

**И.Е. Шитиков, Д.С. Демиденко, Е.Д. Малевская-Малевиц**  
**МОДЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО**  
**ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННЫХ РЕСУРСОВ**

**Илья Евгеньевич Шитиков** – заместитель генерального директора по науке, АНО «Центр исследований современной конъюнктуры и экспертизы научно-исследовательского фонда «Институт актуальных проблем экономики и права», ФГБУН СПбНЦ РАН, кандидат экономических наук, г. Санкт-Петербург; **e-mail: Science@iapel.ru.**

**Даниил Семенович Демиденко** – профессор Высшей инженерно-экономической школы, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, доктор экономических наук, профессор, г. Санкт-Петербург; **e-mail: demidenko11@rambler.ru.**

**Екатерина Даниловна Малевская-Малевиц** – доцент кафедры менеджмента, Ивангородский гуманитарно-технический институт (филиал) Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, Ивангород; Северо-Западный институт управления РАНХиГС, кандидат экономических наук, доцент, г. Санкт-Петербург; **e-mail: malevskaya-ed@ranepa.ru.**

*Выявлены основные отличительные особенности современной экономики в контексте управления развитием промышленного предприятия. Рассмотрены наиболее характерные для современной экономики ограничения возможностей развития промышленных предприятий. Предложена эконометрическая модель эффективного развития промышленного предприятия с учетом выявленных ограничений, характерных для экономики устойчивого развития.*

**Ключевые слова:** *целочисленность инвестиционных проектов; эффективность капитальных вложений; развитие промышленного предприятия.*

**I.Ya. Shitikov, D.S. Demidenko, E.D. Malevskaya-Malevich**  
**MODEL OF EFFECTIVE DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL ENTERPRISE**  
**UNDER LIMITED RESOURCES**

**Ilya Shitikov** – deputy general director for research, Centre for Research of Modern Conjuncture and Expertise, Research Foundation “Institute of Economic and Legal Problems”, St. Petersburg Research Centre of Russian Academy of Science, St. Petersburg; **e-mail: Science@iapel.ru.**

**Daniil Demidenko** – professor, Higher School of Engineering and Economics, Doctor of Economics, professor, St. Petersburg; **e-mail: demidenko11@rambler.ru.**

**Ekaterina Malevskaya-Malevich** – senior lecturer, Ivangorod Humanitarian-Technical Institute (Branch), St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Ivangorod, North-West Institute of Management, Presidential Academy, St. Petersburg; **e-mail: malevskaya-ed@ranepa.ru.**

*We reveal the key particular features of modern economy in the context of managing the development of an industrial enterprise. We consider the most characteristic for the modern economy restrictions for the development of industrial enterprises. We offer an econometric model of effective development of an industrial enterprise considering the restrictions revealed that are typical for the economy of sustainable development.*

**Keywords:** *integrality of investment projects; effectiveness of capital investment; development of industrial enterprise.*

**Введение**  
Современная экономика характеризуется рядом новых понятий, которые не были знакомы классической экономической теории. Традиционная ориентация на максимизацию удовлетворяемых потреб-

ностей при минимизации затрачиваемых ресурсов произведенных благ претерпела некоторые изменения. Общество осознало, что ресурсы не бесконечны, глобальное потепление – это не шутки, а мусор накапливается опережающими темпами относительно скорости его переработки. Со сменой поколений меняются и основные ценности – от ориентации на материальные блага в пользу нематериальных, таких как чистый воздух, комфортная среда обитания, всеобщее равенство и прочее, что можно свести к достижению ЦУР.

Экономика устойчивого развития, цифровая экономика имеет ряд существенных отличий, первое – это бережливое отношение к ограниченным ресурсам – основа концепции Устойчивого развития. Даже если ресурсы не ограничены физически или экономически, существуют ограничения другого характера, такие как экологические, социально-этические. К примеру, несмотря на то, что запасы угля не исчерпаны, развитые страны стремятся сократить его добычу и последующее получение электроэнергии ввиду негативного влияния последствий добычи на окружающую среду. От каких-то видов экономической деятельности общество в принципе стремится отказаться в пользу пусть менее эффективных с экономической точки зрения, но более значимых с точки зрения социальных критериев. На микроуровне это приводит к тому, что вне зависимости от вида деятельности и физического наличия тех или иных ресурсов современное развитие промышленных предприятий в любом случае характеризуется их ограниченностью, что имеет существенное значение при формировании программы капитальных вложений предприятия, являющейся предметом настоящего исследования [8; 10].

