Модель прогноза стоимости и сроков модернизации промышленных предприятий

Model of forecasting the cost and timing of the modernization of industrial enterprises

УДК 330.45
Получено: 29.04.2019 Одобрено: 20.05.2019 Опубликовано: 25.06.2019

Тебекин А.В.,
д-р техн. наук, д-р экон. наук, профессор, почетный работник науки и техники Российской Федерации, профессор кафедры менеджмента Московского государственного института международных отношений (Университета) МИД России
e-mail: Tebekin@gmail.com

Tebekin A.V.
Doctor of Engineering, Doctor of Economics, professor, honorary worker of science and technology of the Russian Federation, professor of department of management of the Moscow State Institute of International Relations (University) MFA of Russia
e-mail: Tebekin@gmail.com

Сауренко Т.Н.
д-р экон. наук, заведующий кафедрой таможенного дела Российского университета дружбы народов
e-mail: tanya@saurenko.ru

Saurenko T.N.
Doctor of Economics, Head of the Department of Customs Affairs, Peoples' Friendship University of Russia
e-mail: tanya@saurenko.ru

Анисимов В.Г.
д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого
e-mail: an-33@yandex.ru

Anisimov V.G.
Doctor of Engineering, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
e-mail: an-33@yandex.ru

Анисимов Е.Г.
д-р техн. наук, доктор военных наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор, Российского университета дружбы народов
e-mail: an-33@rambler.ru

Anisimov E.G.
Doctor of Engineering, Doctor of Military Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor, Peoples' Friendship University of Russia
e-mail: an-33@rambler.ru

Аннотация
В статье предложена формализованная модель прогноза стоимости и сроков обновления оборудования и модернизации производственных процессов промышленных предприятий. В основу формализации положено представление обновления и модернизации в форме соответствующего стохастического процесса. Конструктивное представление этого процесса опирается на суммирование случайного количества случайных величин, отражающих последствия наступления событий, приводящих к срыву сроков обновления оборудования и сбоям при модернизации. Применение предложенной модели позволяет более адекватно, чем в известных моделях учесть характерные особенности изменения временных и стоимостных параметров обновления оборудования и модернизации производственных процессов промышленных предприятий.
Ключевые слова: промышленные предприятия, модернизация, обновление оборудования, стоимость, сроки, прогноз.

Abstract
The article proposes a formalized model for predicting the cost and timing of equipment upgrades and modernization of industrial processes of industrial enterprises. The formalization is based on the representation of renewal and modernization in the form of a corresponding stochastic process. A constructive representation of this process relies on the summation of a random number of random variables, reflecting the consequences of the onset of events leading to a breakdown of equipment renewal periods and failures during modernization. The application of the proposed model allows more adequately than in known models to take into account the characteristic features of changes in the time and cost parameters of equipment renewal and modernization of production processes of industrial enterprises.
Keywords: industrial enterprises, modernization, equipment renewal, cost, time, forecast.

1. Введение

В современном мире выживание Российской Федерации как в полной мере суверенного государства без мощного промышленного потенциала является проблематичным. Вместе с тем в настоящее время по данным Росстата зависимость российской промышленности от импорта составляет более 90%. Доля промышленных предприятий, осуществляющих разработку и внедрение технологических инноваций, не превышает 10%, а в общем объеме промышленного производства только около 5.5% инновационной продукции. Следовательно, важнейшей задачей российской экономики в настоящее время и обозримом будущем является развитие промышленности и в особенности ее высокотехнологичных отраслей [1–3, 20]. Первичной ячейкой развития отраслей промышленности является развитие соответствующих промышленных предприятий. В условиях рыночной экономики их развитие направлено на обеспечение способности оперативно реагировать на изменение конъюнктуры рынков сбыта производимой продукции. Это реагирование, в частности, обеспечивается обновлением оборудования и модернизацией производственных процессов. Оно связано с существенными материальными и временными затратами и в условиях характерного для промышленных предприятий дефицита необходимых ресурсов предполагает тщательное обоснование принимаемых управленческих решений. Важными элементами их обоснования являются оценка стоимости осуществления и определение времени завершения процессов обновления и модернизации. Особенность этих процессов заключается в их неполной предсказуемости. Она проявляется в возможных срывах сроков поставок оборудования, сбоях при модернизации и обусловленных ими изменениях как временных, так и стоимостных параметров рассматриваемых процессов. При этом количество событий, приводящих к указанным срывам сроков и сбоям, конечно, но априори не известно. Следовательно, на ранних этапах формирования управленческих решений в сфере обновления оборудования и модернизации производственных процессов,

