$  и  $NPV$  существует умеренная обратная корреляционная зависимость ( $R = 0,6538$ ).

Созданная имитационная модель риска инновационного проекта по производству вибропрессованной тротуарной плитки позволяет выявить важные взаимосвязи факторов и показателей риска и формализовать их.

#### Библиографический список

1. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. – М. : Дело, 2008. – 1104 с.
2. Глуховский В.Д. Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих. – Киев : Будивельник, 2008. – 143 с.
3. Лукасевич И.Я. Анализ финансовых операций. – М. : Финансы, 2009. – 402 с.
4. Перегудов В.А., Сороковикова Е. А. Имитационная модель риска инновационного проекта производства безобжигового зольного гравия // Техничко-экономические проблемы развития регионов. – Вып. 8. – 2012. – С. 75–79.