Помимо этого, в условиях цифровой экономики в инвестиционных программах предприятий появляется такой существенный фактор, как «целочисленность» проектов внутри программы. То есть проект, реализуемый предприятием, может быть только в единственном числе, т.к. нет необходимости реализовывать несколько одинаковых проектов. Продукт цифровой экономики (проект в нашем условном

примере ниже) не нуждается в «тиражности», т.е. выбор в инвестиционной программе сводится не к тому, какое количество какого продукта произвести, а какой именно продукт выбрать для производства [6]. Хорошо известная оптимизационная математическая модель, используемая в статье, представлена в целочисленном варианте, что и составляет научную новизну предлагаемого авторского подхода. При решении «традиционных» задач микроэкономического анализа и оптимизации (определение оптимального размера партии продуктов или оптимальной численности работников (по экономическому критерию) такой подход используется редко, т.к., не существенно влияет на результат принимаемого решения. Но если переменные оптимизационной задачи являются параметрами, определяющими направление развития предприятия при перспективном планировании, например, то ошибки в определении этих параметров могут повлечь серьезные экономические потери. Предлагаемый подход позволяет существенно снизить эти потери. Используемому подходу соответствуют и методы получения оптимального решения. Так, для линейных задач неприменимы методы линейного программирования, а должны применяться методы динамического программирования, представленные в статье.

### *Цель исследования*

Целью исследования является разработка математической постановки оптимизационной задачи эффективного развития промышленного предприятия в условиях ограниченных ресурсов с учетом особенностей цифровой экономики.

### *Методы исследования*

Теоретической базой исследования выступают положения неоклассической и неоинституциональной экономической теории; научные принципы менеджмента знаний и инноваций; исследования ученых по проблемам инновационного развития промышленных экономических систем различного уровня. Методической базой исследования явились преимущественно качественные методы, такие как метод аналогий, реализуемый для обоснования применяемых параметров, а также методы

контентного и экспертного анализа и синтеза, обеспечивающего обобщение результатов. Основными методами настоящего исследования являются методы анализа, синтеза и обобщения. Разработанная авторами модель апробирована на условном примере. Для решения оптимизационной задачи использован метод динамического программирования [7].

### **Литературный обзор**

Вопросам эффективности и проблемам цифровой экономики посвящено немало трудов ученых-экономистов. Сама трактовка понятия «цифровая экономика» неочевидна. Так, В.П. Вишневецкий [3] полагает цифровую экономику одним из элементов умного кибер-физического общества, подразумевающего интеграцию материального и цифрового производства, при этом основной проблемой автор также называет ограниченность ресурсов и их переток в цифровую сферу из материальной. Автор [5] в своей работе ассоциирует понятие «цифровой экономики» с ее ключевыми составляющими, такими как блокчейн, искусственный интеллект, большие данные и их влияние на цифровую трансформацию разных отраслей промышленности.

Многие авторы, например, А.В. Бабкин [1], также указывают на значимость социально-этических критериев в формировании стратегии развития предприятия в рамках цифровой экономики. Авторы [2; 11] указывают на наличие существенных различий процессов формирования инвестиционной программы, планирования и прогнозирования на предприятии в рамках цифровой экономики.

Авторский коллектив (Н.В. Кваша и др. [12; 9]), исследуя современный уровень индустриального развития России с точки зрения условий для перехода к новой индустриально-цифровой платформе, утверждает, что источниками роста эффективности бизнес-систем вообще и инноваций в частности является управление затратами предприятия, снижение транзакционных и трансформационных издержек.

Многие авторы, в т.ч. [4] отмечают необходимость государственной поддержки ввиду ограниченности капитальных ресурсов, доступных предприятиям

для достижения устойчивого развития в современных реалиях.

### **Результаты исследования**

Для того, чтобы сформулировать постановку оптимизационной задачи в заданных условиях – ограниченных ресурсов и целой численности результатов, рассмотрим условный числовой пример. Пусть имеется два потенциальных проекта (1 и 2), возможных для реализации на промышленном предприятии и полезных для развития. Какой из проектов реализовывать предприятию, чтобы максимизировать продажи, при условии, что оба проекта невозможно реализовать одновременно из-за имеющихся ресурсных ограничений:

$$P_1 \times X_1 + P_2 \times X_2 \rightarrow \max$$

$$X_1, X_2 - 0 \text{ или } 1, \text{ целые числа}$$

$$X_1 + X_2 \leq \bar{X}$$

$$X_i \leq \bar{X}_i, i=1,2$$

$\bar{X}_i$  и  $\bar{X}$  – производственные возможности предприятия по каждому проекту и в целом по предприятию;

$P_1$  и  $P_2$  – рыночные цены проектов (в ден. ед.).