определение их стоимостных и временных параметров должно опираться на прогнозирование. Эффективным инструментом такого прогнозирования являются соответствующие модели и, прежде всего, математические [4–12, 21]. В классе математических моделей возможность рассматриваемого прогноза обеспечивают стохастические модели, опирающиеся на суммирование случайного количества случайных величин, отражающих последствия наступления событий, приводящих к срыву сроков обновления оборудования и сбоям при модернизации производственных процессов [13]. В основе таких моделей лежат теоретические подходы, обоснованные в [14]. Вместе с тем в этой и последующих развивающих их работах, рассматриваются модели, *предполагающие наличие предельных распределений* для сумм независимых случайных величин. В то же время, прогнозирование сроков и стоимости модернизации промышленных предприятий связано с учетом *случайного, но конечного количества* деструктивных событий, обусловливающих изменение указанных сроков и стоимости. Следовательно, применение моделей, опирающихся на разработанные в [14] подходы, приводит к погрешностям. Это обстоятельство, наряду с важностью формирования точных прогнозов при управлении модернизацией промышленных предприятий обусловливает необходимость учета конечности случайного количества указанных деструктивных событий.

Разработка модели, обеспечивающей прогноз стоимости и сроков модернизации промышленных предприятий, составляет *цель настоящей статьи*.

2. Формализованное представление модели прогноза

В вербальном представлении задача прогноза стоимости и сроков модернизации промышленного предприятия состоит в следующем. Предприятие в интересах дальнейшего развития осуществляет обновление оборудования и модернизацию производства. В ходе этого процесса происходят деструктивные события, состоящие в срыве сроков поставок оборудования и сбоях в модернизации. Результатом каждого из этих событий является увеличение срока завершения процесса обновления и модернизации на величину X и повышение стоимости модернизации на величину Y. С позиций формализации количество n указанных деструктивных событий и величины X и Y целесообразно полагать независимыми случайными величинами. Задача прогноза при этом состоит в определении вероятности того, что процесс обновления оборудования и модернизации производственного процесса промышленного предприятия завершится в установленный срок (директивное время T) и вероятности того, что стоимость модернизации не превысит установленную величину S. При этом полагается, что T и S превышают необходимые для модернизации предприятия в идеальных условиях время T_0, и стоимость S_0. Таким образом, по условиям задачи требуется определить вероятности

$$F_1(\tau) = P(\tau \le T - T_0) \quad (1);$$

$$F_2(S) = P(\xi \le S - S_0) \quad (2);$$

где τ – случайная величина, равная сумме n случайных величин X;

ξ – случайная величина, равная сумме n случайных величин Y.

Определение вероятностей (1), (2) предполагает знание функций распределения или функций плотности распределения случайных величин n, X, Y. Для определения этих функций органы управления промышленными предприятиями, как правило, располагают достаточно ограниченным объемом статистической информации. Поэтому естественно предположить, что имеющийся объем статистической информации позволяет надежно судить только о математическом ожидании μ промежутка времени между деструктивными событиями, приводящими к увеличению срока завершения процесса обновления оборудования и модернизации производственного процесса промышленного предприятия, а также о математических ожиданиях $\overline{X}, \overline{Y}$ величин X и Y, обусловленных этими событиями [15–18]. В такой информационной ситуации, исходя из принципа

максимума энтропии, промежуток времени между последовательными деструктивными событиями и величины X и Y следует полагать распределенными по экспоненциальным законам. Тогда количество n деструктивных событий распределено по закону Пуассона

$$P(r=n)=\frac{\nu^n}{n!}e^{-\nu} \qquad (3),$$

где $P(r=n)$ – вероятность того, что количество r деструктивных событий, состоявшихся за время обновления оборудования и модернизации производственного процесса промышленного предприятия, равно n;

$\nu=\frac{1}{\mu}$ – параметр распределения Пуассона.

Функция плотности распределения случайной величины X имеет вид:

$$f_1(x)=\lambda_1 e^{-\lambda_1 x}, \quad x\in\{0, \quad 1\} \qquad (4),$$

где $\lambda_1=\frac{1}{\overline{X}}$ – параметр экспоненциального распределения случайной величины X увеличения срока завершения процесса обновления и модернизации промышленного предприятия вследствие наступления очередного деструктивного события.

Функция плотности распределения случайной величины Y имеет вид

$$f_2(y)=\lambda_2 e^{-\lambda_2 y}, \quad y\in\{0, \quad 1\} \qquad (5),$$

где $\lambda_2=\frac{1}{\overline{Y}}$ – параметр экспоненциального распределения случайной величины Y увеличения стоимости процесса обновления и модернизации промышленного предприятия вследствие наступления очередного деструктивного события.

С учетом соотношений (3), (5), случайные величины τ и ξ представляют собой суммы пуассоновского числа экспоненциально распределенных случайных величин X и Y. Для их определения воспользуемся аппаратом характеристических функций.

Для случайной величины τ характеристическая функция имеет вид:

$$\varphi_\tau(t)=\int_{-\infty}^{\infty} e^{it\tau}dF_1(\tau) \qquad (6).$$

Для случайной величины ξ характеристическая функция имеет вид:

$$\varphi_\xi(t)=\int_{-\infty}^{\infty} e^{it\xi}dF_2(\xi) \qquad (7).$$

В соотношениях (6), (7) t – действительная переменная, i – мнимая единица.

Целесообразность применения аппарата характеристических функций обусловлена тем, что они обладают свойствами мультипликативности и единственности. Свойство мультипликативности состоит в том, что характеристическая функция суммы независимых случайных величин равна произведению их характеристических функций. Свойство единственности заключается в том, что если характеристическая функция $\varphi_Z(t)$ некоторой случайной величины Z абсолютно интегрируема на всей вещественной оси, а функция $F(z)$ ее распределения имеет непрерывную производную $f(z)$ (плотность распределения), то имеет место соотношение (формула обращения):

$$f(z)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} e^{itz}\varphi_z(t)dt \qquad (8).$$

Соотношение (8) указывает на однозначное соответствие между характеристической функцией случайной величины Z и функцией плотности ее распределения.

Характеристическая функция экспоненциального распределения (4) имеет вид:

$$\varphi_1(t)=(1-it\lambda_1^{-1})^{-1} \qquad (9).$$

С учетом (3), (6), характеристическая функция $\varphi_\tau(t)$ распределения (1) равна:

$$\varphi_\tau(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} (1 - it\lambda_1^{-1})^{-n} \qquad (10).$$

Используя формулу обращения, находим функцию плотности распределения случайной величины τ:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\tau} \varphi_\tau(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\tau} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} (1 - it\lambda_1^{-1})^{-n} dt \qquad (11).$$

После замены порядка суммирования и интегрирования в (11), получим:

$$f(\tau) = \frac{1}{2\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\tau} (1 - it\lambda_1^{-1})^{-n} dt \qquad (12).$$

Из (12), используя табличный интеграл [19], получаем:

$$f(\tau) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} \frac{(\lambda_1 \tau)^{n-1} e^{-\lambda_1 \tau}}{\lambda_1 \Gamma(n)} \qquad (13),$$

где $\Gamma(n)$ – гамма функция.

Из (13) следует, что вероятность (1) того, что процесс обновления оборудования и модернизации производственного процесса промышленного предприятия завершится в установленный срок равна:

$$F_1(\tau) = P(\tau \le T - T_0) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} \int_0^{T-T_0} \frac{(\lambda_1 \tau)^{n-1} e^{-\lambda_1 \tau}}{\lambda_1 \Gamma(n)} d\tau \qquad (14).$$

Характеристическая функция экспоненциального распределения (5) имеет вид:

$$\varphi_2(t) = (1 - it\lambda_2^{-1})^{-1} \qquad (15).$$

С учетом (4), (7), характеристическая функция $\varphi_\xi(t)$ распределения (2) равна:

$$\varphi_\xi(t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} (1 - it\lambda_2^{-1})^{-n} \qquad (16).$$

Используя формулу обращения, находим функцию плотности распределения случайной величины ξ:

$$f(\xi) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\xi} \varphi_\xi(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\xi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} (1 - it\lambda_2^{-1})^{-n} dt \qquad (17).$$

Далее, проведя преобразования, аналогичные (12), (13), получим функцию плотности распределения случайной величины ξ в виде:

$$f(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} \frac{(\lambda_2 \xi)^{n-1} e^{-\lambda_2 \xi}}{\lambda_2 \Gamma(n)} \qquad (18).$$

Из (18) следует, что вероятность (2) того, что стоимость обновления оборудования и модернизации производственного процесса промышленного предприятия не превысит установленную величину *S,* равна:

$$F_2(\xi) = P(\xi \le S - S_0) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\nu^n e^{-\nu}}{n!} \int_0^{S-S_0} \frac{(\lambda_2 \xi)^{n-1} e^{-\lambda_2 \xi}}{\lambda_2 \Gamma(n)} d\tau \qquad (19).$$

3. Выводы

Важными элементами обоснования управленческих решений в сфере обновления оборудования и модернизации производственных процессов промышленных предприятий являются оценка стоимости осуществления и определение времени завершения процессов обновления и модернизации. На ранних этапах формирования этих решений определение стоимостных и временных параметров обновления оборудования и модернизации производственных процессов должно опираться на прогнозирование. Это прогнозирование осуществляется в условиях ограниченного объема статистической

информации. Известные методы прогнозирования не в полной мере учитывают специфику рассматриваемых процессов и могут приводить к существенным погрешностям прогноза. Полученные в настоящей работе соотношения (14) и (19) позволяют в типовой для этапа формирования решений в сфере обновления оборудования и модернизации производственных процессов информационной ситуации более адекватно, чем известные методы оценивать стоимостные и временные параметры обновления и модернизации.