В рассматриваемом нами примере будут использованы следующие условные данные:  $\bar{X}_1 = 2$  ед.,  $\bar{X}_2 = 3$  ед.,  $X_1 + X_2 = \bar{X} = 1$  ед.,  $P_1 = 2$  ден. ед.,  $P_2 = 3$  ден. ед.

Распределение производственных возможностей предприятия определяется исходя из имеющихся ограничений. Пусть имеющиеся производственные возможности предприятия, равные 4 ед., распределяются поровну между проектами: проект 1=проект 2=2 ед.

Производственные возможности по проекту (далее – ПВ), проектируемые ПВ в пределах лимита  $\bar{X}$ . По условию примера ПВ проекта 1 составляют 2 ед. если на проект 1 направляются 2 ед. ПВ, то результат согласно формуле, будет равен  $2-2=0$ .

Остаток ПВ в размере 2 ед. идет на проект 2, но на его реализацию, согласно условию, требуется 3 ед., поэтому вложенные средства в размере 2х ед. составляют потери (то есть с минусом). По приведенной логике заполняются клетки расчетной таблицы.

## АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА

В последнем столбце таблицы выбирается максимальный результат:  $\max(X_1; \bar{X} - X_1)$ . Он является результатом решения оптимизационной задачи (очевидно, что значение «-1» > чем «-2») распределения ПВ предприятия. Данный подход соответствует известному из экономической науки принципу «динамического программирования». При распределении ПВ следует реализовывать проект 2 и отказаться от проекта 1.

$$P_1 \times X_1 + \dots + P_i \times X_i \rightarrow \max$$

$$X_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

$$0 \leq X_i \leq \bar{X}_i$$

$i=1 \dots N$ , целые числа.

$$\sum_{i=1}^n P_i \times X_i \rightarrow \max$$

$$X_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, \text{ целые числа}$$

$$0 \leq X_i \leq \bar{X}_i$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq \bar{X}$$

Таблица 1

**Расчетная таблица**

Проект 1	Проект 2	Результат распределения ПВ	Характеристика результата
0	4	1) 0 2) 4-3=-1 Итог -1	Максимальный результат
1	3	1) -1 2) 3-3=0 Итог -1	
2	2	1) 2-2=0 2) -2 Итог -2	
3	1	1) 2-3=-1 2) -1 Итог -2	
4	0	1) 2-4=-2 2) 0 Итог -2	

Таблица 2

**Решение расчётного примера  
методом динамического программирования**

	0	1	2	3	4
0					1+2) 0 3)-1
1				1+2) 0 3) 0 0	
2			1+2) 0 3) -2 0		
3		1+2) 0 3)1-3=-2 -2			
4	1+2) -1 3) 3-4=-1 -2				

**Расчётный пример.**

**Решение методом динамического программирования**

	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
0					-4 -1
1				-1 0	
2			2-2=0 -2		
3		2-2=0 -2			
4	2-4=-2				

$$P_1 \times X_1 + P_2 \times X_2 \rightarrow \max$$

$$X_1 + X_2 \leq \bar{X}$$

$X_1, X_2 - 0$  или 1, целые числа

$$X_i \leq \bar{X}_i;$$

$\bar{X}_i, i=1,2$  – производственные возможности предприятия по каждому проекту.

По условию задачи имеется три проекта: 1, 2, 3.

Будем считать, что порядковый номер проекта соответствует его рыночной ценности – рыночной цене проекта при его реализации. Для упрощения будем полагать, что прибыль отсутствует.

В данной задаче возможны четыре варианта увеличения производственной мощности предприятия: проекты 1, 2, 3, 1+2, 1+3. Вариант 2+3 недостижим при наличии лимита производственных воз-

можностей, равного 4 единицам.

Для рассматриваемой элементарной задачи ответ очевиден – максимум продаж предприятия достигается при последнем из приведенных вариантов решения. Но при необходимости рассматривать задачи большей размерности поиск решения путем перебора вариантов становится нерешаемой задачей.

Нами используется модифицированный метод динамического программирования «от конца к началу». На последнем этапе рассматривается выполнение проекта 3, как наиболее ценного для продаж. Очевидно, вариантом решения является выполнение проекта 3 и наилучшим выбором по вариантам 1 и 2 из первой таблицы, что соответствует выбору единицы проекта 1.

Таблица 4

**Распределение резерва лимита производственных возможностей предприятия между проектами 1 и 2 (в единицах ПВ)**

<b>1/2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Максимум по каждому остатку лимита (по диагонали)</b>
0		1)0 2)-1 Итог -1	1) 0 2)0 Итог 0	1) 0 2) 2 -3 -1 Итог -1	1)0 2)2-4=-2 Итог -2	0
1	1)1-1=0 2) 0 Итог 0	1) 0 2)-1 Итог -1	1) 1-1=0 2)2-2=0 Итог 0	1)1-1=0 2) 2-3=-1 Итог -1		0
2	1)1-2=-1 2) 0 Итог-1	1)1-2=-1 2) -1 Итог -2	1)1-2=-1 2)2-2=0 Итог-1			0
3	1)1-3=-2 2)0 Итог -2	1)1-3=-2 2)-1 Итог -3				0
4	1) 1-4=-3 2) 0 Итог -3					-1

**Распределение лимита между проектами (1 и 2) и проектом 3  
(в единицах ПВ)**

1+2/3	0	1	2	3	4	Максимум по остатку лимита (по диагонали)	
0м						1+2) = 0 3) = -1 Итого -2	
1				1+2)=0 3)=0 Итого 0		0	
2			1+2) =0 3) =-2 (*) Итого -2			0	(*) оптимальное решение
3		1)1+2=0-3) 1-3=-2 Итого -2				0	
4	1+2) = -1 3) 3-4=-1 Итого -2					-1	

Методом динамического программирования нами получен тот же результат, что очевиден для простейшей задачи, рассмотренной нами. Оптимальное решение – выполнять один проект 3 и один проект 1.

#### **Заключение**

Рассмотренные в статье модели оптимального распределения ограниченных ПВ предприятия – всего один из возможных видов ограничений, имеющих при планировании перспективного развития. В принципе вопросы целочисленности имеют значение и при решении других задач оптимального распределения. Но для выбора оптимального направления развития, комплексный критерий экономической эффективности должен указывать также «целевую функцию» развития предприятия. В рассматриваемом случае это максимизация продаж предприятия или рыночной ценности выпускаемых продуктов. Но возможны также и иные цели развития. Разработка такого критерия, соединяющего элементы планового и рыночного управления предприятием/группой предприятий – перспективная задача микроэкономической науки в современных условиях.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бабкин А.В., Чэнь Л., Жеребов Е.Д.

Стратегия цифровой трансформации предприятий в цифровой экономике // Экономика и Индустрия 5.0 в условиях новой реальности (ИНПРОМ-2022). 2022. С. 370-373.

2. Бабкин А.В., Михайлов П.А., Ташеннова Л.В. Оценка эффективности внедрения цифровой платформы промышленного предприятия // Естественно-гуманитарные исследования. 2023. №. 45 (1). С. 17-29.

3. Вишневский В.П. Цифровая экономика в условиях четвертой промышленной революции: возможности и ограничения // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2019. Т. 35. №. 4. С. 606-627.

4. Глазьев С.Ю., Фетисов Г.Г. О стратегии устойчивого развития экономики России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. №. 1 (25). С. 23-35.

5. Головенчик Г. Цифровая экономика. Минск: Вышэйшая школа, 2022.

6. Демиденко Д.С., Ваганов П.И., Кваша Н.В., Малевская-Малевич Е.Д. Трансформация модели затрат промышленной бизнес-системы в условиях инновационной экономики // Экономическое возрождение России. 2020. № 1(63). С. 79-88.

7. Калинин П. Динамическое программирование, 2008.

8. Карлик А.Е., Платонов В.В.,

*Комаров А.Г.* К вопросу формирования междисциплинарной методологии научных исследований для управления на уровне предприятий // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2023. № 3-2 (141). С. 7-14.

9. *Кваша Н.В., Демиденко Д.С., Воронин Е.А.* Трансформация модели индустриального развития в условиях цифровизации экономики // Тенденции развития экономики и промышленности в условиях цифровизации / Под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. С. 93-116. DOI 10.18720/IEP/2017.6/3. № 6(233). С. 58-66. DOI 10.5862/IE.233.6.

10. *Кваша Н.В., Шитиков И.Е.* Современные подходы к реализации принципа

эффективности в управлении предприятием // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2009. № 5(85). С. 87-91.

11. *Кваша Н.В., Шитиков И.Е.* Формирование параметров эффективного развития современных промышленных предприятий // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2010. № 5(107). С. 108-112.

12. *Саннерис Д., Кваша Н.В., Козлов А.В.* Особенности развития и факторы ограничения роста малых промышленных предприятий в России // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2015.