Литература

1. *Румянцева Е.Е.* Промышленность России: проблемы и пути дальнейшего развития. Экономика в промышленности. – 2018. – №11(2). – С. 151–158.

2. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Блау С.Л., Мантусов В.Б., Новиков В.Е., Петров В.С., Тебекин А.В., Тебекин П.А.* Управление инновациями. – М.: Российская таможенная академия. – 2017. – 452 с.

3. *Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Сауренко Т.Н., Чварков С.В.* Экономическая политика в системе национальной безопасности российской федерации // Вестник академии военных наук. – 2017. – № 1 (58). – С. 137–144.

4. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н.* Математические методы и модели в экономическом и таможенном риск-менеджменте: Монография. – Санкт-Петербург, 2016. – 236 с.

5. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Петров В.С., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н., Тебекин А.В., Тебекин П.А.* Теоретические основы управления инновациями. – Санкт-Петербург, 2016. – 472 с.

6. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Оптимизационная модель распределения возобновляемых ресурсов при управлении экономическими системами // Вестник Российской таможенной академии. – 2007. – № 1. – С. 49–54.

7. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Новиков В.Е., Останин В.А.* Моделирование оптимизационных задач поддержки принятия решений в инновационном менеджменте // Вестник Российской таможенной академии. – 2016. – № 1. – С. 90–98.

8. *Анисимов Е.Г., Анисимов В.Г., Блау С.Л., Новиков В.Е., Тебекин А.В.* Модель поддержки принятия решений при формировании инновационной стратегии предприятия // Экономика сельского хозяйства России. – 2016. – № 3. – С. 53–59.

9. *Тебекин А.В., Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Способ формирования комплексных показателей качества инновационных проектов и программ // Журнал исследований по управлению. – 2018. – Т. 4. – № 11. – С. 30–38.

10. *Тебекин А.В., Анисимов Е.Г., Блау С.Л., Новиков В.Е.* Организация инновационной деятельности на микроэкономическом уровне // Транспортное дело России. – 2016. – № 1. – С. 73–78.

11. *Родионова Е.С., Сауренко Т.Н., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Модель и метод календарного планирования логистических процессов перерабатывающих предприятий агропромышленного комплекса // Управленческое консультирование. – 2018. – № 11 (119). – С. 109–118.

12. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Гапов М.Р., Родионова Е.С., Сауренко Т.Н., Силкина Г.Ю., Тебекин А.В.* Стратегическое управление инновационной деятельностью: анализ, планирование, моделирование, принятия решений, организация, оценка.- Санкт-Петербург. – 2017. – 312 с.

13. *Балясников В.В., Ведерников Ю.В., Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г.* Модель причинного анализа на основе использования данных об особых ситуациях // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2015. – № 1-2 (79-80). – С. 31–38.

14. *Гнеденко Б.В., Колмогоров А.Н.* Предельные распределения для сумм независимых случайных величин. - Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1949.

15. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Воробьев А.С., Гасюк Д.П., Сосюра О.В.* Основы теории эффективности боевых действий ракетных войск и артиллерии. – М.: Министерство обороны РФ, 2003. – 168 с.

16. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Коханова Н.М., Малькова А.Л.* Выбор структуры производственных функций на основе синтеза безальтернативных статистических гипотез // Вестник Российской таможенной академии. – 2008. – № 4. – С. 74–79.

17. Анисимов В.Г., Гарькушев А.Ю., Сазыкин А.М. Оптимизация внедрения новых технологий в перспективные образцы артиллерийского вооружения // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2012. – № 4 (74). – С. 39–44.

18. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Богоева Е.М.* Формализация процедуры риск-ориентированного подхода при выполнении государственными органами контрольных функций // Вестник Российской таможенной академии. – 2014. – № 4. – С. 96–102.

19. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интеграллов, сумм, рядов и произведений. – М.: Гос. изд-во физико-математической литературы, 1962.

20. *Тебекин А.В., Петров В.С.* Промышленная политика и стратегия эффективного развития промышленных предприятий в условиях постиндустриальной экономики. Москва, 2018.

21. *Тебекин А.В., Петров В.С.* Использование методологии моделирования IDEF при формировании структурно-параметрической модели реализации технологий обеспечения эффективного развития промышленных предприятий в условиях постиндустриальной экономики // Транспортное дело России. – 2017. – № 4. – С. 43–49.